



ВЕСТНИК

НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
«ХПИ»

43'2009

Харьков

ВЕСТНИК

НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА "ХПИ"

Сборник научных трудов

Тематический выпуск

"Информатика и моделирование", № 13

43'2009

Издание основано Национальным техническим университетом "Харьковский политехнический институт" в 2001 году

Государственное издание

**Свидетельство Госкомитета по
информационной политике Украины
КВ № 5256 от 2 июля 2001 года**

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Председатель

Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, д-р техн. наук, проф.

Зам. председателя

А.П. МАРЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.

Е.И. СОКОЛ, д-р техн. наук, проф.

Секретарь координационного совета

К.А. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, доц.

Е.Е. АЛЕКСАНДРОВ, д-р техн. наук, проф.;

А.В. БОЙКО, д-р техн. наук, проф.;

Т.С. ВОРОПАЙ, д-р фил. наук, проф.;

М.Д. ГОДЛЕВСКИЙ, д-р техн. наук, проф.;

А.И. ГРАБЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.;

В.Г. ДАНЬКО, д-р техн. наук, проф.;

В.Д. ДМИТРИЕНКО, д-р техн. наук, проф.;

В.В. ЕПИФАНОВ, д-р техн. наук, проф.;

П.А. КАЧАНОВ, д-р техн. наук, проф.;

В.Б. КЛЕПИКОВ, д-р техн. наук, проф.;

В.И. КРАВЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.;

В.А. ЛОЗОВОЙ, д-р фил. наук, проф.;

О.К. МОРАЧКОВСКИЙ, д-р техн. наук, проф.;

П.Г. ПЕРЕРВА, д-р экон. наук, проф.;

Н.И. ПОГОРЕЛОВ, д-р экон. наук, проф.;

М.И. РЫЩЕНКО, д-р техн. наук, проф.;

В.Б. САМОРОДОВ, д-р техн. наук, проф.;

В.П. СЕБКО, д-р техн. наук, проф.;

В.И. ТАРАН, д-р техн. наук, проф.;

Ю.В. ТИМОФЕЕВ, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Ответственный редактор:

В.Д. ДМИТРИЕНКО, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь:

С.Ю. ЛЕОНОВ, канд. техн. наук, доц.

А.Г. ГУРИН, д-р техн. наук, проф.;

Л.В. ДЕРБУНОВИЧ, д-р техн. наук, проф.;

Е.Г. ЖИЛЯКОВ, д-р техн. наук, проф.;

П.А. КАЧАНОВ, д-р техн. наук, проф.;

Б.Г. НАБОКА, д-р техн. наук, проф.;

И.И. ОБОД, д-р техн. наук, проф.;

А.И. ОВЧАРЕНКО, д-р техн. наук, проф.;

А.А. СЕРКОВ, д-р техн. наук, проф.

Адрес редколлегии: 61002, Харьков,
ул. Фрунзе, 21, НТУ "ХПИ".

Каф. ВТП, тел. (057)-707-61-65

Харьков 2009

Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", 2009. – № 43. – 201 с.

В збірнику представлені теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, науковими співробітниками різних організацій та установ.

Для викладачів, наукових співробітників, спеціалістів.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты исследований и разработок, выполненных преподавателями высшей школы, аспирантами, научными сотрудниками различных организаций и предприятий.

Для преподавателей, научных сотрудников, специалистов.

Вісник Національного технічного університету "ХПІ" внесено до "Переліку № 9 наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук", затвердженого постановою президії ВАК України від 14 листопада 2001 року, № 2 – 05/9. (Бюлетень ВАК України № 6, 2001 р., технічні науки, збірники наукових праць, № 2).

**Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ "ХПІ"
Протокол № 13 від 25 грудня 2009 р.**

© Національний технічний університет "ХПІ"

К.Ю. БОЙЧЕНКО, аспирант ЗНТУ (г. Запорожье)

НЕКУМУЛЯТИВНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПРИЗНАКОВ В СИСТЕМАХ ОПТИЧЕСКОГО ТЕКСТУРНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ

Впервые предложено использовать многослойные карты разнаправленных градиентов для представления и сравнения изображений в системе распознавания. Получил дальнейшее развитие метод эталонов, который модифицирован для решения задач оптического текстурного распознавания за счет введения некумулятивного преобразования связности на пространстве признаков. Разработана система автоматической классификации автотранспортных средств. Ил.: 1. Табл.: 1. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: некумулятивное преобразование, многослойные карты разнаправленных градиентов.

Постановка проблемы. С развитием и повсеместным внедрением компьютерной техники в различные области жизнедеятельности человека приобретает все большую популярность как использование систем машинного зрения как наиболее универсальных средств контроля, так и разработка методов анализа информации в таких системах. Общей задачей такого анализа является интерпретация визуальной сцены, частной, более часто встречаемой – идентификация отдельных объектов контроля – распознавание визуальных образов с необходимостью их выделения из остальной сцены (фона).

Система оптического распознавания, получая в качестве входной информации набор дискретизированных изображений сцены, возможно содержащих объекты контроля, должна продуцировать данные о наличии, положении в пределах сцены и классе объектов контроля. При этом задача осложняется тем, что изображения объектов могут подвергаться различным преобразованиям вследствие оптических искажений, положения объектов в пространстве и помех датчиков, принимающих входные сигналы. Также модель должна позволять учитывать новые данные об объектах контроля.

Анализ литературы. Рассматриваемые в литературе и используемые в описываемых системах обработки визуальной информации методы и модели отличаются отсутствием достаточной общности и применимы лишь к узкому кругу задач, для которого они были разработаны.

В оптическом распознавании по способу представления данных об объекте различают два класса методов – контурное [1, 2] и текстурное [3, 4] распознавание. Контурный подход использует информацию о структуре объекта, поэтому признаки, используемые в таких методах, априорно инвариантны целому ряду преобразований изображения, но, с другой стороны, такое представление объекта сужает круг задач, для которых могут быть применены отдельные методы построения моделей контурного распознавания.

В текстурном оптическом распознавании в качестве набора признаков используются непосредственно точки изображения объекта [3], точки, подвергнутые тем или иным преобразованиям [5], или расчетные признаки на

основании значений яркости точек изображения [6]. Преобразования изображений объектов и вычисление расчетных признаков призвано сделать их инвариантными [7], сократить размерность пространства признаков, повысить точность сопоставления при тех же или меньших вычислительных затратах, но при этом, как правило, повышается зависимость от решаемой конкретной практической задачи.

Среди методов распознавания необходимо выделить статистические методы [8] и методы, основанные на предположении о типе решающей функции [5], и отметить их неспособность использовать новую информацию об объекте после построения модели, а также сильную зависимость от распределения экземпляров различных классов в пространстве признаков.

Метод эталонов [4, 9], представляющий знания в модели не в виде схемы связей между признаками, а в виде описания конкретных объектов, позволяет пополнять знаниями уже построенные модели и является достаточно прозрачным для интерпретации результатов сопоставления с прототипами новых экземпляров, но эффективность моделей, построенных по методу эталонов, зависит от размерности пространства признаков и меры расстояния на пространстве признаков.

Цель работы – разработка методов построения моделей выделения и распознавания объектов визуальных сцен, позволяющих, при реализации на современных ЭВМ, получать результат в реальном масштабе времени.

Метод оптического текстурного распознавания. Анализ литературных источников показал, что наиболее гибким и прозрачным с точки зрения интерпретации результатов сопоставления является метод эталонов, который так же позволяет дополнять построенную модель распознавания новыми данными об объектах контроля. При этом текстурное представление предполагает использование точек изображения в качестве признаков, что может значительно понизить эффективность модели, построенной по методу эталонов, особенно в случае плохой разделяемости классов.

Таким образом, преобразование набора признаков должно позволить сделать его инвариантным с целью уменьшения необходимого количества эталонов, а так же повысить точность сопоставления в случаях локальных искажений изображений объектов. Преобразования, учитывающие взаимное расположение точек разной интенсивности, инвариантно самим значениям интенсивности, а за счет увеличения связности набора признаков повышается точность сопоставления с шаблоном в целом.

При использовании разности либо отношения значений яркости в точке к значениям яркости в точках из некоторой окрестности принято говорить о преобразовании градиента

$$G_X(p, l) = C(l)X(p + c(l)) - C_0(l)X(p), \quad (1)$$

где $G_X(p, l)$ – значение градиента функции яркости в точке p на слое l ; C_0, C – коэффициенты; $X(p)$ – значение яркости точки p ; $c(l)$ – l -ая точка несмещенного ядра свертки.

Традиционные градиентные преобразования, такие как преобразования Собеля, Роберта, Привита, манипулируя коэффициентами C , получают в качестве признаков кумулятивное значение градиента

$$G_X^{cum}(p) = \sum_l G_X(p, l). \quad (2)$$

При этом учитывается информация о направлении максимального изменения интенсивности с учетом весовых коэффициентов.

Используя общую формулу (1) анализ текстуры осуществляется более точно (каждый слой описывает значение градиента в одном из направлений, поэтому $G_X(p, l)$ можно назвать многослойной картой разнонаправленных градиентов) и такой набор признаков менее подвержен влиянию локальных искажений. Обозначим как N_x – количество точек в области x , тогда для $C_0(l) = 1, C(l) = 1, \forall l$ и квадратной компактной области c для выброса в одной неограниченной точке p получим количество ложных значений преобразованных признаков из расчета на затрагиваемую искажением область (N_{err}) для кумулятивного и обобщенного подходов в указанной области

$$N_{err} = \frac{2N_c}{N_c(N_c + 1)} = \frac{2}{N_c + 1}, \quad N_{err}^{cum} = \frac{N_c + 1}{N_c + 1}. \quad (3)$$

Для сопоставления с шаблоном в случае использования формулы (1) используется выражение вида

$$Q(p, T) = \frac{\sum_{t \in T} \sum_{l \in c} |G_T(t, l) - G_I(p + t, l)|}{N_T \cdot N_c}, \quad (4)$$

где $Q(p, T)$ – значение степени совпадения шаблона T с фрагментом изображения в точке p .

Методы повышения эффективности. Как видно из формулы (2), кумулятивное преобразование призвано сократить количество признаков после преобразования связности. В качестве способа сокращения количества признаков для некумулятивного метода предлагается осуществить бинаризацию значений градиентов на каждом слое. При этом будет использоваться информация о наличии градиента в том или ином направлении. Обозначим бинаризованный вариант (1) как $G_X^{bin}(p)$, полученный путем упаковывания битов слоев а одно значение параметра.

Тогда для сопоставления с шаблоном в случае использования бинаризованных значений градиентов используется выражение вида

$$Q(p, T) = \frac{\sum_{t \in T} \text{bits}(G_T^{\text{bin}}(t) \otimes G_I^{\text{bin}}(p + t))}{N_T \cdot N_c}, \quad (5)$$

где $\text{bits}(x)$ – количество единиц в бинарном представлении числа x .

Из выражения (5) видно, что в случае бинаризации сравнение каждой точки шаблона происходит за одну операцию исключающего или, что при выборе области c таким образом, что бы N_c было пропорционально разрядной сетке современных ЭВМ, позволит существенно повысить эффективность алгоритма, реализующего данную модель.

Для выбора ядра c использовались средние значения ошибок классификации первого и второго рода для различных значений неровности текстуры шаблона, выраженной в процентном отношении единиц к общему количеству бит в бинарном представлении градиента. Результаты сравнения квадратных ядер c приведены в таблице.

Таблица

Ошибки классификации для различных ядер c (для 230 тестовых изображений)

c	N_c	Неровности текстуры, %	Неверная классификация, %	Ошибочные срабатывания, %	Общая ошибка классификации, %
3×3	8	30%	5,65%	22,17%	27,83%
		40%	4,35%	14,78%	19,13%
		50%	3,91%	3,91%	7,83%
		60%	1,30%	1,30%	2,61%
5×5	24	30%	3,04%	9,13%	12,17%
		40%	4,78%	1,74%	6,52%
		50%	5,22%	0,43%	5,65%
		60%	9,13%	0,00%	9,13%
7×7	48	30%	3,04%	6,09%	9,13%
		40%	4,35%	0,87%	5,22%
		50%	5,22%	0,00%	5,22%
		60%	20,43%	0,00%	20,43%

Как видно из таблицы, с увеличением поля связности увеличивается количество ошибок первого рода и уменьшается второго, при этом средняя ошибка классификации для значений N_c 24 и 48 вполне приемлема. При меньших значениях N_c ошибка увеличивается из-за недостаточной точности сопоставления текстуры.

С целью снижения времени обработки также предлагается снизить размерность пространства эталонов для сравнения за счет наложения на него иерархической структуры – группы "близких" эталонов усредняются в один, образуя при этом второй уровень иерархии. Такой подход позволяет снизить порог для сопоставления с эталонами первого уровня, снижая, таким образом, ошибку, связанную с пропуском изображений объектов контроля.

При проверке очередного экземпляра сравнение производится с эталонами первого уровня иерархии, и в случае успешного сопоставления – с соответствующими исходными эталонами, находящимися на втором уровне, и использованными для усреднения, если такое имело место.

Автоматическая система распознавания автотранспортных средств.

На основе изложенных методов была создана программная система для решения задачи распознавания автотранспортных средств, движущихся по автомагистралям, на основании изображений их задней части, полученных с устройств видео наблюдения, расположенных над дорожным полотном.

На рисунке представлена схема функционирования автоматической системы распознавания.

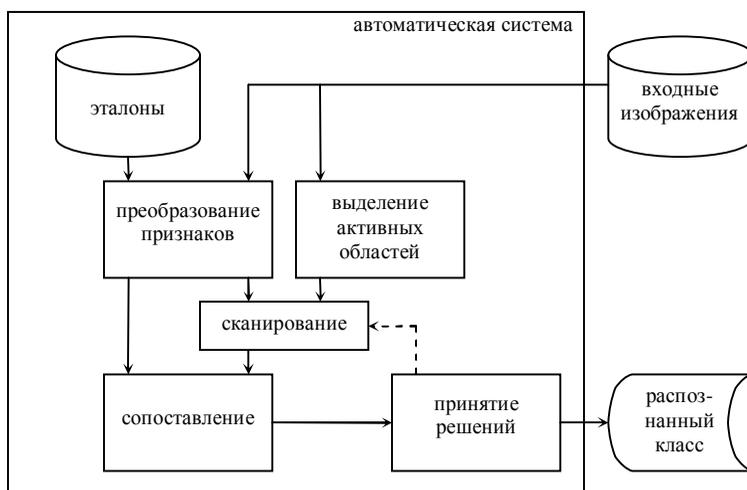


Рис. Схема функционирования автоматической системы распознавания

На этапе инициализации набор эталонов преобразуется к виду, необходимому для непосредственного сопоставления с новыми экземплярами – подвергается преобразованию исходного набора признаков, которыми описываются эталоны для более удобной работы с ними. Входные изображения, поступающие на вход распознающей системы, подвергаются такому же преобразованию, параллельно происходит выделение активных областей изображения путем сопоставления соседних кадров видео последовательности либо другими специфическими средствами выделения региона интереса, например, в случае распознавания на статических изображениях. В процессе сканирования последовательно указываются области-кандидаты преобразованных входных изображений сцен из диапазона активных областей, при этом используется обратная связь, учитывающая

знания о предыдущем положении объекта на сцене. Отобранные кандидаты сравниваются с набором эталонных представителей распознаваемых классов. На основании такого сравнения принимается решение о том, какие из рассмотренных областей являются изображениями искомых объектов и к какому из распознаваемых классов они принадлежат.

Для тестирования системы были использованы две выборки изображений автомобилей, использованных для обучения описанной системы и действующей системы, использованной для сравнения, и изображений сцен, использованных для контроля правильности выделения и распознавания. Обучающая выборка составила 1555 изображений автотранспортных средств трех распознаваемых классов, тестовая выборка – 2457 изображений сцены, содержащей одно или несколько автотранспортных средств. При этом точность распознавания описанной в работе системы составила 80,5% при среднем времени обработки одного изображения 0,6 с против 72% точности при средних затратах времени 1,1 с индустриальной системой ASPI, используемой на автострадах Италии.

Выводы. С целью решения актуальной задачи распознавания оптических изображений впервые предложено использовать многослойные карты разно направленных градиентов для представления и сравнения изображений в системе распознавания.

Получил дальнейшее развитие метод эталонов, который модифицирован для решения задач оптического текстурного распознавания за счет введения некумулятивного преобразования связности на пространстве признаков.

Разработана система автоматической классификации автотранспортных средств, использующая предложенные методы и модели.

Работа выполнена в рамках НИР ООО "МПА Групп" "Разработка математического и информационного обеспечения интеллектуальной системы визуального контроля транспортных средств" (№ гос. регистрации 0106U012013) и "Разработка методов и программных средств на основе обучения, распознавания, оптимизации та адаптации для принятия решений в автоматизированных системах управления транспортными средствами" (№ гос. регистрации 0107U0006781).

Список литературы: 1. *Кормановський С.І.* Око-процесорна обробка та розпізнавання образної інформації за геометричними ознаками: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / *Кормановський Сергій Іванович.* – Тернопіль, 2008. – 162 с. 2. *Лавріненко С.В.* Ідентифікація форми рухомих об'єктів на основі сигнально та спектрально-структурних моделей: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / *Лавріненко Сергій Вадимович.* – Одеса, 2002. – 149 с. 3. *Leibe B.* Learning semantic object parts for object categorization / *B. Leibe, A. Ettlin, B. Schiele* // *Image and Vision Computing.* – Newton: Butterworth-Heinemann, 2008. – Vol. 26. – № 1. – P. 15-26. 4. *Zabih R.* Non-parametric local transforms for computing visual correspondence / *R. Zabih, J. Woodfill* // *Proceedings of the Third European Conference on Computer Vision.* Stockholm, May 2-6, 1994. – New York: Springer-Verlag, 1994. – Vol. 2. – P. 151-158. 5. *Messelodi S.* Vision-based bicycle/motorcycle classification / *S. Messelodi, C.M. Modena, G. Cattoni* // *Pattern Recognition Letters.* Oct. 2007. – New York: Elsevier Science Inc., 2007. – Vol. 28. – № 13. – P. 1719-1726. 6. *Bebis G.* Monocular Precrash Vehicle Detection: Features and Classifiers / *G. Bebis, R. Miller* // *IEEE Transactions on Image Processing.* July 2006. – New York:

Springer-Verlag, 2006. – Vol. 15. – № 7. – P. 2019-2034. 7. *Гороховатский В.О.* Распознавание изображений в условиях неполной информации / *В.О. Гороховатский.* – Харьков: ХНУРЭ, 2003. – 112 с. 8. *Айвазян С.А.* Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности: Справ. изд. / *С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин;* Под ред. С.А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с. 9. *Люгер Дж.Ф.* Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / *Дж.Ф. Люгер.* – М.: Вильямс, 2005. – 864 с.

Статья представлена д.ф.-м.н. проф. ЗНУ Гоменюком С.И.

УДК 004.93

Некумулятивні перетворення ознак в системах оптичного текстурного розпізнавання / Бойченко К.Ю. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 43. – С. 3 – 9.

Вперше запропоновано використовувати багатопарові карти різнонаправлених градієнтів для представлення та порівняння зображень в системі розпізнавання. Отримав подальшого розвитку метод еталонів, який модифіковано для вирішення задач оптичного текстурного розпізнавання за рахунок введення некумулятивного перетворення зв'язності на просторі ознак. Розроблена система автоматичної класифікації автотранспортних засобів. Ил.: 1. Табл.: 1. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: некумулятивне перетворення, багатопарові карти різнонаправлених градієнтів.

UDC 004.93

Non-cumulative feature conversion in optical texture recognition systems / Boichenko C.Yu. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – № 43. – P. 3 – 9.

Multilayer multi-direct gradient maps for presentation and comparison of image in recognition systems are first proposed. Template method is advanced to solve optical texture recognition problems by applying non-cumulative coherence conversion in feature space. Automatic vehicles classification system is developed. Figs: 1. Tables: 1. Refs: 15 titles.

Key words: non-cumulative conversion, multilayer multi-direct gradient maps.

Поступила в редакцію 16.10.2009

А.Н. БОРИСЕНКО, канд. техн. наук, проф. НТУ "ХПИ",
О.В. ЛАВРИНЕНКО, аспирант НТУ "ХПИ",
П.С. ОБОД, аспирант НТУ "ХПИ"

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЕ И МЕХАНИЗМЕ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА

Выполнено имитационное моделирование циклических процессов, сопровождающих работу цилиндро-поршневой группы механизма газораспределения дизель-генератора, с использованием единичной ступенчатой и экспоненциальной функции со сдвигом во времени. Частота следования импульсов энергии, создаваемых цилиндро-поршневой группой, впускными и выпускными клапанами соответствует частоте вращения вала, а их число за один оборот соответствует числу цилиндров генератора. По виду амплитудно-частотного и фазо-частотного спектров импульсной последовательности делается вывод о техническом состоянии агрегата. Ил: 5. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: моделирование, циклические процессы, цилиндро-поршневая группа, механизм газораспределения, дизель-генератор.

Постановка проблемы. Техническое диагностирование дизель-генераторов (ДГ) имеет важное практическое значение, поскольку предотвращает эксплуатацию энергоустановки с дефектами или неисправностями, что, в свою очередь, способствует экономии топлива и сохранению окружающей среды. Весьма важными узлами, определяющими работу ДГ, являются цилиндро-поршневая группа (ЦПГ) и механизм газораспределения (МГР), в частности, впускные и выпускные клапаны. Таким образом, оценка технического состояния указанных узлов имеет существенное значение для обеспечения высоких технико-экономических и экологических показателей ДГ. Решение такой задачи весьма затруднительно без проведения математического, имитационного или физического моделирования и определения соответствующих диагностических признаков.

Анализ литературы. В работах [1 – 5] рассмотрены вопросы диагностирования ЦПГ по неравномерности вращения коленчатого вала и оценки технического состояния МГР по термодинамическим параметрам, полученным после обработки значительного объема экспериментальных данных. При отсутствии же таковых решение задач диагностики оказывается затруднительным или даже невозможным.

Цель статьи – разработка имитационной модели циклических процессов в ЦПГ и МГР ДГ и получение диагностических признаков, с помощью которых можно оценивать техническое состояние впускных и выпускных клапанов и ЦПГ силовой установки без проведения объемных экспериментов на реальных объектах.

Для моделирования последовательности импульсов, характеризующих импульсы энергии в процессе рабочего цикла в исследуемом дизеле, использовалась функция вида $xe^{-\alpha x}U(x)$.

Исходя из этой функции, а также с учетом конструктивных особенностей дизеля и круговой диаграммы работы его ЦПГ, последовательность импульсов энергии за один рабочий цикл дизеля может быть представлена выражением [6, 7, 8]

$$\xi_{\text{ц}}(t) = \sum_{k_{\text{ц}}=1}^{16} [t - (k_{\text{ц}} - 1)h] e^{-\alpha[t - (k_{\text{ц}} - 1)h]} U[t - (k_{\text{ц}} - 1)h], \quad (1)$$

где $k_{\text{ц}}$ – номер цилиндра; h – длительность рабочего хода в соответствующем цилиндре; α – коэффициент, характеризующий степень затухания импульса; $U[t - (k_{\text{ц}} - 1)h]$ – единичная функция Хевисайда, которая определяется следующим образом:

$$U[t - (k_{\text{ц}} - 1)h] = \begin{cases} 0 & \text{при } t < (k_{\text{ц}} - 1)h, \\ 1 & \text{при } t \geq (k_{\text{ц}} - 1)h. \end{cases} \quad (2)$$

Моделирование выхода из строя соответствующего цилиндра осуществляется путем обнуления на определенном временном интервале функции, характеризующей импульс энергии, которая поступает за счет работы исследуемого цилиндра. Проиллюстрировать это можно следующим образом.

Выход из строя первого цилиндра можно смоделировать путем обнуления первого слагаемого, входящего в выражение (1), т.е. при $k_{\text{ц}} = 1$. Подобным образом моделируется выход из строя и последующих цилиндров. Аналитически это представлено следующим образом

$$te^{-\alpha t} U(t) \equiv 0 \text{ при } k_{\text{ц}} = 1; \quad (3)$$

$$(t - h)e^{-\alpha(t-h)} U(t - h) \equiv 0 \text{ при } k_{\text{ц}} = 2; \quad (4)$$

.....

$$(t - 15h)e^{-\alpha(t-15h)} U(t - 15h) \equiv 0 \text{ при } k_{\text{ц}} = 16. \quad (5)$$

На рис. 1 показана соответствующая одному рабочему циклу дизеля импульсная последовательность, смоделированная по выражению (1) с помощью ЭВМ при $\alpha = 2$ и $h = 1$.

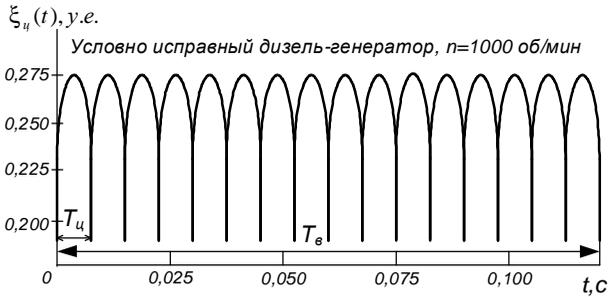


Рис. 1. Последовательность импульсов энергии за один рабочий цикл исправного 16-ти цилиндрового ДГ

Длительность представленной импульсной последовательности $T_в$, как и длительность $T_ц$ импульса энергии в каждом цилиндре, зависит от угловой скорости вращения вала исследуемого ДГ. Оценку области частот, в которой находится основная частотная составляющая, вызванная работой каждого цилиндра, можно выполнить следующим образом. Исходя из обозначений периодов $T_в$ и $T_ц$, показанных на рис. 1, соответствующие им частоты определяются из простых выражений:

$$f_в = \frac{1}{T_в}, \quad T_ц = \frac{T_в}{16}, \quad f_ц = \frac{1}{T_ц} = \frac{16}{T_в}. \quad (6)$$

Если исходить из того, что номинальное число оборотов коленчатого вала исследуемого ДГ составляет $n = 1000$ об/мин, то для номинальной скорости имеют место соотношения: $n_1 = n/2 = 500$ об/мин; $f_а = f_1/60 = 8,3$ Гц; $f = 16 \cdot f_а = 132,8$ Гц (n_1 – частота вращения кулачкового вала топливных насосов, $f_в$ – частота следования импульсов энергии одного цилиндра, $f_ц$ – частота следования импульсов энергии 16-ти цилиндрового ДГ).

АЧС (рис. 2, а) и ФЧС (рис. 2, б), полученные с использованием преобразования Фурье к последовательности (рис. 1), дают наглядное представление о распределении основных частотных составляющих, а также их фазах. Они получены при моделировании условно исправного состояния всех цилиндров исследуемого дизель-генератора.

Одним из важнейших моментов при решении задачи диагностирования является определение диагностических признаков, т.е. параметров, позволяющих однозначно устанавливать изменение состояния диагностируемого узла по изменению этих признаков. Исследуем на предложенной модели (1) поведение ее АЧС и ФЧС при выходе из строя одного или группы цилиндров.

На рис. 3 показана импульсная последовательность при имитации выхода из строя первого левого цилиндра, а на рис. 4 *а*, *б* – соответственно АЧС и ФЧС этой последовательности. Из представленных зависимостей видно, что обнуление одного из импульсов приводит к изменению полученных спектров. В АЧС это проявляется в появлении субгармоник в низкочастотной части спектра и в некотором уменьшении амплитуды основной гармоники. Следует отметить, что этот спектр остается неизменным при имитации выхода из строя любого цилиндра. Таким образом, по АЧС последовательности можно судить только о выходе из строя одного из цилиндров, без указания какого.

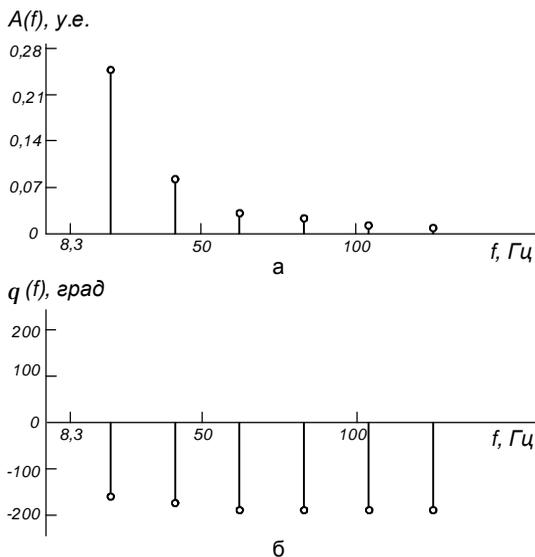


Рис. 2. Результаты обработки импульсов энергии исправного ДГ с помощью быстрого преобразования Фурье: *а* – амплитудно-частотный спектр сигнала; *б* – фазо-частотный спектр сигнала

Ответить на вопрос, какой именно из цилиндров вышел из строя, можно по ФЧС исследуемой последовательности (1). Сравнив рис. 4, б и 5, а, ..., *n*, где показаны ФЧС последовательности (1) при выходе из строя различных цилиндров видим, что имитация отказа определенного цилиндра приводит к соответствующему изменению ФЧС, т.е. определенному номеру вышедшего из строя цилиндра соответствует вполне определенный ФЧС. На основании физической конкретизации параметров модели, которая описывает спектры упомянутых сигналов, в качестве диагностических признаков при диагностике ЦПГ дизель-электрического генератора могут быть использованы: для определения выхода из строя какого-либо одного цилиндра – наличие

субгармоник $d_j, j = \overline{1,15}$ в АЧС девиации угловой скорости вала; для определения номера вышедшего из строя цилиндра – фазовые углы $\alpha_j^0, j = \overline{1,15}$ для соответствующих субгармоник в ФЧС девиации угловой скорости вала.

Полученная информация о номере неисправного цилиндра совместно с результатами контроля ряда параметров режима и рабочего процесса агрегата используется в дальнейшем для конкретизации неисправного узла.

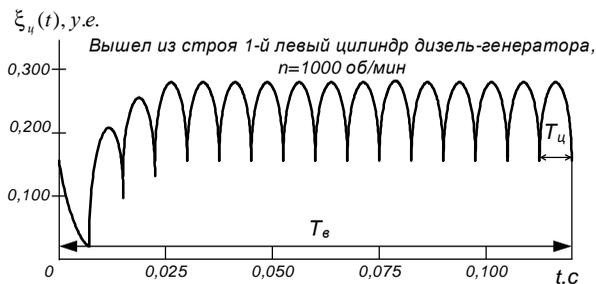


Рис. 3. Последовательность импульсов энергии 16-тицилиндрового ДГ при отключенном первом левом цилиндре

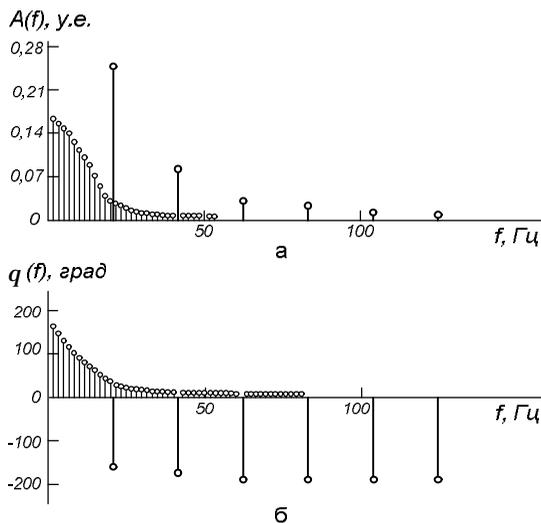


Рис. 4. Результаты обработки импульсов энергии ДГ с отключенным первым левым цилиндром с помощью быстрого преобразования Фурье: а – амплитудно-частотный спектр сигнала; б – фазочастотный спектр сигнала

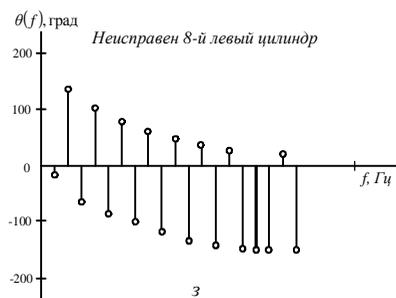
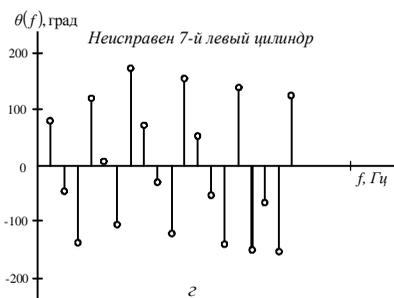
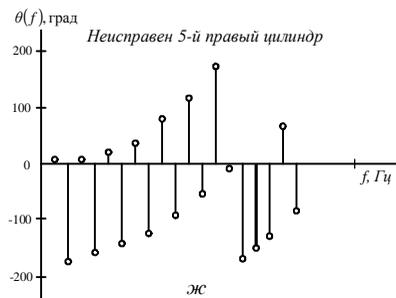
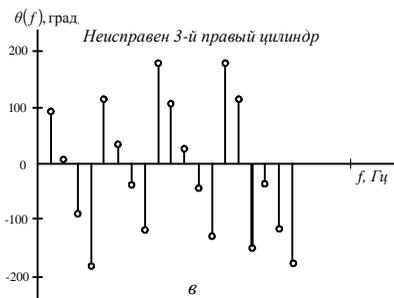
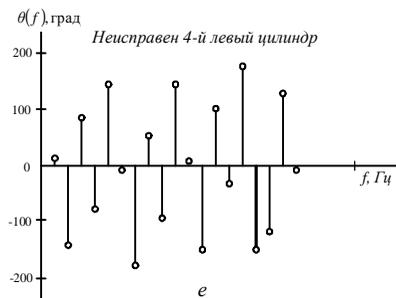
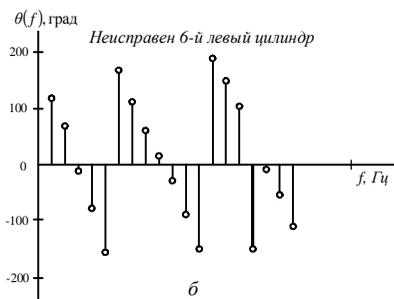
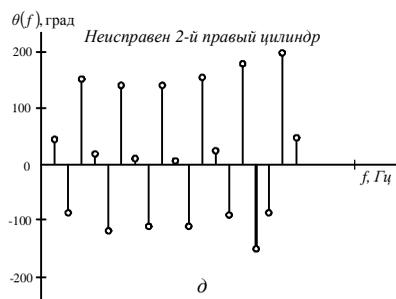
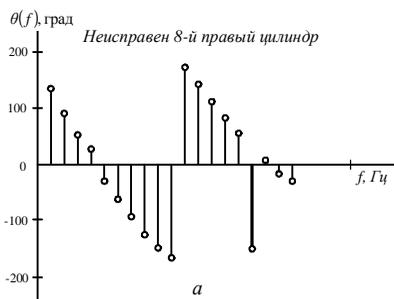


Рис. 5. ФЧС информативного сигнала при различных состояниях ДГ

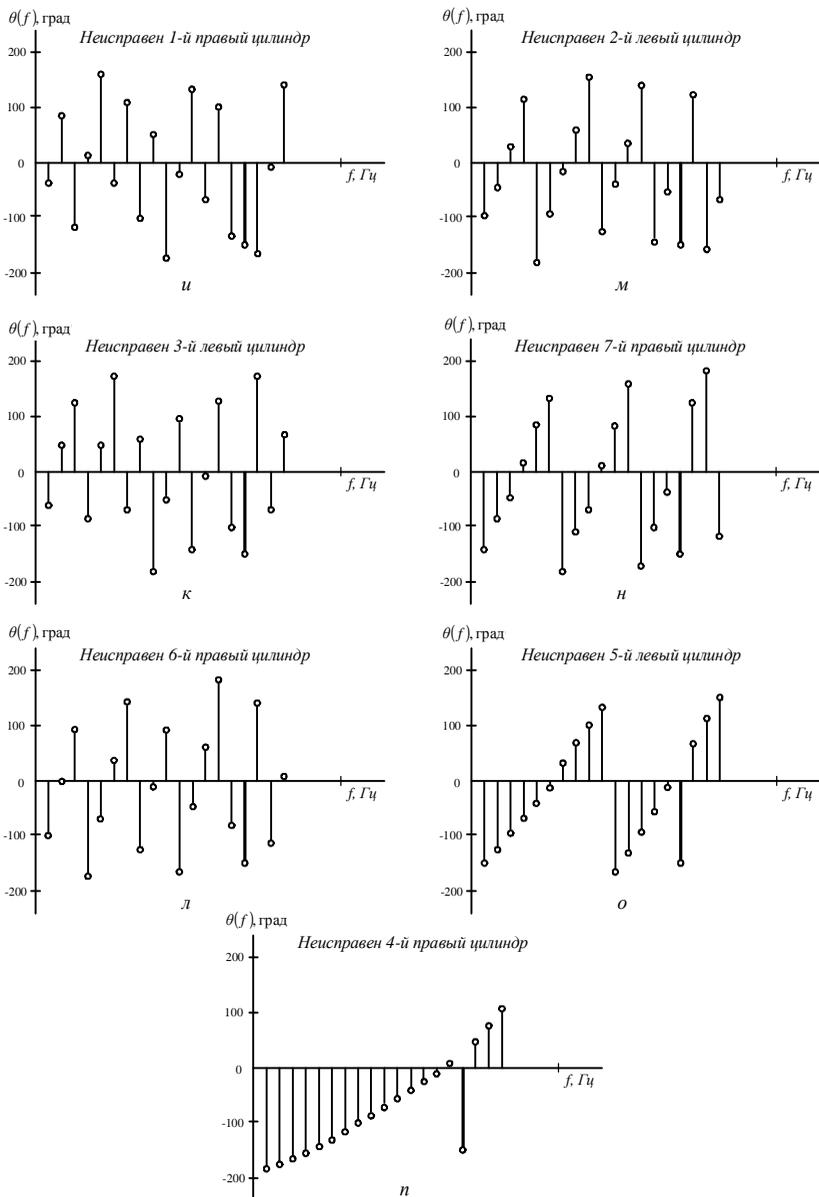


Рис. 5. Продолжение

Выводы. В результате имитационного моделирования циклических процессов, сопровождающих работу ЦПГ и МГР, удалось получить

диагностические признаки (АЧС, ФЧС) и установить, что АЧС позволяет выявить факт наличия дефекта, а ФЧС – выявить цилиндр с дефектом, что удовлетворяет поставленному заданию.

Список литературы: 1. *Марченко А.П.* Двигуни внутрішнього згоряння / *А.П. Марченко* – Харків: Прапор, 2004. – 364 с. 2. *Станиславский Л.В.* Техническое диагностирование дизелей / *Л.В. Станиславский* – К.: Вища школа, 1983. – 135 с. 3. *Борисенко А.Н.* Современные системы и средства контроля технического состояния дизельных двигателей / *А.Н. Борисенко, П.С. Обод, О.В. Лавриненко* // Вестник НТУ "ХПИ". – 2008. – № 56. – С. 26 –34. 4. *Ильина И.В.* Построение обобщенных моделей процессов изнашивания основных типов узлов судовых ДВС / *И.В. Ильина, Е.Н. Климов, А.С. Кобелева* // Двигателестроение. – 2007. – № 3. – С. 11 – 13. 5. *Гребенников А.С.* Диагностирование двигателей по изменению угловой скорости коленчатого вала / *А.С. Гребенников* // Двигателестроение. – 2007. – № 1. – С. 39 – 40. 6. Математическое моделирование в энергетике: Материалы Всесоюзной науч.-техн. конф. "Математическое моделирование" / ИПМЭ, Академия наук УССР. – Киев, 1990. – 216 с. 7. Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье: материалы V Междунар. науч.-техн. конф. / Украина, ХГПУ; Венгрия, Мишкольцкий ун-т; Германия, Магдебургский ун-т. – Х.: ХГПУ, 1997. – 36 с. 8. *Борисенко А.Н.* Имитационное моделирование девиации угловой скорости вала дизель-генератора и получение информативных параметров для систем управления и диагностики на базе гистограммного анализа / *А.Н. Борисенко, П.С. Обод, Е.В. Халанская* // Вестник НТУ "ХПИ". – 2008. – Вып. 31. – С. 14 –20.

Статья представлена д.т.н. проф. НТУ "ХПИ" Кондрашовым С.И.

УДК 621.436.2.001.57

Імітаційне моделювання циклічних процесів у циліндро-поршневій групі й механізм газорозподілу дизель-генератора / Борисенко А.М., Лаврінченко О.В., Обод П.С. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – № 43. – С. 10 – 17.

Виконано імітаційне моделювання циклічних процесів, що супроводжують роботу циліндро-поршневої групи механізму газорозподілу дизель-генератора, з використанням одиначної сідчастої та експонентної функції зі зрушенням у часі. Частота проходження імпульсів енергії, створюваних циліндро-поршневою групою, впускними й випускними клапанами відповідає частоті обертання вала, а їхнє число за один оборот відповідає числу циліндрів генератора. По вигляду амплітудно-частотного і фазо-частотного спектрів імпульсної послідовності робиться висновок про технічний достаток агрегату. Іл.: 5. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: моделювання, циклічні процеси, циліндро-поршнева група, механізм газорозподілу, дизель-генератор.

UDK 621.436.2.001.57

Imitating modelling of cyclic processes in piston-cylinder-unit and device of gas distribution of a diesel engine / Borisenko A.N., Lavrinenko O.V., Obod P.S. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – № 43. – P. 10 – 17.

Imitating modelling of the cyclic processes accompanying work of piston-cylinder-unit of the gas distribution device a diesel engine, with use individual step and exponential functions with shift in time is executed. Frequency of following of energy impulses created by piston-cylinder-unit, inlet and final valves corresponds to rotation frequency of a shaft, and their number for one turn corresponds to number of cylinders of the generator. By the form peak-frequency and phase -frequency spectra of pulse sequence the conclusion about a technical condition of the unit becomes. By appearance of amplitude-frequency spectrum of impulsive sequence drawn conclusion about the technical state of aggregate. Figs.: 5. Refs.: 8 titles.

Key words: modelling, cyclic processes, piston-cylinder-unit, device of gas distribution, a diesel engine.

Поступила в редакцію 09.10.2009

И.Л. БУКАТОВА, д-р физ.-мат. наук, ИРЭ РАН (г. Москва)

ЭФФЕКТИВНЫЕ КОРПОРАТИВНЫЕ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ И ЦЕЛОСТНО-ЭВОЛЮЦИОННЫЕ СРЕДСТВА

Статья посвящена изучению процессов формирования корпоративных стратегий управления в кризисных ситуациях на основе целостно-эволюционных метатехнологий. Определены средства и условия реализации, которые обеспечивают предельно достижимую эффективность управления в социальных системах по сравнению с применением традиционных интеллектуальных технологий. Табл.: 1. Библиогр.: 11 назв.

Ключевые слова: корпоративная стратегия, управление, кризисные ситуации, целостно-эволюционные метатехнологии, интеллектуальные технологии.

Введение. Социальная система, понимаемая ранее как система общественных отношений, в современных условиях действия известных процессов глобализации характеризуется, в первую очередь, процессами человеческой деятельности. Поэтому в современных социальных системах приобретают актуальность типовые задачи, решаемые человеком в процессе деятельности: моделирование, анализ, прогноз, принятие решений, эффективное управление. Кроме того, в настоящее время в социальных системах необходимо учитывать наличие кризисных процессов и предлагать средства решения актуальных типовых задач, адекватных кризисным ситуациям. При этом речь идет о системах различного уровня и вида: экономических, технических, информационных, информационно-технических, социо-технических, социо-природных, социо-экономико-природных и т.п., гибридных и крупномасштабных [1 – 5].

Эти системы имеют сложную, иерархическую структуру, состоящую из многих системных компонент, которые интегрированы, находятся под воздействием процессов различных временных темпов, и развиваются как по составу применяемых или создаваемых технологических средств, так и по накапливаемым знаниям. Действительно, эти крупномасштабные системы максимально отражают такие характерные для современной экономики и развития постиндустриального общества условия их функционирования как глобальную и интенсивную информатизацию, повсеместную компьютеризацию, новые информационно-коммуникационные отношения, распространение Интернет, появление новых рыночных, институциональных и корпоративных структур, повышение мобильности капитала.

Одновременно существенно возрастают роль и требования к эффективности интеллектуальных технологий, поскольку современное общество – это деятельность человека в условиях глобальной интеграции потоков фактического и нематериального капиталов, в первую очередь, знаний [6, 7]. Сформированные в комплексы максимальной интеграции –

интеллектуальные информационно-коммуникационные технологии, знания и метатехнологии деятельности становятся стратегическим инструментом социальной системы любого уровня [8 – 11]. В тоже время, интеллектуальные технологии ориентированы на решение глобальных социально-экономических задач, в том числе, связанных с использованием всевозможных ресурсов, сырья и энергий, что особенно важно при наличии кризисных процессов.

Ранее [2, 4, 5] нами рассмотрена проблема создания на основе целостно-эволюционного подхода (ЦЭ-интеллектуализации) интеллектуальных технологий (И-технологий) как средств поддержки процессов моделирования, анализа и принятия управленческих решений в социальных системах. Установлены принципиальные особенности целостно-эволюционной интеллектуализации при формировании И-технологий и интегрированных знаний. Рассмотрены конкретные механизмы и инструменты этой эффективности, состав средств целостно-эволюционной среды (ЦЭ-среды), их взаимосвязь при формировании и функционировании когнитивно-продуктивных метатехнологий в качестве средств поддержки управленческих решений в профессиональной деятельности. Показано, что при синтезе интеллектуальных метатехнологий в рамках целостно-эволюционной интеллектуализации осуществляется системная интеграция не только информационных потоков, но и знаний, теоретико-аналитических моделей, методик, процедур, механизмов обучения, адаптации, самоорганизации и других интеллектуальных функций (И-функций) и средств. В результате обеспечивается целостность процесса приобретения знаний в синтезируемой интеллектуальной технологии как вложенной системе и, в конечном счете, максимально достижимая эффективность решения актуальных задач социальных систем.

В то же время, эффективное управление в социальных системах, реализуемое корпоративной стратегией управления, должно учитывать различные кризисные процессы, особенности кризисных ситуаций и предлагать соответствующие средства решения актуальных задач.

Целью данной статьи является установление целостно-эволюционных средств, на основе которых формируются корпоративные (общие) стратегии эффективного управления в социальных системах, адекватные различным условиям, в том числе, кризисным.

Корпоративное управление деятельностью: основные компоненты, подсистемы и характерные особенности. Далее при обсуждении используем систему основных понятий и моделей, детально изложенную в работах [2, 4, 5]. Заметим, что употребляющаяся здесь и далее аббревиатура "ЦЭ-" означает выполнение соответствующих процедур в рамках целостно-эволюционного представления и схем вложенности процессов, функций, средств, имеющих место в целостно-эволюционной среде [2, 4, 5].

Любая профессиональная (например, финансовая) деятельность в социальной системе осуществляется для решения широкого спектра задач (финансового характера) в интересах повышения качества работы субъектов: предприятий, ведомств, органов управления, клиентов и пользователей различных инфраструктур, имеющих доступ к финансовым, экономическим и прочим ресурсам. При этом решение конкретной задачи достигается за счет целенаправленной организации системных процессов, при которой обеспечивается требуемый эффект от ее применения, то есть за счет управления.

Системные компоненты деятельности обеспечивают выполнение комплекса функций системы в свете миссии системы и с учетом этих закономерностей. Эффективную работу системы обеспечивает также ряд других, входящих в деятельность, подсистем, таких как: оперативное управление – мониторинг (анализ или диагностика текущего состояния системы), стратегическое управление и планирование (реализация программ развития), контроль и управление персоналом. В корпоративную систему управления профессиональной деятельностью входят все объекты производственных отношений, включая физические объекты (персонал, средства производства и т.д.) и продукты мыслительной и психической деятельности (свойства индивида, системы формирования мотиваций, личностные отношения, производственные отношения и т.д.). В результате корпоративное управление предполагает выполнение функций планирования, организации, координации, мотивации, осуществляя которые руководители обеспечивают условия для производительного и эффективного труда работников и получение результатов, соответствующих целям.

Анализ выделенных выше особенностей корпоративной системы показывает, что эффективное выполнение этих функций достигается лишь путем своевременного выявления проблемных задач, слежения за условиями их развития и упреждающем их решении, то есть на основе исчерпывающего анализа, мониторинга и прогноза в сложнейших ситуациях. Действительно, практический результат работы системы управления деятельностью это иерархическая система управленческих решений, принимаемых в различных сферах деятельности на разных уровнях организационной структуры социальной системы. В соответствии с этим корпоративное управление имеет следующие характерные особенности [5, 8 – 10]:

- является пространственно распределенной, многоуровневой системой – по филиалам, подразделениям, группам;
- является распределенной во времени системой – по сферам деятельности, по профессиональным процессам и технологиям;
- является системой тотальной интеграции – непосредственно по инфраструктуре, организационной структуре и прочим компонентам социальной системы;

– базируется на управлении знаниями, включая знания человека как активного звена принятия управленческих решений.

При этом основная функция ЛПР, включенного в любом месте сложной иерархической системы, сводится к решению двух задач: (1) анализ состояния системы на основе корпоративной информации, поставляемой мониторингом, (2) синтез управленческого решения на основе результатов предшествующего анализа [5, 9, 10] .

Процессы и средства формирования корпоративных стратегий при целостно-эволюционном подходе. Основной инструмент управления в социальной системе (например, в предприятии) это корпоративная (общая) стратегия или совокупность действий (технология), направленных на достижение определённого результата. В ее иерархический состав входят частные стратегии: бизнес-стратегии, то есть стратегии деятельности отдельного стратегического подразделения системы, функциональные стратегии, то есть стратегии (технологии) отдельных направлений деятельности, а также стратегии-технологии решения типовых задач во всех направлениях деятельности системы. Корпоративная стратегия предприятия – это совокупность действий предприятия в целом или метатехнология деятельности системы, которая реализует системную интеграцию знаний, процессов, функций, технологий по инфраструктуре и компонентам корпоративной крупномасштабной системы на всех уровнях ее детализации. Таким образом, корпоративная стратегия, включающая работу со знанием, его формирование, интеграцию, использование, является И-технологией или, точнее, интеллектуальной метатехнологией [5, 8, 9].

При целостно-эволюционном представлении [5] корпоративная стратегия является вложенной в стратегию государственного (метасистемы) и межгосударственного (мирового, т.е. макросистемы) уровней, которые ориентированы на сохранение целостности процесса приобретения знаний в совокупности рассматриваемых вложенных систем. Фактически корпоративная стратегия социальной системы (далее, И-технологии) и стратегии мета- и макросистемы являются вложенными, взаимозависимыми инструментами достижения целей мировой экономики и экономики России соответственно. Именно иерархическая взаимосвязь (вложенность) стратегий обеспечивает согласованность и эффективность деятельности и макроэкономических процессов экономики России в условиях динамики процессов мировой экономики. При этом основное содержание процессов на уровне экономики России связано с формированием и реализацией стратегии, которая эффективно реструктурирует систему потоков материальных, финансовых, информационных, интеллектуальных и других ресурсов для достижения экономических, политических, финансовых и иных целей государства.

В формировании корпоративной стратегии на основе когнитивно-продуктивной метатехнологии выделяются три основных процесса [5]:

актуализация, интеграция и оптимизация. Они находятся во взаимосвязи с другими компонентами процесса формирования корпоративной стратегии. В первую очередь, это внешняя среда, задающая миссию и цель социальной системы, а также внешние и внутренние ресурсы (финансовые, информационные, технические, материальные, технологические, кадровые и другие). Результатом формирования корпоративной стратегии является набор решений по управлению: планы, функции, процедуры, операции, технологии, отчетность, контроль.

В целом процесс **актуализации** при формировании корпоративной стратегии включает следующие функциональные блоки: анализ данных, идентификацию текущей ситуации, включающей идентификацию текущего когнитивного процесса, идентификацию актуализируемых средств технологической среды, идентификацию базовых парадигм продуктивной технологии, а также интегрированную базу знаний и блок управления ею [5, 11]. Таким образом, в процессе актуализации при формировании корпоративной стратегии происходит обновление, сортировка и распределение информации под процедуры и методики целостно-эволюционной интеграции (ЦЭ-интеграции), реализуемой под метатехнологии рассматриваемых вложенных систем. На основе этих методик осуществляется управление корпоративной информацией и управление базами данных и знаний, происходит учет динамики внешней среды, внешних и внутренних ресурсов. Иначе говоря, осуществляется мониторинг процесса формирования корпоративной стратегии.

Заметим, что актуализация ресурсов определенной сферы (направления) деятельности при *любой* интеллектуализации осуществляется в соответствии с текущей ситуацией на основе анализа данных мониторинга. Однако в случае целостно-эволюционного подхода текущая ситуация сформирована по структуре вложенных систем, так что при *идентификации текущей ситуации* целостно-эволюционные средства мониторинга (ЦЭ-мониторинг) включают следующие процедуры, отсутствующие в случае традиционной интеллектуализации [5, 8 – 10]:

1. Идентификацию когнитивного процесса в рассматриваемой совокупности вложенных систем.

2. Идентификацию режима актуализации средств технологической среды.

3. Идентификацию базовых парадигм продуктивной технологии.

4. Управление вложенными интегрированными базами знаний.

В рамках целостно-эволюционного подхода речь идет о формировании знаний для принятия решений и их адекватном использовании. В целостно-эволюционной методологии знание становится объектом, инструментом и результатом управления, а руководитель – лицом, принимающим решение (ЛПР) по целенаправленному использованию знаний и контролю за процессами деятельности и ее результатов. В качестве знаний в данном случае

рассматриваются: профессиональная информация, процедуры конкретной деятельности, модели и технологии деятельности и т.п.

Процесс **целостно-эволюционной интеграции** (ЦЭ-интеграции) средств И-технологии является многоуровневым и включает следующие компоненты [5, 11]:

1. Интеграцию интеллектуальных функций (И-функций) (*обучения, адаптации, самоорганизации* и др.) в совокупности вложенных систем: мировой экономики, экономики России и деятельности.

2. Интеграцию методов, алгоритмов, процедур, ориентированных на процессы деятельности и реализацию парадигмы базовой когнитивной технологии.

3. Интеграцию методов, алгоритмов, процедур, ориентированных на корпоративную деятельность и реализацию парадигмы базовой продуктивной технологии.

В результате используются следующие инструменты ЦЭ-интеграции: схема вложенности систем, методика создания когнитивно-продуктивной метатехнологии; схемы процессов и процедур формирования знаний: методики ЦЭ-обучения, ЦЭ-адаптации, ЦЭ-самоорганизации; средства поддержки когнитивных процессов; схемы ЦЭ-интеграции знаний, функций, процессов, технологий.

В отличие от традиционной интеллектуализации ЦЭ-среда формирует интегрированные (когнитивные и продуктивные) знания и метазнания относительно вложенных процессов, моделей, технологий макросистемы, метасистемы и И-технологии деятельности [5, 8 – 11]. При этом знания формируются в виде целостной совокупности представлений о структурно-параметрической эволюции вложенных систем, а корпоративное знание определено в виде их стратегий.

Оптимизация корпоративной стратегии при ЦЭ-интеллектуализации заложена в функциональной схеме когнитивно-продуктивной метатехнологии при синтезе новой модели управления. Она формулируется как задача анализа, оценки и выбора модели по эффективной структур-стратегии [2, 4, 5], а реализуется средствами оптимизации базовых технологий (когнитивной и продуктивной) в различных режимах актуализации.

Конкретная стратегия управления (см. выше) характеризуется следующими параметрами: набором решаемых типовых задач в рамках каждого компонента управления; составом используемых в рамках каждого компонента методов и технологий; очередностью решения типовых задач в рамках каждого компонента управления; технологиями решения конкретных типовых задач; очередностью выполнения компонент управления. Отсюда понятно, что формализованная постановка задачи оптимизации корпоративной стратегии по данным параметрам невозможна, поэтому обычно речь идет об оптимизации функциональных компонент или частных стратегий.

Выводы. Таким образом, с позиций целостно-эволюционного подхода проведен анализ основных процессов ЦЭ-формирования корпоративной стратегии, в результате определен состав средств ЦЭ-среды, на основе которых создается эффективная И-технология управления в социальных системах. Перечень данных средств приведен в таблице. На основе этих средств при реализации многоэтапного процесса целостно-эволюционной интеллектуализации осуществляется, в частности, формирование И-технологии управления, ориентированной на конкретные кризисные ситуации.

Так при снижении прибыли и рентабельности, убыточности производства необходимы стабилизационные меры и стратегическое управление: изменение стратегии, реструктуризация предприятия, обеспечивающие снижение издержек и повышение производительности. Соответствующие ЦЭ-средства оптимизируют целостно-эволюционную, иерархическую систему вложенных стратегий, используя частные стратегии, отдельные модели и метамодели, которые учитывают актуальные (по данным мониторинга) кризисные процессы, того же временного темпа интегрированные знания и процедуры формирования И-технологий.

В иных кризисных ситуациях (истощения резервных фондов и т.п.) необходимы экстренные меры по стабилизации, например, финансового положения предприятия, проведению эффективной маркетинговой политики и изысканию средств на проведение реструктуризации, реализующей стратегию эффективного развития. Именно эти ЦЭ-средства, ряд которых, как указано выше, отсутствует в традиционных интеллектуальных технологиях, обеспечивают предельно достижимую эффективность управления в социальных системах в условиях развития природных, технических, технологических, экономических и др. факторов.

Применяемые при этом ЦЭ-средства формируют единую базу данных и знаний деятельности социальной системы, государственного и межгосударственного уровней с устранением информативной неопределенности; обеспечивают согласованную работу подсистем и отдельных исполнителей; повышают эффективность автоматизации системы управления; обеспечивают наиболее эффективное внедрение информационных технологий; технологично и эффективно распределяют ресурсы.

В целом эффективное управление на основе целостно-эволюционных И-технологий достигается на базе глубокой интеграции и согласованной эволюции, сформированных в ту или иную системную совокупность социо-природных процессов единой системы <макросистема+(человек+И-технология)+И-технология>. При этом реализуется адекватный учет сложной структуры социальных (в том числе, кризисных) процессов, динамики внутренних и внешних факторов деятельности, факторов развития ситуаций, кроме того, на основе внутреннего мониторинга преодолевается информативная неопределенность, позволяющая синтезировать управляющие

решения в условиях недостатка, противоречивости, фрагментарности информации.

Таблица

№ п/п	Процессы и компоненты формирования корпоративной стратегии	Средства ЦЭ-интеллектуализации
1.	Методологии и методы.	Схема вложенности систем, методика создания когнитивно-продуктивной метатехнологии.
2.	Методики, процедуры, модели, метамодел и технологии формирования когнитивных и продуктивных знаний.	ЦЭ-анализ проблемной ситуации, схемы процессов и процедур формирования знаний, методики ЦЭ-обучения, ЦЭ-адаптации, ЦЭ-самоорганизации.
3.	Схемы, методики и процедуры поддержки и ЦЭ-интеграции когнитивных и продуктивных процессов.	Структура К-процессов, методики ЦЭ-обучения, ЦЭ-адаптации, ЦЭ-самоорганизации.
4.	Схемы, методики, модели, метамодел и процедуры поддержки и ЦЭ-интеграции И-функций.	Схемы ЦЭ-интеграции функций, методики ЦЭ-обучения, ЦЭ-адаптации, ЦЭ-самоорганизации.
5.	Схемы, модели, метамодел, методики, процедуры и технологии формирования корпоративной стратегии как метатехнологии.	ЦЭ-мониторинг, схемы ЦЭ-интеграции знаний, функций, процессов, технологий, методики, процедуры создания и реализации когнитивно-продуктивной метатехнологии.
6.	Схемы, методики, процедуры и технологии поддержки решений (анализ, моделирование, прогноз).	ЦЭ-мониторинг, схемы ЦЭ-интеграции знаний, функций, процессов, технологий, методика создания когнитивно-продуктивной метатехнологии.

Список литературы: 1. *Букатова И.Л.* Интеллектуализация социальных систем: целостно-эволюционный подход / *И.Л. Букатова* // Социальные процессы и технологии: моделирование и управление. – М.: МИГКУ, 2006. – С. 24 – 32. 2. *Букатова И.Л.* Теория целостно-эволюционной интеллектуализации социальных систем / *И.Л. Букатова, В.В. Макрусев.* – М.: МИГКУ, 2004. – 125 с. 3. *Букатова И.Л.* Формирование эффективных интеллектуальных метатехнологий целостно-эволюционными средствами / *И.Л. Букатова* // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2008): Материалы второй международной конференции (1-3 октября 2008, Москва, Россия). – М.: Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН, 2008. – Т. II. – С. 12 – 15. 4. *Букатова И.Л.* Современные информационные технологии управления / *И.Л. Букатова, В.В. Макрусев.* – М.: РИО РГА, 2003. – 252 с. 5. *Букатова И.Л.* Интеллектуализация банковской деятельности: целостно-эволюционный подход / *И.Л. Букатова, О.М. Роцупкин.* – М.: Альянс, 2005. – 242 с. 6. *Стоунхаус Дж.* Управление организационным знанием / *Дж. Стоунхаус* // Менеджмент в России и за рубежом. – 1999. – Т. 18. – № 1. – С. 35 – 40. 7. *Экк К.Д.* Знание как новая парадигма управления / *К.Д. Экк* // Проблемы теории и практики управления. – 1998. – № 2. – С. 2 – 14. 8. *Аглицкий Д.С.* Российский рынок информационных технологий: проблемы и решения / *Д.С. Аглицкий, И.С. Аглицкий.* – М.: ЗАО "Ламинфо", 2000. – 208 с. 9. *Ахтырченко К.В.* Распределенные объектные технологии в информационных системах / *К.В. Ахтырченко, В.В. Леонтьев* // Системы управления базами данных. – 1997. – № 5 – 6. – С. 15 – 23. 10. *Мулен Э.* Корпоративное принятие решений. Аксиомы и модели / *Э. Мулен.* – М.: Мир, 1991. – 463 с. 11. *Букатова И.Л.* Целостно-эволюционная интеллектуализация: формирование интеллектуальных метатехнологий / *И.Л. Букатова* // Вестник Национального технического университета "Харьковский политехнический институт. Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2008. – № 24. – С. 3 – 10.

УДК 65.262.1

Ефективні корпоративні стратегії управління і цілісно-еволюційні засоби / *Букатова І.Л.* // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 43. – С. 18 – 26.

Стаття присвячена вивченню процесів формування корпоративних стратегій управління в кризових ситуаціях на основі цілісно-еволюційних метатехнологій. Визначені засоби і умови реалізації, які забезпечують гранично досягну ефективність управління в соціальних системах в порівнянні з вживанням традиційних інтелектуальних технологій. Табл.: 1. Бібліогр.: 11 назв.

Ключові слова: корпоративна стратегія, управління, кризові ситуації, цілісно-еволюційні метатехнології, інтелектуальні технології.

UDC 65.262.1

Effective corporate strategies of management and integrally-evolutional facilities / *Bukatova I.L.* // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 43. – P. 18 – 26.

The article is devoted the study of processes of forming of corporate strategies of management in crisis situations on the basis of integrally-evolutional metatechnologies. Facilities and terms are certain realization which provide maximum attainable efficiency of management in the frames of society as compared to application of traditional intellectual technologies. Tabl.: 1. Refs: 11 titles.

Keywords: corporate strategy, management, crisis situations, integrally-evolutional metatechnologies, intellectual technologies.

Поступила в редакцію 19.10.2009

М.В. БУРЦЕВ, магистр НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
А.И. ПОВОРОЗНЮК, канд. техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

СИНТЕЗ КОМБИНИРОВАННОГО РЕШАЮЩЕГО ПРАВИЛА В ЗАДАЧЕ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Проведен обзор методов и алгоритмов синтеза решающих правил, применяемых в существующих медицинских системах поддержки принятия решений, выполнен анализ их достоинств и недостатков. Предложено комбинированное решающее правило, включающее вероятностный метод Вальда и описание структуры симптомокомплексов. Ил.: 3. Библиогр.: 14 назв.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, метод Вальда, симптомокомплекс, комбинированное решающее правило.

Постановка проблемы и анализ литературы. Активное развитие информационных технологий ведет к компьютеризации всех областей социальной деятельности человека. Современный вычислитель способен если не полностью заменить специалиста, то значительно упростить его работу. Это особенно важно для областей плохо формализуемых задач, одной из которых является медицинская диагностика.

На сегодняшний день существуют такие медицинские системы поддержки принятия решений: *PUFF* – выполняет диагностику легочных заболеваний; *VM* – осуществляет контроль состояния здоровья пациентов палат интенсивной терапии; *MUCIN* – диагностирует инфекционные заболевания; *AI/COAG* – заболевания крови, а *AI/RHEUM* – ревматические заболевания, [1]; "*Тарвей*" – контролирует состояние сердечно-сосудистой системы (для реанимационных отделений, операционных, палат интенсивной терапии, кабинетов функциональной диагностики); "*Айболит*" – оценивает свойства системы кровообращения по индивидуализированной модели пациента отделения интенсивной терапии [2]; *АСПОН* – автоматизированная система профилактических осмотров населения [3]; *INTERNIST* [4], *MDX2* [5] – интегрированные медицинские системы [6] и другие.

В основу решающих правил (РП), применяемых в этих системах, легли следующие алгоритмы и методы.

1. *Метод Байеса.* Основан на вычислении вероятности возможных диагнозов по вероятностям появления комплексов некоторых признаков и априорным вероятностям самих диагнозов. В расчете используется формула Байеса. Полученное значение вероятности сравнивается с некоторым порогом, в случае превышения которого делается вывод о наличии диагноза.

Требования: независимые признаки x_j .

Достоинства: простота реализации.

Недостатки: необходим большой объем и репрезентативность обучающей выборки.

2. *Метод Вальда.* Основан на вычислении отношения правдоподобия для

последовательности признаков, и его сравнении со значением области неопределенности, полученным на основании анализа обучающей выборки. Для двух диагнозов D_q и D_w и системы признаков X отношение правдоподобия имеет вид:

$$\Omega = \frac{P(X/D_q)}{P(X/D_w)}, \quad (1)$$

при

$$P(D_q) + P(D_w) = 1, \quad (2)$$

где $P(X/D_k)$ – условная вероятность наличия системы признаков X при диагнозе D_k .

В случае, когда X рассматривается как система *независимых* признаков вида

$$X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_m), \quad (3)$$

отношение правдоподобия (1) преобразуется в

$$\Omega = \prod_{j=1}^m \frac{P(x_j/D_q)}{P(x_j/D_w)}. \quad (4)$$

Анализ признаков x_i в (4) осуществляется в порядке убывания их информативности:

$$I_{D_i}(x_1) > I_{D_i}(x_2) > I_{D_i}(x_3) > \dots > I_{D_i}(x_m). \quad (5)$$

Полученное значение Ω сравнивается с порогами:

$$A = \frac{1-\beta}{\alpha}; \quad (6)$$

$$B = \frac{\beta}{1-\alpha}, \quad (7)$$

где α – вероятность ошибки принятия диагноза D_w при правильном диагнозе D_q ; β – вероятность ошибочно принятого диагноза D_q при наличии у больного диагноза D_w .

Если $\Omega > A$, то делается вывод о наличии диагноза D_q . Если $\Omega < B$, то делается вывод о наличии D_w . В противном случае выполняется отказ от постановки диагноза.

Требования: независимые признаки x_j .

Достоинства: возможность постановки уточняющего диагноза [7].

Недостатки: отношение правдоподобия может быть вычислено только для двух состояний, поэтому необходима дихотомизация диагностируемых состояний [8].

3. *Методы распознавание образов.* Основаны на представлении объекта

точкой в пространстве признаков. Данный класс методов включает множество различных алгоритмов, отличающихся вычисляемыми расстояниями (расстояния Эвклида, Минковского, Хэмминга, Камберра, Кендала и др.) [9], а также критериями их оценки (сравнение с прототипом, анализ k ближайших соседей, алгоритмы голосования и др.). К этому же классу относятся методы, в основе которых лежат нейронные сети.

Достоинства: высокая эффективность.

Недостатки: сложность реализации; проблема кластеризации объектов в виде компактных, четко различимых множеств.

4. *Детерминистические методы, основанные на применении симптомокомплексов.* Каждый диагноз определяется набором симптомов (диагностических признаков), которые образуют симптомокомплекс данного заболевания (вариантом представления является вектор дихотомических признаков [10]). Информацию о симптомах заболеваний в неформализованном виде можно найти в различных медицинских справочниках [11], сведения которых можно считать экспертной оценкой заболевания, выработанной многими поколениями врачей.

Различают следующие типы симптомов, формирующих симптомокомплексы: *патогномонические* (однозначно свидетельствуют о наличии заданного заболевания), *специфические* (присутствуют при заданном заболевании, но не указывают однозначно на его наличие), *неспецифические* (могут присутствовать при заданном заболевании).

Процесс диагностики представляет собой сравнение вектора признаков диагностируемого объекта с симптомокомплексами известных заболеваний. В качестве критерия сходства в простейшем случае может быть использовано расстояние Хэмминга [12].

Достоинства: простота реализации.

Недостатки: данный класс методов применим только для дихотомических признаков, для численных – необходимо определение соответствующих областей (например, с помощью лингвистических переменных или разбивки на интервалы [13]); существует проблема составления симптомокомплексов для новых заболеваний.

Целью статьи является анализ достоинств и недостатков существующих методов синтеза решающего правила, являющегося ядром диагностической подсистемы, а также разработка комбинированного решающего правила, с целью повышения эффективности процесса постановки диагноза.

Синтез комбинированного решающего правила. Анализ достоинств и недостатков существующих алгоритмов показывает, что перспективным является применение комбинированного РП, основанного на объединении вероятностного и детерминистического подходов.

Вероятностный подход, реализуемый методом Вальда, подразумевает вычисление объективных априорных условных вероятностей $P(x_j / D_k)$ на

основании обучающей выборки. Для этого производится разбивка численных признаков x_j на непересекающиеся диагностически значимые интервалы τ_i ($i = \overline{1, n}$), по которым выполняется построение гистограмм, аппроксимирующих теоретический закон распределения $f(x_j / D_k)$ анализируемого признака, для двух диагнозов D_q и D_w в одной системе координат. Вероятности $P(x_{ji} / D_k)$, относящиеся к гистограммам, рассчитываются как

$$P(x_{ji} / D_k) = \frac{N_{x_j D_k}}{N_{D_k}}, \quad (8)$$

где $N_{x_j D_k}$ – количество объектов обучающей выборки со значением признака x_j при диагнозе D_k , попадающих в соответствующий интервал τ_i (т.е. $x_{ji} \in \tau_i$), N_{D_k} – общее число объектов обучающей выборки с диагнозом D_k .

На рис.1 приведены примеры теоретических законов распределения вероятностей $f(x_j / D_q)$ и $f(x_j / D_w)$, а также аппроксимация этих законов распределения гистограммами.

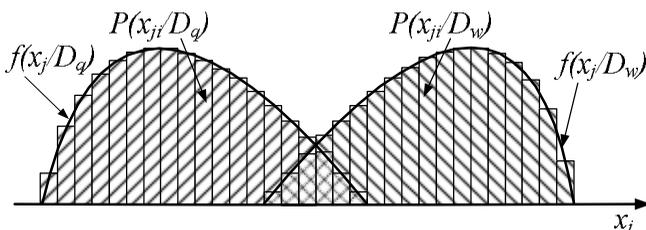


Рис. 1. Теоретические законы распределения условных вероятностей и их аппроксимация гистограммами

Если у пациента измеренный признак x_j попадает в интервал τ_i , то берется соответствующая условная вероятность $P(x_{ji} / D_k)$, относящаяся к τ_i , и подставляется в (4). Полученные значения сравниваются с порогами (6) и (7), на основании чего делается заключение о наличии диагноза (D_q или D_w), или же выполняется отказ от дальнейшей диагностики, если в РП вошли все признаки x_j .

Подход, основанный на нечеткой логике [14], является выражением мнения экспертов. Он состоит в вычислении значения некоторой непрерывной функции $\mu(x_j / D_k)$ – функции принадлежности, полученной исходя из мнения

специалиста, которая выражает степень соответствия значения численного признака x_j некоторой лингвистической переменной, описывающей рассматриваемый признак (например, "высокая температура" или "повышенное артериальное давление").

На рис. 2 показан внешний вид функций принадлежности $\mu(x_i / D_q)$ и $\mu(x_i / D_w)$. Для данных функций справедливы соотношения:

$$\begin{aligned} \mu(x_i / D_q) &= \bar{\mu}(x_i / D_w) = 1 - \mu(x_i / D_w), \\ \mu(x_i / D_w) &= \bar{\mu}(x_i / D_q) = 1 - \mu(x_i / D_q). \end{aligned} \quad (9)$$

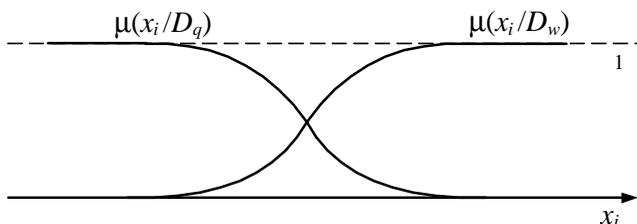


Рис. 2. Функции принадлежности $\mu(x_i / D_q)$ и $\mu(x_i / D_w)$

Кроме того, каждому из признаков x_j выставляется экспертная оценка, выражающая его вес в симптомокомплексе. Эти оценки используются для взвешивания значения $\mu(x_j / D_k)$ и принимают значения e_0, e_1, e_2, e_3 , где e_0 – вес патогномических симптомов; e_1 – вес специфических симптомов; e_2 – вес неспецифических симптомов; e_3 – вес показателей, не входящих в симптомокомплекс данного заболевания.

При этом справедливо неравенство

$$e_0 \geq e_1 \geq e_2 \geq e_3, \quad \sum_{i=0}^3 e_i = 1. \quad (10)$$

Таким образом, учитывая оценки e_i , функция принадлежности принимает вид

$$\mu_i(x_j / D_k) = e_i \cdot \mu(x_j / D_k). \quad (11)$$

В конечном итоге, разные подходы (вероятностный подход, и подход на основе нечеткой логики) предназначены для решения одной и той же задачи классификации. Будучи полученными из разных предпосылок (статистика и мнение эксперта), они описывают общую проблему с различных позиций. Естественным является предположение, что их совместное использование перспективно, поэтому могут быть предложены следующие варианты их

совместного использования:

1. *Коллектив РП* [9]. Данный метод может быть проиллюстрирован следующим образом (рис. 3).

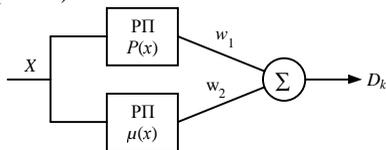


Рис. 3. Структурная схема коллектива решающих правил

Симптомокомплекс X анализируется с помощью каждого из РП, которым задана степень доверия w_i . Блок логического вывода формулирует окончательный диагноз D_k на основании взвешенных результатов работы всех решающих правил. При таком подходе, основанном на нечеткой логике, необходимо выполнение дефазификации.

2. *Взвешивание*. Отношение правдоподобия (4) с учетом (8) и (11) преобразуется к виду:

$$\Omega = \prod_{j=1}^m \frac{P(x_{ji} / D_q) \cdot \mu_1(x_j / D_q)}{P(x_{ji} / D_w) \cdot \mu_1(x_j / D_w)}. \quad (12)$$

Однако, при такой реализации нет возможности установить степень доверия к каждому из подходов отдельно.

3. *Суммирование оценок*. Так как условные вероятности $P(x_j / D_k)$ и значения функции принадлежности $\mu(x_j / D_k)$ являются нормированными величинами, то можно выполнить их усреднение с учетом весовых коэффициентов k_i . Тогда выражение (11) с учетом (8) преобразуется в

$$h(x_j / D_k) = k_1 P(x_{ji} / D_k) + k_2 \mu_1(x_j / D_k), \quad (13)$$

где $k_i > 0$, $\sum k_i = 1$, $i = \overline{1,2}$, а отношение правдоподобия приобретает вид

$$\Omega = \prod_{j=1}^m \frac{h(x_j / D_q)}{h(x_j / D_w)}. \quad (14)$$

Выводы. Проведен анализ существующих алгоритмов и методов реализации решающих правил, применяемых в медицинских системах поддержки принятия решений, выявлены их сильные и слабые стороны. Предложен вариант комбинированного РП, которое позволяет учесть не только объективные вероятности, но и субъективные оценки экспертов.

Список литературы: 1. Джарратано Дж. Экспертные системы: принципы разработки и программирование, 4-е издание. / Дж. Джарратано, Г. Райли. – М.: ООО "И. Д. Вильямс", 2007. – 1152 с. 2. Лицук В.А. Об инфраструктуре информационной поддержки клинической медицины / В.А. Лицук, А.В. Гаврилов, Г.В. Шевченко // Медицинская техника. – 2003. – № 4. – С. 36 – 42.

3. Ахутин В.М. Формальная модель автоматизированной системы профилактических осмотров населения / В.М. Ахутин, В.В. Шановалов // Медицинская техника. – 2002. – № 1. – С. 3–7.
4. Miller R.A. INTERNIST-1, An Experimental Computer-Based Diagnostic Consultant for General Internal Medicine / R.A. Miller, Jr. H.E. Pople, J.D. Myers // New England Journal of Medicine. – 1989. – Vol. 307. – P. 468–476.
5. Sticklen J. MDX2: An Integrated Medical Diagnostic System / J. Sticklen // PhD thesis, Department of Computer and Information Science, The Ohio State University. – 2000. – P. 746.
6. Генкин А.А. Новая информационная технология анализа медицинских данных (программный комплекс ОМИС) / А.А. Генкин. – СПб.: Политехника, 1999. – 191 с.
7. Поворознюк А.И. Метод постановки уточняющего диагноза в компьютерных системах медицинской диагностики при иерархической структуре диагностических признаков / А.И. Поворознюк // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. Х.: ХУПС, 2006. – Вип. 3 (9). – С. 125–130.
8. Поворознюк А.И. Синтез иерархической структуры диагностических признаков в компьютерных системах медицинской диагностики / А.И. Поворознюк // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2003. – № 7. – Т. 2. – С. 39–44.
9. Дюк В.А. Компьютерная психодиагностика / В.А. Дюк. – СПб.: Братство, 1994. – 364 с.
10. Тимофієва Н.К. Моделирование целевой функции в задаче клинической диагностики на основе теории комбинаторной оптимизации / Н.К. Тимофієва // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту. Матеріали міжнародної наукової конференції. Євпаторія 18-22 травня 2009 р. – Том 1. – Херсон: ХНТУ, 2009. – С. 219–223.
11. Справочник практического врача / Под ред. А.А. Михайлова, Л.И. Дворецкого. – М.: Новая Волна, 2001. – 528 с.
12. Поворознюк А.И. Компьютерные системы медицинской диагностики: Лабораторный практикум: в 2 ч. – Ч.2. / А.И. Поворознюк, А.Е. Филатова, А.Н. Шеин. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2007. – 96 с.
13. Поворознюк А.И. Формирование диагностических интервалов численных признаков при дифференциальной диагностике / А.И. Поворознюк // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький: ХНУ. – 2007. – № 3. – Т. 1. – С. 106–109.
14. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.

Статья представлена д.т.н. проф. НТУ "ХПИ" Серковым А.А.

УДК 681.3

Синтез комбінованого вирішального правила в задачі медичної діагностики / Бурцев М.В., Поворознюк А.І. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 43. – С. 27 – 33.

Проведено огляд методів та алгоритмів синтезу вирішальних правил, що застосовуються в існуючих медичних системах підтримки прийняття рішень, виконано аналіз їхніх переваг і недоліків. Запропоновано комбіноване вирішальне правило, що включає імовірнісний метод Вальда та опис структури симптомокомплексів. Іл.: 3. Бібліогр.: 14 назв.

Ключові слова: підтримка прийняття рішень, метод Вальда, симптомокомплекс, комбіноване вирішальне правило.

UDC 681.3

Synthesis of the combined solving rule in the problem of medical diagnostics / Burtsev M.V., Povoroznuk A.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 43. – P. 27 – 33.

The solving rules methods and synthesis algorithms applied in existing medical systems of decision-making support are reviewed, and analysis of their merits and demerits is made. The combined solving rule including a both Wald's method and the complex of symptoms structure description is offered. Figs.: 3. Refs.: 14 titles.

Key words: decision-making support, Wald's method, complex of symptoms, combined solving rule.

Поступила в редакцію 19.10.2009

О.В. ВАСИЛЕНКО, канд. техн. наук, доц. ЗГИА, Запорожье,
Е.Д. МОВЕНКО, м.н.с. ЗГИА, Запорожье

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНВЕРТОРА ТОКА, РАБОТАЮЩЕГО НА ИНДУКЦИОННУЮ УСТАНОВКУ

В статье представлена компьютерная модель высокочастотного преобразователя энергии со звеном повышенной частоты, работающего на индукционную установку. Проведен анализ математических процессоров. Представлена система уравнений динамической модели, адаптированной для программы VisSim. Ил.: 1. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: компьютерная модель, преобразователь энергии, математические процессоры, система уравнений, динамическая модель.

Постановки проблемы. В настоящее время системы индукционного нагрева широко применяются в промышленности для нагрева перед пластической деформацией, объемной штамповкой, ковкой, прессованием, волочением и т.д. [1]. При проектировании технологического оборудования индукционного нагрева необходимо учитывать изменение мощности нагрузки в широком диапазоне, что, несомненно, требует применения в установках данного типа регулирования потока передаваемой энергии, которое осуществляется электронными системами.

Проблема проектирования оптимальных устройств данного типа тесно связано с вопросами математического моделирования. Однако, при реализации математических моделей возникают трудности получения адекватного решения с точки зрения погрешности воспроизведения реакции цепи, количества схемных элементов, типа этих элементов и т.п. В общем случае, математическая модель определяется как набор уравнений, описывающих поведение физической системы (в данном случае – системы полупроводниковый преобразователь – индуктор).

При моделировании и анализе систем полупроводниковых преобразователей (ПП), питающих индукционные установки (ИУ), в настоящее время большинство специалистов используют как универсальные математические процессоры (MathCAD, MatLab), так и специализированные, класса ECAD (PCAD, OrCAD, Micro-Cap и др.). Последние обладают обширными библиотеками моделей аналоговых и цифровых устройств и приборов электронной техники. Применение систем моделирования класса ECAD эффективно при детальном анализе сравнительно быстрых переходных процессов. При расчете стационарных режимов проявляются такие недостатки как: большие затраты машинного времени, низкая устойчивость вычислительных процессов, результаты расчетов не всегда достоверны.

Среда моделирования MatLab, расширение Simulink, имеет средства диалога, графики, объектно-ориентированного программирования. Для

моделирования систем созданы библиотеки элементов, в том числе электрических устройств: тиристорных и транзисторных ПП, элементов систем управления. Имеются библиотеки математических функций. Модели отдельных наиболее типичных электронных устройств представлены в библиотеках. Моделирование системы заключается в соединении друг с другом библиотечных элементов и определении их параметров. Однако, задача соединения библиотечных элементов в Simulink не всегда решается удовлетворительно, т.к. модели элементов рассматриваются во многих случаях как источники тока. При их соединении друг с другом часто оказывается необходимым использовать дополнительные сопротивления, которые позволяют устранить проблемы, возникающие при последовательном включении источников тока (топологические вырождения [2 – 4]). При этом, потери мощности на дополнительных резисторах доходят до 5 % от мощности устройств.

Уменьшение номиналов резисторов приводит к повышению "жесткости" систем уравнений (где коэффициент жесткости определяется минимальным и максимальным значениями постоянных времени переходного процесса). Поскольку, в универсальных математических процессорах используются явные методы численного интегрирования, для которых характерны проблемы потери устойчивости при анализе жестких схем, это, в свою очередь, приводит к увеличению затрат времени на расчеты. Введение же дополнительных сопротивлений в систему ПП – ИУ способствует уменьшению коэффициента жесткости, но при этом не отражается наличие резонансных колебаний, характерных для выбранного типа инвертора, вследствие чего снижается точность результатов моделирования устройств данного типа.

Так же можно добавить, что в Simulink используется представление полупроводниковых элементов в виде резисторов с переменными параметрами. При больших сопротивлениях полупроводниковых элементов в закрытом состоянии увеличиваются затраты машинного времени на расчеты. Для устранения этой проблемы полупроводниковые элементы шунтируются RC-цепями с ограниченными активными сопротивлениями. В мощных тиристорных преобразователях тиристоры запираются при обратных токах до 50-100 А. При запираии тиристоров указанные токи проходят через RC-цепи, вызывая коммутационные перенапряжения и потери энергии. В Simulink в моделях преобразователей тиристоры запираются при нулевом значении тока. По этой причине работа RC-цепей в библиотечных моделях ПП не соответствует работе этих цепей в реальных установках.

Из вышесказанного следует, что существует проблема выбора программного обеспечения и актуализируется задача разработки адекватных математических моделей при проектировании данных устройств.

Анализ литературы. Основные понятия и соотношения процесса индукционного нагрева описаны в [1], здесь также рассматриваются требования к источникам питания устройств индукционного нагрева. В

работах [2 – 4] проанализированы подходы и сформулированы основные принципы моделирования устройств силовой электроники, в том числе, совместно с системами управления. В [5] предлагается метод управления инвертором тока способом поочередного регулирования, на основе гармонического анализа приведены основные соотношения энергетических параметров схемы замещения. В работе [6] описываются методы моделирования преобразователей энергии с использованием коммутационных функций. Представленные методы легко реализуются в математических процессорах таких, как MatLab, MathCAD, что позволяет создавать интегрированные вычислительные блоки в процессе синтеза динамической модели, однако, не позволяют моделировать данные устройства совместно с системой управления.

В [7] проведено исследование импедансных характеристик последовательного резонансного контура цепи нагрузки системы индукционного нагрева. Предложен алгоритм определения границ изменения резонансной частоты и добротности колебательного контура при изменении температуры нагреваемого объекта. Основные методы формирования моделей и методики моделирования в среде математических процессоров рассмотрены в [8].

Цель статьи. Разработка экономичной математической модели системы ПП – ИУ, адаптированной для программного обеспечения, способного адекватно моделировать стационарные режимы.

Основные соотношения энергетики системы. В состав ПП входит инвертор тока (рис. 1, а), позволяющий осуществлять преобразование постоянного тока в переменный. Основные энергетические соотношения этого устройства могут быть выведены на основании эквивалентной схемы (рис. 1, б), полученной при обычных допущениях [5], а именно: устройство рассматривается как преобразователь с постоянной структурой и эквивалентным генератором, исследуется при работе на нагрузку, представляющую собой параллельное соединение эквивалентной индуктивности (L), активной составляющей индуктора (R) и емкости (C).

Регулирование среднего значения потребляемой энергии достигается за счет изменения времени открытого состояния вентильного элемента $T_{имп}$. Выходная частота f инвертора, в данном случае, постоянно настроена на резонанс, обеспечивая, таким образом, минимизацию времени задержки на включение и выключение силовых коммутирующих приборов.

Изменение тока нагрузки осуществляется фазовым способом, за счет изменения одной относительно другой задержек включения вентильных элементов (так называемого угла перекрытия или угла коммутации (α) и описывается следующим соотношением [6]:

$$i(t) = I_d \cdot A(\alpha, t), \quad (1)$$

где I_d – среднее значение тока индуктивности L_ϕ (рис. 1, а) $A(\alpha, t)$ представляет собой коммутационную функцию типа меандр, со сдвигом начальной фазы на угол $\varphi(t)$,

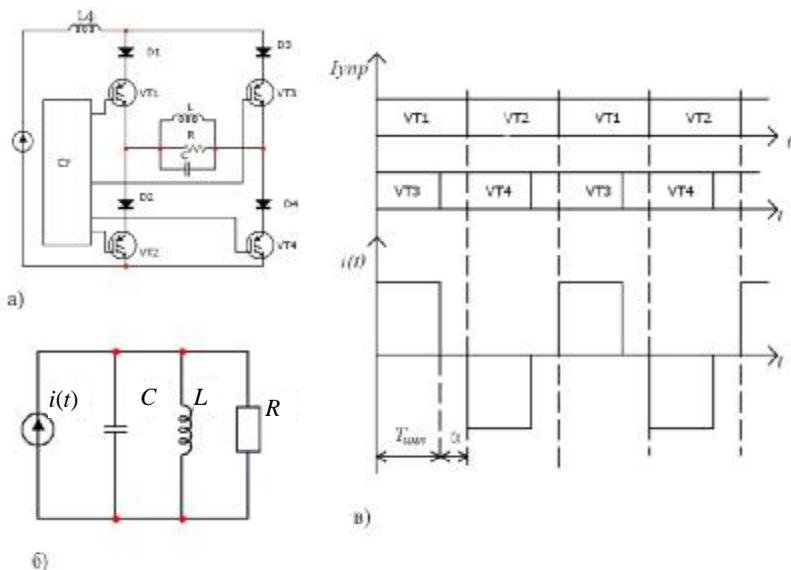


Рис. 1. Инвертор тока – а) принципиальная схема инвертора тока; б) эквивалентная схема; в) управляющие сигналы и ток эквивалентного генератора

В этом случае $A(\alpha, t)$ может быть описана следующим соотношением:

$$A(\alpha, t) = \frac{1}{2} [B(\alpha, t) + Q(\alpha, t)], \quad (2)$$

где:

$$B(\alpha, t) = \text{sign}[\sin(\omega t \pm \varphi(t))], \quad (3)$$

$$Q(\alpha, t) = \text{sign}[\sin(\omega t \pm \varphi(t) \pm \alpha)]. \quad (4)$$

Здесь $\omega = 2\pi f$ – круговая частота, t – независимая переменная (время).

Электромагнитные процессы в преобразователях описываются обыкновенными дифференциальными уравнениями (ОДУ), являющимися уравнениями функции относительно одной переменной и содержащие производные от этой переменной. Для эквивалентной схемы (рис. 1, б) с известными параметрами нагрузки, система уравнений ОДУ, составленная по

первому и второму законам Кирхгофа в матричной форме и приведенная к нормальной форме Коши с нулевыми начальными условиями, имеет вид:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} u_C \\ i_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{G}{C} & -\frac{1}{C} \\ -\frac{1}{L} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_C \\ i_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{C} \\ 0 \end{bmatrix} \cdot i(t), \quad (5)$$

где u_C – мгновенное значение напряжения на емкости C (напряжение на нагрузке) (рис. 1, б); i_L – мгновенное значение тока индуктивности L (рис. 1, б); $G = \frac{1}{R}$ – проводимость, R – активная составляющая нагрузки.

Решая систему относительно напряжения на нагрузке, получим:

$$D(t, y) = D \cdot y_0 + i(t) \cdot s_0, \quad (6)$$

где $D = \begin{bmatrix} -\frac{G}{C} & -\frac{1}{C} \\ -\frac{1}{L} & 0 \end{bmatrix}$ – матрица постоянных схемы; $y_0 = \begin{bmatrix} u_C \\ i_L \end{bmatrix}$ – вектор

начальных условий при $t = 0$; $s_0 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$ – вектор-столбец постоянных схемы.

Определим правую часть уравнения (6) (матрицу $D(t, y)$), которая в данном случае является вектором с двумя компонентами (по числу уравнений в системе), где y – вектор с переменными u_C и i_L .

Решение системы уравнений (5) для u_C в системе MathCAD имеет вид:

$$u_C(t) = rkfixed(y, 0, k, p, D). \quad (7)$$

Соответственно, входное напряжение инвертора (напряжение $u_{L\phi}$) описывается следующим выражением

$$u_{L\phi} = \frac{u_C(t)}{A(\alpha, t)} = \frac{rkfixed(y, 0, k, p, D)}{A(\alpha, t)}. \quad (8)$$

В ходе индукционного нагрева мощность, потребляемая заготовкой при гармоническом изменении амплитуды напряженности магнитного поля H , определяется следующим соотношением [7]

$$P = \frac{H^2 \cdot S}{2} \cdot \frac{\rho}{\Delta s}. \quad (9)$$

где S – площадь поверхности нагреваемого объекта; Δs – глубина проникновения электромагнитного поля в заготовку; ρ – удельное сопротивление материала заготовки, зависящее от температуры θ .

Отсюда, получаем связь эквивалентного сопротивления R с амплитудным значением тока в обмотке индуктора I

$$R = \frac{H^2 \cdot S}{I^2} \cdot \frac{\rho}{\Delta s}. \quad (10)$$

Изменение в процессе нагрева импеданса системы "индуктор – нагреваемый объект" требует регулирования напряженности поля индуктора, что достигается регулированием тока, напряжения на зажимах индуктора и частоты. Также имеет место зависимость тока индуктора от температуры заготовки при заданном режиме нагрева. При сквозном высокотемпературном нагреве, как показано в [1], эффективен режим с постоянной потребляемой мощностью. Определение требуемого тока для стабилизации мощности индуктора возможно путем решения уравнения:

$$P = I(\alpha)^2 \cdot R(I(\alpha), \theta) = const, \quad (11)$$

где $I(\alpha)$ – действующее значение тока индуктора зависящее от угла коммутации α .

Совместное использование уравнений (9) – (11) позволяет считать функцию $I(\alpha)$, определенной при фиксированном значении потребляемой мощности. Сложность определения функции $I(\alpha)$ во всем диапазоне изменения мощности состоит в зависимости активной составляющей импеданса индуктора от его температуры θ , т.е. получение соотношения $I(\alpha, \theta)$, так как магнитная проницаемость $\mu(H)$ зависит от θ . Поэтому функцию $I(\alpha, \theta)$ сложно получить в явном виде, т.е. решить указанные уравнения аналитически. Решение системы уравнений получаем, применив численно-аналитические методы [3].

В процессе разогрева заготовки в индукторе изменение активной и реактивной составляющих нагрузки в первом приближении является скачкообразным. В этом случае, изменение параметров эквивалентной схемы описывается с помощью оператора if и подставляется в исходную систему уравнений (5):

$$f(I, R) = if(\theta > \theta_K, f_1(R_1, I_1), f_2(R_2, I_2)). \quad (12)$$

В качестве основного средства исследования электромагнитных процессов в инверторе тока выбрана программа моделирования динамических систем VisSim, демо-версия которой обеспечивает широкие возможности по

формированию, отладке и исследованию моделей сложных технических объектов различной физической природы, в том числе совместно с системами управления [6, 8]. Эта программа позволяет моделировать процессы с большим разбросом постоянных времени, т.е. системы, в которых длительность переходных процессов отличаются более чем в 10^5 раз. Визуализация результатов с возможностью их последующей обработки в постпроцессоре, транслируемость математических моделей из других математических процессоров, значительная библиотека стандартных блоков являются преимуществами данной среды моделирования.

Динамические модели систем в VisSim описываются иерархическими структурными схемами (блок-схемами), т.е. приложение является инструментальной средой визуального проектирования. Математическое обеспечение программы имеет пакет решателей интерпретирующего типа, функционирующий в динамическом режиме. В состав математического обеспечения входят явные методы численного интегрирования, итерационные методы для нахождения корней алгебраических уравнений, а также методы для параметрической оптимизации.

VisSim имеет возможности управления процессом моделирования, что заключается в свободном выборе величин локальных шагов симуляции, в программировании серии повторных симуляций, в том числе для изучения поведения модели в условиях случайных возмущений [7].

На основании приведенных выше уравнений и особенностей математического обеспечения VisSim получена математическая модель системы ПП – ИУ.

Анализ полученных временных характеристик и сопоставление их с результатами натурального эксперимента показал приемлемую точность разработанной модели как в режиме переходного процесса, так и в установившемся режиме (относительная погрешность по току 10 – 15%).

Выводы. Анализ существующих математических процессоров показал, что выход на стационарный режим силовых электронных устройств адекватно моделируется в программе VisSim. Разработанная для данного программного обеспечения модель системы ПП-ИУ сохраняет соотношение между входом и выходом системы (т.е. передаточную функцию), и в то же время позволяет перейти от одного дифференциального уравнения n -го порядка к системе n дифференциальных уравнений первого порядка. Преимущество такого представления в том, что кроме двух внешних переменных (входной и выходной), в модели отражаются и все внутренние переменные системы.

Минимальность математического описания системы обеспечивает высокую экономичность модели, а способ и вид уравнений обеспечивает универсальность модели и простоту ее адаптации для других математических процессоров.

Таким образом, разработанная модель сочетает в себе такие показатели качества, как точность, экономичность и универсальность и может быть рекомендована для исследования в задачах параметрической оптимизации инверторов тока.

Список литературы: 1. *Слухоцкий А.Е., Рыскин С.Е.* Индукторы для индукционного нагрева / *А.Е. Слухоцкий, С.Е. Рыскин.* – Л.: Энергия, 1974. – 264 с. 2. *Василенко О.В.* Моделирование систем преобразовательной техники / *А.В. Переверзев, О.В. Василенко, С.Л. Шмалый, Р.В. Прокопенко* // Техническая электродинамика. Тем. выпуск. Силовая электроника та енергоефективність. – Ч. 1. – 2003. – С. 43–48. 3. *Василенко О.В.* Усунення алгоритмічних збоїв в EСAD / *А.В. Переверзев, О.В. Василенко* // Електротехніка та електроенергетика. – 2007. – № 1. – С. 25–29. 4. *Переверзев А.В.* Моделювання в електроніці / *А.В. Переверзев, О.В. Василенко.* – Запоріжжя: ЗДІА, 2003. – 160 с. 5. *Семенов В.В.* Транзисторний інвертор тока с заданным коэффициентом несинусоидальности выходного напряжения / *В.В. Семенов* // Техническая электродинамика. Тем. выпуск. Силовая электроника та енергоефективність. – 2003. – С. 23–25. 6. *Макаренко М.П.* Моделювання мережних перетворювачів енергії модуляційного типу / *М.П. Макаренко, В.І. Сенько, М.М. Юрченко.* – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2002. – 140 с. 7. *Земан С.К.* Исследование зависимостей характеристик резонансного контура от конструктивных и электрических параметров системы индуктор – нагреваемый объект / *С.К. Земан, А.В. Осипов, М.С. Сахаров* // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 310. – № 1. – С. 197 – 202. 8. *Гурский Д.А.* Вычисления в MathCAD 12 / *Д.А. Гурский, Е.С. Турбина.* – СПб.: Питер, 2006. – 544 с.

Статья представлена д.т.н., проф. Пазюк М.Ю.

УДК 621.314: 621.383.52

Моделювання інвертора струму, що працює на індукційну установку / Василенко О.В., Мовенко Є.Д. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 43. – С. 34 – 41.

В статті представлена комп'ютерна модель високочастотного перетворювача енергії із ланкою підвищеної частоти, що працює на індукційну установку. Проведено аналіз математичних процесорів. Представлено систему рівнянь динамічної моделі інвертора, яка адаптована для програми WisSim. Лл.: 1. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: комп'ютерна модель, перетворювач енергії, математичні процесори, система рівнянь, динамічна модель.

UDC 621.314: 621.383.52

Modeling of the inverter of current working at inuction hardening / Vasilenko O.V., Movenko E.D. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 43. – P. 34 – 41.

In article is presented computer model of the radio-frequency converter of energy with section of the raised frequency, working at inductor installation. The have been analysed mathematical processors. The have been presented the equations of inverter's dynamic model, adapted for WisSim program. Figs.: 1. Refs.: 8 titles.

Key words: computer modeling, transducer of energy, mathematical processors, system of the equations, dynamical model.

И.П. ГАМАЮН, д-р техн. наук, декан факультета "Информатика и управление" НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
А.В. ИВАНЧЕНКО, аспирант НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

ПРОБЛЕМА ВЫЯВЛЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ЗНАНИЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММНЫХ ПРОЕКТОВ

Рассмотрены предпосылки для создания систем управления знаниями на предприятии. Сделан обзор литературы по теме и представлены подходы построения модели управления знаниями. Определены проблемы организации знаний в рабочем коллективе. Предложено использование подхода социальных сетей для описания неформальных коммуникаций в коллективе. Показано как теория нечетких множеств расширяет подходы к анализу социометрических индексов. Ил.: 1. Библиогр.: 32 назв.

Ключевые слова: управление знаниями, организация знаний, социальные сети, коммуникации, теория нечетких множеств, анализ социометрических индексов.

Постановка проблемы. В области управления проектами накоплен огромный опыт и создано множество нормативов, которые упрощают расчеты длительности и стоимости проектов [1, 2]. В сфере же управления информационными проектами нормативы, определяющие качество, трудоемкость и длительность встречаются довольно редко. Процессы выполняются часто итерационно.

Существует ряд методик, позволяющих оценить сложность программного проекта, а по ней спрогнозировать трудоемкость и стоимость разработки программного обеспечения (ПО). Данные подходы являются основой для формализации процессов и принятия всевозможных управленческих решений [3]. При создании программного обеспечения недопустимы простые подходы, основанные на умножении трудоемкости на среднюю производительность труда. Это вызвано, прежде всего, тем, что экономические показатели проекта нелинейно зависят от объема работ, а при вычислении трудоемкости допускается большая погрешность. Поэтому для решения этой задачи используются комплексные и достаточно сложные методики, которые требуют высокой ответственности в применении и определенного времени на адаптацию (настройку коэффициентов).

Современные комплексные системы оценки характеристик проектов создания ПО используются для решения следующих задач:

- предварительная, постоянная и итоговая оценка экономических параметров проекта: трудоемкость, длительность, стоимость;
- оценка рисков по проекту: риск нарушения сроков и невыполнения проекта, риск увеличения трудоемкости на этапах отладки и сопровождения проекта и пр.;

– принятие оперативных управленческих решений – на основе отслеживания определенных метрик проекта можно своевременно предупредить возникновение нежелательных ситуаций и устранить последствия непродуманных проектных решений [4].

Среди множества параметров в основе методов по оценке трудоемкости основными являются те, которые предоставляются непосредственными участниками реализации информационного проекта. Другими словами, сроки выполнения тех или иных работ в контексте создания программного обеспечения предполагаются, в основном, непосредственными программистами, аналитиками, инженерами по тестированию и пр., а далее сводные данные используются менеджером проекта как входящая информация для того или иного метода прогнозирования трудоемкости и времени реализации программного проекта. Наиболее критичными являются показатели оценки времени при выполнении краткосрочных программных проектов, таких как внедрение новых телекоммуникационных сервисов операторами услуг. Таким образом, стоит задача выявления необходимых проекту знаний среди сотрудников и важных коммуникаций в коллективе для анализа их влияния на сроки выполнения проекта.

Анализ литературы. В рамках любой организации, а особенно в сфере информационных технологий, знания, навыки и производственный опыт конкретных людей характеризуются таким понятием как интеллектуальный капитал. Данной теории посвящено множество трудов как отечественных, так и зарубежных авторов [5 – 7].

Понятие "управление знаниями" (Knowledge Management, KM) родилось в середине 90-х годов в крупных корпорациях, где проблемы обработки информации приобрели особую остроту, став критическими. Причем управленческие проблемы возникали как из-за отсутствия, так и из-за избытка информации. Необходимо было выявить и сосредоточиться на самом ценном, той информации, которая обеспечивает успех компании. Существуют десятки определений знания, но в системах KM знания – это фундаментальный ресурс, базирующийся на практическом опыте специалистов и на данных, существующих на конкретном предприятии.

Управление знаниями – общее название для методик, организующих процесс коммуникаций (целевого общения) в корпоративных сообществах, направляя его на извлечение новых и обновление существующих знаний и помогающих сотрудникам компании вовремя решать задачи, принимать решения и предпринимать необходимые действия, получая нужные знания в нужное время. Применение методик управления знаниями делает возможным использование коллективного опыта и знаний и превращение их в корпоративный капитал [8, 9]. Фактически "Управление знаниями" можно рассматривать и как новое направление в менеджменте, и как направление в информатике для поддержки процессов создания, распространения, обработки и использования знаний внутри предприятия [10].

Цель статьи – рассмотреть предпосылки для создания систем управления знаниями на предприятии и подходы к построению моделей управления знаниями. Предложить новые подходы для описания неформальных коммуникаций в коллективе.

Система управления знаниями. Выделяют систему управления знаниями, которая решает вопросы создания на предприятии единого информационного пространства, организации групповой работы сотрудников для приобретения, представления и обмена знаниями, предоставления доступа к единой корпоративной базе знаний и создает условия для эффективного использования знаний сотрудников в общих интересах.

Система управления знаниями – организация управленческих действий на базе всех информационных ресурсов организации. Тем не менее, для использования этих ресурсов требуется набор специализированных продуктов и платформ. Система управления знаниями (СУЗ) – совокупность взаимодействующих и взаимозависимых элементов, относящихся к управлению знаниями (процессов, баз данных, программного обеспечения, организационных структур и др.), обеспечивающая достижение поставленных целей [11].

С одной стороны, организация менеджмента знаний в организации связана с:

- поиском, извлечением и/или генерацией знаний;
- формализацией знаний и организацией их хранения (накопления);
- предоставлением пользователям и использованием знаний.

На рис. представлены основные этапы создания СУЗ.

Приведем основные подходы к построению модели управления знаниями.

Онтологический подход. В СУЗ знаниями называют все виды информации (они включают руководства, письма, новости, информацию о заказчиках, сведения о конкурентах и технологии, накопившиеся в процессе разработки), в то время как традиционно под знаниями понимаются закономерности предметной области, позволяющие специалистам решать свои задачи. Они получены в результате практического опыта или подчерпнуты из литературы. Фактически системы, позиционирующие себя как СУЗ – системы управления знаниями – реализуют лишь отдельные элементы вышперечисленного списка. Все они работают либо с неструктурированной информацией в форме документов, либо с данными. Онтология – это точная спецификация некоторой области, которая включает в себя словарь терминов предметной области и множество связей (типа "элемент-класс", "часть-целое"), которые описывают, как эти термины соотносятся между собой [12, 13].

Системный подход. Данный подход затрагивает разные отрасли знаний при организации управления знаниями, т.е. использование логических, математических, машинных и организационных моделей [9].

Структурный подход. Сущность структурного подхода к построению модели системы заключается в ее декомпозиции (разбиении) на автоматизируемые функции: система разбивается на функциональные подсистемы, которые, в свою очередь, делятся на подфункции, подразделяемые на задачи и так далее [14].



Рис. Основные этапы реализации системы управления знаниями

Проблематика знаний в организации. Группа ученых из нескольких американских университетов и Института управления знаниями IBM [15], изучая проблему создания знаний и обмена ими в организациях, выяснила, что взаимоотношения с другими людьми – ключевой компонент информационной среды каждого человека. По данным исследования, в инженерных и научных коллективах и компаниях со значительной долей интеллектуального труда специалисты обращаются к коллегам при поиске нужной информации во много раз чаще, чем к "обезличенным" источникам наподобие корпоративных хранилищ или Web. Это не отменяет необходимости в технологических платформах или принятых в организации формальных процедурах накопления, отбора и архивирования знаний. Однако в системе приоритетов

управления знаниями необходимо выделить достойное место поддержке неформальных отношений сотрудников в рамках организации и подразделений. А к технологическим источникам информации специалисты обращаются, как правило, не получив удовлетворительного ответа у коллег или, напротив, воспользовавшись их непосредственным указанием на данные в компьютерном архиве.

Одним из таких направлений является внедрение на предприятиях систем управления содержимым (Content Management System, CMS) – вид компьютерных программ, упрощающих и систематизирующих хранение, публикацию и модификацию информации (как правило, документов) внутри организации или на веб-сайте. Конкретной организацией системы CMS является Вики (Wiki) – концепция, технология взаимодействия пользователя с веб-сайтом, предназначенная для коллективной разработки, хранения, структуризации информации, изобретенная Уордом Каннингемом и Ларри Сэнгером [16].

С другой стороны, управление знаниями является так называемым оксюморон, так как никто не может реально управлять активом, находящемся в головах сотрудников, и передающемся, главным образом, через общение. Однако можно сделать следующее: управлять средой, в которой знание можно создавать, открывать, фиксировать, обменивать, извлекать, подтверждать, передавать, принимать, адаптировать и применять.

В книге "Learning to Fly" авторами К. Коллиженом и Г. Парцеллом был опубликован метод управления знаниями COOLISON & PARCELL [17]. Основными стадиями в данном процессе управления являются:

- Перед людьми и группами ставится совокупность целей. После этого они используют знания для того, чтобы поставить результаты согласно целевым показателям, в конечном итоге создавая ценность.

- Фокус на "Использовании знаниями" ("Using Knowledge circle"). Простые учебные процессы, такие как оказание содействие коллеге, ретроспективы (обзоры проекта по завершению) и последующие обзоры действий делают здесь свой вклад и помогают выработать новые знания – знания, которое остались бы в головах данных людей.

- Вся эта деятельность, направленная на обучение, должна быть связана с чем-то вроде "банка знаний" (knowledge bank).

- Это тот этап, на котором способность фиксировать и извлекать знания становится важным. Но это еще не все. Невозможно зафиксировать всю информацию, поэтому важно *соединить людей и сети*, которые обладают ключевыми знаниями и идеями, и побуждать их к удержанию и обновлению полученных знаний.

Среда или культура в рамках организации окружает модель, которая важна для того, чтобы начать и обеспечить процесс обмена знаниями. Это будет отражено в соответствующих моделях поведения руководства и способах интегрирования Knowledge Management (Управление знаниями) в

центральные процессы, в конечном итоге, переходящие в "бессознательную компетенцию".

В описанной концепции управления знаниями до последнего времени ключевым являлось, прежде всего, применение разных методов и технологий для создания инфраструктуры накопления и использования информации, представляющей ценность для достижения целей рабочих групп и организаций. Само появление этой дисциплины во многом связано с осознанием роли носителей интеллектуального багажа в обеспечение эффективности работы организации – в противовес увлечению обезличенными проектами тотального реинжиниринга бизнес-процессов. Однако управление знаниями распространялось преимущественно на информационные архивы, документы, базы данных проектов, групп специалистов и решало задачу доступа определенных людей к нужной информации:

Хранилища данных (Data Warehouse) [18].

Системы аналитической обработки данных в реальном времени (OLAP-системы) [19].

Системы поиска полезной информации в базах данных (Knowledge Discovery in Databases (KDD)) и Добыча данных (Data mining) [20].

Экспертные системы [21].

Порталы управления знаниями [22].

Социальные сети как инструмент описания коммуникаций сотрудников. Одним из этапов в жизненном цикле систем управления знаниями является формализация знаний. На этом этапе происходит представление структурированной информации в форматах машинной обработки, то есть на языках описания данных и знаний. Строится формализованное представление концепций предметной области на основе выбранного языка представления знаний (ЯПЗ). Традиционно на этом этапе используются:

- логические методы (исчисления предикатов 1-го порядка и др.);
- продукционные модели (с прямым и обратным выводом);
- семантические сети;
- фреймы;
- объектно-ориентированные языки, основанные на иерархии классов, объектов.

Формализация знаний – разработка базы знаний на языке представления знаний.

Весь процесс кодирования и помещение знаний в хранилище рассчитан на повторное использование этих знаний в будущем [23].

В формализованном представлении знаний не учитываются такие важные компоненты интеллектуального капитала организаций, как неявные знания и интеллектуальные связи, которые формируются в процессе человеческого общения – очного или с помощью электронных сред. Взаимосвязи в обществе являются предметом анализа в дисциплине социальных сетей.

Исходя из определения социальной сети – социальная структура (математически – граф), состоящая из группы узлов, которыми являются социальные объекты (люди или организации), и связей между ними (социальных взаимоотношений).

Введём некоторые определения. Социальную сеть можно определить как набор из g социальных акторов и r ненаправленных социальных отношений, показывающих как акторы взаимодействуют друг с другом. Обозначим множество акторов как $N = \{1, 2, \dots, g\}$, множество социальных отношений как $R = \{1, \dots, r\}$ и множество возможных взаимодействий акторов как $T = N \times N$. Тогда каждое социальное отношение может быть задано матрицей X размера $g \times g$ [24].

В рассматриваемом случае мы имеем r социальных отношений χ_1, \dots, χ_r . Обозначим соответствующие им матрицы связности как X_1, \dots, X_r . Можно рассматривать пересечение $\chi_m \cap \chi_n$ отношений χ_m и χ_n , задаваемое матрицей $X_m \cap X_n$:

$$(X_m \cap X_n)_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } (X_m)_{ij} = 1 \text{ и } (X_n)_{ij} = 1, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Композиция отношений $\chi_m \chi_n$ задается матрицей $X_m X_n$:

$$(X_m X_n)_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } (X_m)_{il} = 1 \text{ и } (X_n)_{lj} = 1 \text{ для некоторой вершины } l, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Определим направленный путь длины d из вершины i в вершину j как набор вершин $\{i = i_1, i_2, \dots, i_d = j\}$, такой что $x_{i_1 i_2} x_{i_2 i_3} \dots x_{i_{d-1} i_d} = 1$. Самый короткий путь из вершины i в вершину j будем называть дистанцией или расстоянием между этими вершинами и обозначим его длину как $d(x_i, x_j) = d_{ij}$. Величина расстояния не определена, если не существует пути между данными вершинами. Будем называть граф, в котором некоторые расстояния не определены, несвязным графом или графом, состоящим из нескольких компонентов [25].

Для каждого социального отношения рассматриваются большой набор статистик, который применяется для анализа социальных сетей. Такие характеристики, как индекс центральности, положения, принадлежности к некоторым подгруппам, эквивалентность акторов, направлены на изучение информационных потоков в группе разработчиков ПО, а значит и концентрацию необходимых проекту знаний [26].

Являясь направлением развития анализа социальных сетей, анализ информационных потоков организации направлен на определение способов обмена знаниями между совместно работающими людьми как части процессов управления знаниями. На выяснение, кто именно является в компании

источником знаний по определенным проблемам, с кем и по каким причинам сотрудники постоянно делятся информацией, к кому чаще всего обращаются за советом? [27].

Использование социальных сетей подразумевает выполнение основных этапов:

- непосредственное построение сети;
- разработка индикаторов, характеризующих структурные характеристики объекта исследования, и методов их расчета для построенных сетей;
- анализ полученных результатов.

Классическое построение социальные сети, основанное на построении социограмм и социоматриц обладает недостатком – жесткой двухполюсной формой выбора элемента группы. В нашем случае построение социальной сети коллектива, разрабатывающего определенные виды программного обеспечения, не дает альтернативного понимания задействованности сотрудника в конкретном проекте, в случае обращения к нему за некоторой помощью по профессиональным вопросам. Другими словами – сотрудник, занимающийся другим видом работ, косвенно участвует в другом проекте как носитель определенных знаний. Х. Ямашита предложил способ, при котором каждый выбор должен осуществляться с указанием дополнительной информации – степени уверенности в выборе [28]. Для альтернативного представления социометрических данных предлагается использовать теорию нечетких множеств Л.А. Заде, а для их анализа – математический аппарат нечетких бинарных либо нечетких n -арных отношений [29].

Для сбора первичной информации с целью изучения структуры взаимоотношений в малых социальных группах, которой является коллектив разработчиков ПО, применяются анкеты, содержащие один или несколько социометрических вопросов или критериев. Также в анкету заносятся степени уверенности выбора. Степень равная единице является самой высокой.

Полученные результаты представляются в виде матрицы $K = (K_{ij})$, $i, j = \overline{1, L}$; L – количество респондентов. Для преобразования матрицы K в нечеткую социометрическую матрицу необходимо использовать следующую процедуру:

- в каждой строчке матрицы K определяют максимальное значение;
- вычисляют среднее арифметическое полученных максимальных значений по строкам;
- округляют полученное значение до целого числа для вычисления величины

$$N = \left[\sum_1^L (\max_{j=1, L} K_{ij} / (L+1)) + 0.5 \right];$$

– переходят к новой N -бальной реверсной шкале, используя преобразование: $y = N - x + 1$, $y > 0$. Такое преобразование позволяет перейти от априори избыточной шкалы, измеряющей величину x , к среднестатистической реверсной N -бальной шкале;

– строят оценочную матрицу $R = (R_{ij})$, $R_{ij} = N - K_{ij} + 1$, $R_{ij} > 0$;

– формируют нечеткую социометрическую матрицу $F = (F_{ij})$, $F_{ij} = R_{ij}/N$, $1 \geq F_{ij} > 0$, $F_{ij} = 1$, если $i = j$;

На этом процесс построение социометрической матрицы завершается.

Данные опроса, представленные в виде нечеткой социоматрицы, предлагается дополнить индексом G_{ij} , учитывающим степень взаимности выборов, который рассчитывается по формуле: $2/G_{ij} = 1/F_{ij} + 1/F_{ji}$ или после преобразования:

$$G_{ij} = \frac{F_{ij} \times F_{ji}}{0.5(F_{ij} + F_{ji})}.$$

Результаты анализа социометрического индекса G_{ij} представлены и в работе [30].

Характеристика степени взаимности выбора G_{ij} выражается через треугольную норму $T(x,y)$ [31] и оператор усреднения $M(x,y)$: $G_{ij} = T(F_{ij}, F_{ji})/M(F_{ij}, F_{ji})$, если $M(F_{ij}, F_{ji}) \neq 0$ и $G_{ij} = 0$, если $M(F_{ij}, F_{ji}) = 0$.

В качестве треугольной нормы выбирается:

$$T(x, y) = \begin{cases} x, & \text{если } y = 1, \\ y, & \text{если } x = 1, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

В качестве оператора осреднения используется $M(x,y) = 0.5(x+y)$.

Исходя из свойств представленных математических выражений делаются следующие выводы:

– если оба значения F_{ij} , F_{ji} равны единице, то индекс Ямашиты G примет значение единицы. Что свидетельствует о наличии полного взаимного предпочтения между двумя рассматриваемыми членами группы;

– если оба значения F_{ij} , F_{ji} будут положительными и меньшими единицы, то индекс равен нулю. Во всех других случаях $0 < G_{ij} < 1$. Т.е. возможно выражение с помощью данного индекса жестких требований по какому-либо отношению (например, влиянию).

Также в такой ситуации выбора, кроме наличия взаимности выбора не равного нулю, среди двух членов группы, по крайней мере один является лидером, что говорит о наличии у данного члена группы определенных знаний в данной ситуации.

Рассчитанные степени взаимности выбора формируют нечеткую матрицу G_{ij} , на основе которой строится нечеткая дендрограмма P [32].

Нечеткая дендрограмма, позволяющая проводить углубленное изучение структуры взаимоотношений в малой социальной группе – коллективе разработчиков ПО, относится к средству изучения подструктур (лидеры, изолированные члены группы, ядро) и позволяет визуализировать характер образования подструктур в зависимости от проявления интенсивности степени взаимного выбора.

Выводы. Описанные способы выявления и дальнейшего анализа необходимых программному проекту коммуникаций и знаний коллектива разработчиков с помощью аппарата начального анализа социальных сетей является элементом реализации, предложенной в 2009 году концепции Social Networks Mining, направленной на извлечений полезных проекту знаний.

Список литературы: 1. *Ким Хелдман* Профессиональное управление проектами / *Хелдман Ким* // М.: "Бином", 2005. – С. 517. 2. *Лапыгин Ю.Н.* Управление проектами: от планирования до оценки эффективности / *Ю.Н. Лапыги*. – М.: Омега-Л, 2008. – С. 252. 3. *Колдовский В.* Разработка ПО: оценка результата / *В. Колдовский*. – ИТС.UA, 2006. 4. *Новичков А.* Метрики кода и их практическая реализация в Subversion и ClearCase / *А. Новичков, А. Шамрай, А. Черников* // CM Consulting. – 2008. – Режим доступа: <http://cmcons.com>. 5. *Бруклин Э.* Интеллектуальный капитал / *Э. Бруклин*. – СПб.: Питер, 2001. – 288 с. 6. *Conner K.R.* A Resource-based Theory of the Firm: Knowledge versus Opportunism / *K.R. Conner, C.K. Prahalad* // Organization Science. –1996. – Vol. 1. – № 5. 7. Blackwell Handbook of Organizational Learning and Knowledge Management. – L.: Blackwell Publishers, 2003. 8. *Гаврилова Т.А.* Управление знаниями: от слов к делу / *Т.А. Гаврилова* // Intelligent Enterprise. – 2004. – № 12. 9. *Мильнер Б.З.* Управление знаниями / *Б.З. Мильнер*. – М.: ИНФРА-М, 2003. 10. *Гаврилова Т.А.* Разработка корпоративных систем управление знаниями / *Т.А. Гаврилова, Л. Григорьев*. Режим доступа: http://big.spb.ru/publications/bigspb/km/create_kms.shtml. 11. *Петелин Д.* "Свалки данных" и системы управления знаниями / *Д. Петелин* // "PCWeek". – 2006. – № 19. 12. *Гаврилова Т.А.* Использование онтологий в системах управления знаниями / *Т.А. Гаврилова*. – Режим доступа: http://big.spb.ru/publications/bigspb/km/use_ontology_in_suz.shtml. 13. *Гаврилова Т.Г.* Логико-лингвистическое управление как введение в управление знаниями / *Т.Г. Гаврилова*. – Режим доступа: http://big.spb.ru/publications/bigspb/km/logyc_ling_upr.shtml. 14. *Вендров А.М.* CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем / *А.М. Вендров*. – Режим доступа: http://www.citforum.ru/database/case/glava2_1.shtml. 15. *Cross R.* Knowing what we know: supporting knowledge creating and sharing in social networks / *R. Cross, A. Parker, L. Prusak* // Organizational Dynamics. – 2001. – № 44. 16. *Jonathan Sidener.* Everyone's Encyclopedia / *Sidener Jonathan* // The San Diego Union Tribune. – 2004. 17. *Chris Collison, Geoff Parcell* Learning to Fly: Practical Knowledge Management from Leading and Learning Organizations / *Collison Chris, Parcell Geoff* – 2000, 2005. – 332 с. 18. *Лабоцкий В.В.* Управление знаниями: технологии, методы и средства представления, извлечения и измерения знаний / *В.В. Лабоцкий*. – Минск: БГЭУ, 2006. 19. *Щавелев Л.В.* Способы аналитической обработки данных для поддержки принятия решений / *Л.В. Щавелев* // Открытые системы. – 1998. – № 4 – 5. 20. *Альперович М.* Технологии хранения и обработки корпоративных данных (Data Warehousing, OLAP, Data Mining) / *М. Альперович* – Режим доступа: <http://www.sft.ru/reviews/DevCon97/DC2/DC2T12.htm>. 21. *Гаврилова Т.А.* Базы знаний интеллектуальных систем / *Т.А. Гаврилова*. – СПб.: Питер, 2000. 22. *Боровикова О.И.* Организация порталов знаний на основе онтологий / *О.И. Боровикова*. – Режим доступа: <http://www.iis.nsk.su/solver/borovikova.html>. 23. *Мариничева М.* Управление знаниями: этапы внедрения / *М. Мариничева* // Ведомости. – 2002. – № 157. 24. *Linton C. Freeman.* Visualizing Social Groups. *American Statistical Association* / *C. Freeman Linton* // 1999 *Proceedings of the Section on Statistical Graphics*, 2000. – P. 47–54 25. *Гамаюн И.П.* Проблема подготовки специалистов для IT-компаний и подходы её решения на основе анализа социальных сетей / *И.П. Гамаюн, А.В. Иванченко* // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний

інститут". Тематичний випуск: Системний аналіз, керування й інформаційні технології. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2008. – № 14. **26.** Чураков А.Н. Анализ социальных сетей / А.Н. Чураков // Социологические исследования. – 2001. – № 1. – С. 109–121. **27.** Дубова Н. Социальная сеть знаний / Н. Дубова // Открытые системы. – 2005. – № 12. **28.** Yanai I. Fuzzy Sociogram analysis applying shapely value / Yanai I., Yanai A., Tsuda E., Okuda Y., Yamashita H., Inaida J. // Biomedical Fuzzy and Human Sciences, 1996. – Vol. 2.1. – P. 63–68. **29.** Shimizu S. Approximate graphical analysis of fuzzy sociogram / S. Shimizu, H. Yamashita // Biomedical Fuzzy and Human Sciences. – 1995. – Vol. 1.1. – P. 43–48. **30.** Shimizu S. Approximate graphical analysis of fuzzy sociogram / S. Shimizu, H. Yamashita // Biomedical Fuzzy and Human Sciences. – 1995. – Vol. 1.1. – P. 43–48. **31.** Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С.А. Орловский. – М: Наука, 1981. **32.** Treadwell W. Fuzzy set theory movement in the social sciences / W. Treadwell // Public Administration Review. – Washington. – 1995. – Vol. 55.1. – P. 35–42.

УДК 004.942

Проблема виявлення корисних знань при реалізації програмних проєктів / Гамаюн І.П., Іванченко О.В. // Вісник НТУ "ХПИ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2009. – № 43. – С. 42 – 52.

Розглянуті передумови для створення систем управління знаннями на підприємстві. Визначені проблеми організації знань в робочому колективі. Запропоновано використання підходу соціальних мереж для опису неформальних комунікацій в колективі. Показано як теорія нечітких множин розширює підходи до аналізу соціометричних індексів. Іл.: 1. Бібліогр.: 32.

Ключові слова: управління знаннями, організація знань, соціальні мережі, комунікації, теорія нечітких множин, аналіз соціометричних індексів.

UDC 004.942

The problem of useful knowledge exposure during software project realization / Gamaun I, Ivanchenko O // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 43. – P. 42 – 52.

The pre-conditions are exposed for the knowledge management creation in an enterprise. The review of the topic literature is done. The approaches of management knowledge model are presented. Also the main issues of knowledge organization in a working collective were found. The approach of social networks is offered for informal communications in a collective description. It is shown as fuzzy theory helps on sociometric indexes analysis. Figs.: 1. Refs.: 32.

Key words: knowledge management, knowledge organization, social networks, communications, fuzzy theory, social indexes analysis

Поступила в редакцію 09.10.2009

В.Д. ДМИТРИЕНКО, д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
О.А. ПОВОРОЗНЮК, аспирант НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

БИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕБНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В ДЕРМАТОЛОГИИ

Разработана структура биотехнической системы, которая обеспечивает поддержку принятия решений на этапах диагностики и формирования медикаментозных лечебных мероприятий в дерматологии. Разработан метод формирования терапевтических комплексов (набора лекарственных препаратов) на основе искусственной нейронной сети с многокритериальной оценкой препаратов-аналогов. Выполнена тестовая проверка системы. Ил.: 2. Библиогр.: 14 назв.

Ключевые слова: биотехническая система, терапевтический комплекс, лекарственный препарат, искусственная нейронная сеть, многокритериальная оценка.

Постановка проблемы и анализ литературы. Процесс реабилитации пациента состоит из двух взаимосвязанных этапов: диагностики заболевания и непосредственно лечения выявленной патологии. В качестве лечебных мероприятий для подавляющего множества патологий (в частности в дерматологии) применяется медикаментозное лечение [1]. Между указанными этапами нет четкой границы, потому что после постановки диагноза и назначения лечебных процедур необходим мониторинг процесса реабилитации, то есть диагностика текущего состояния пациента с целью оценки эффективности процесса лечения и, при необходимости, его коррекции. На каждом из отмеченных этапов врач, как лицо принимающее решение (ЛПР), вырабатывает управленческое решение в условиях дефицита исходных данных и существенной априорной неопределенности, основываясь на своей квалификации, опыте и интуиции. При этом принятие неправильного решения как на этапе постановки диагноза, так и на этапе лечения может иметь катастрофические последствия для здоровья пациента. Поэтому создание биотехнической системы поддержки принятия решений на основе современных информационных технологий является актуальной задачей.

В настоящее время существуют медицинские информационные системы, которые обеспечивают информационную поддержку врача на основных этапах реабилитации пациентов:

Диагностика заболевания. На данном этапе имеется широкий спектр компьютерных систем в разных прикладных областях медицины [2, 3], начиная от информационно-поисковых систем до интеллектуальных компьютерных систем поддержки принятия решений в медицине с использованием медицинских баз знаний и применением интеллектуальных технологий синтеза компьютерного диагноза [3 – 6]: детерминистических, основанных на формировании структур симптомокомплексов; вероятностных, основанных на подсчете условных вероятностей; методов распознавания

образов; методов, основанных на нечеткой логике, искусственных нейронных сетях и т.п.

Лечебные мероприятия. Информатизация данного этапа значительно слабее предыдущего, и ограничивается медицинскими справочниками фармацевта, в том числе, в виде информационно-поисковых систем [7], которые представляют врачу структурированный список (классы, подклассы и т.д.) лекарственных препаратов и текстовое описание свойств препаратов (аналог вкладыша к препарату), в котором содержится неформализованная информация о фармакологических действиях, нормах приема, показаниях и противопоказаниях, побочных действиях и т.д. Следует отметить, что для лечения различных типов заболеваний используется более 7 тысяч лекарственных препаратов в 15 тысячах лекарственных формах, производимых в 76 странах мира [7]. Таким образом, при одинаковых диагнозах у разных пациентов, врачи потенциально имеют широкий спектр выбора лекарственных препаратов-аналогов для назначения процесса лечения. Назначение терапевтического комплекса лекарственных препаратов конкретному пациенту выполняется врачом на интуитивном уровне и, во многом, определяется его квалификацией.

Поэтому комплексное решение задачи диагностики и оптимального формирования терапевтических комплексов при многокритериальной оценке лекарственных препаратов-аналогов является перспективным при построении биотехнической системы.

Цель статьи – синтез структуры биотехнической системы, которая обеспечивает поддержку принятия решений на этапах диагностики и многокритериального назначения лекарственных препаратов в дерматологии и определение функций ее модулей.

Формализация задачи информационной поддержки процесса реабилитации пациента. В соответствии с выделенными ранее этапами реабилитации i -го пациента, информационная поддержка состоит в реализации следующих преобразований:

$$F1: X_i \rightarrow D_i, F2: D_i \rightarrow D_i^v, F3: D_i^v \rightarrow Y_i, F4: Y_i \rightarrow Y_i^v. \quad (1)$$

В результате преобразования $F1$ на основании анализа вектора входных диагностических признаков X_i определяется развернутый диагноз i -го пациента D_i , который включает в себя основное заболевание, его нозологическую форму, стадию, дополнительные заболевания [8]. Данная задача является задачей классификации объектов на известное число классов, однако большинство методов решения рассматриваемой задачи определяют принадлежность объекта только к одному классу, поэтому для определения развернутого диагноза D_i , который может включать несколько заболеваний

(основное и дополнительные), необходима адаптация методов классификации.

Так как любое решение, полученное компьютерной системой, требует верификации ЛПР, то преобразования $F2$ и $F4$ отражают процесс верификации, при котором ЛПР либо подтверждает решение системы, либо корректирует его (выбирает другое решение из предлагаемого списка или предлагает новое решение).

Преобразование $F3$ решает задачу подбора лекарственных препаратов (формирование терапевтического комплекса) с учетом установленного диагноза D_i^v и индивидуальных особенностей i -го пациента. В формализованном виде указанная задача является задачей формирования множества лекарственных препаратов $Y_i = \{y_1, \mathbf{K}, y_{n_i}\}$, которые обеспечивают процесс выздоровления i -го пациента (переход из состояния D_i^v в состояние D_0 – практически здоров), при этом необходимо оптимизировать некий интегральный критерий качества Q процесса реабилитации (процесса лечения)

$$Q = \min(t, C, \alpha, \beta), \quad (2)$$

где t – время процесса реабилитации; C – стоимость процесса реабилитации; α, β – риски негативных последствий применения лекарственных препаратов во время процесса лечения и в послереабилитационный период.

Исходными данными преобразования $F3$ является развернутый диагноз пациента D_i^v его индивидуальные характеристики A_i : возраст, пол, анамнез – по которому определяется риск сенсабилизации к отдельным препаратам, социальный статус и т.д. На основании исходных данных формируется необходимое множество терапевтических воздействий $F_{Di} = \{f_1, \mathbf{K}, f_{g_i}\}$, которые направлены как на подавление причин заболевания (антивирусные, антибактериальные и др. действия), так и на подавления симптомов (жаропонижающие, нормализация давления, ритма и т.д.). В общем случае, любое лекарственное воздействие обеспечивает более комфортные условия иммунной системе организма для возвращения в состояние D_0 и снижения риска осложнений.

Кроме того, каждый лекарственный препарат характеризуется вектором свойств: терапевтическим действием, эффективностью, ценой, брендом производителя, направленностью действия, использованием натуральных ингредиентов, временем выведения из организма и т.д. Терапевтическое действие обеспечивается одним или несколькими активными веществами (в данном случае имеем препараты комплексного воздействия), причем на основе одного активного вещества может производиться целый класс препаратов. Таким образом, каждый лекарственный препарат y_i характеризуется вектором

терапевтических действий $F_{y_i} = \{f_1, \mathbf{K}, f_{m_i}\}$ и вектором характеристик $S_{y_i} = \{s_1, \mathbf{K}, s_r\}$, каждая компонента которого используется в качестве локального критерия при многокритериальном сравнении препаратов-аналогов. При этом отдельные препараты y_k и y_l могут взаимодействовать между собой [9], и это взаимодействие характеризуется показателем V_{kl} , значение которого можно задать в интервале $[-1, 1]$. При $V_{kl} = 0$ – препараты y_k и y_l не взаимодействуют, при $V_{kl} > 0$ – препараты y_k и y_l усиливают действия друг друга, при $V_{kl} < 0$ – препараты y_k и y_l ослабляют действия друг друга, а в предельном случае $V_{kl} = -1$ – их совместное применение недопустимо. Кроме того, у каждого пациента может наблюдаться непереносимость к отдельным препаратам. При подборе лекарственных средств необходимо сформировать подмножество препаратов $Y_i = \{y_1, \mathbf{K}, y_{n_i}\}$, при выполнении условия $V_{kl} \geq 0, k, l = \overline{1, N}$, где N – общее число доступных препаратов, совместное терапевтическое действие которых $F_{y_1} \cup \dots \cup F_{y_i} \cup \dots \cup F_{y_{n_i}}$ покрывает множество необходимых терапевтических действий для пациента F_{D_i} . Вариантов такого покрытия может быть много, но надо обеспечить такое покрытие, которое минимизирует критерий качества Q , как показано на рис. 1.

На рис. 1 показан пример, когда имеется множество диагнозов $D = \{D_1, \mathbf{K}, D_n\}$ в данной предметной области и пациенту установлен диагноз D_1 . На основании множества D формируется множество $F_D = \{f_1, \mathbf{K}, f_g\}$, причем элементы отдельных подмножеств F_{D_i} , которые соответствуют диагнозам D_i могут перекрываться (см. рис.1). Множество применяемых препаратов в заданной области медицины $Y_0 = \{y_1, \mathbf{K}, y_n\}$, в которое включаются все препараты y_k , для которых $F_{y_k} \in F_D$, представлено в виде бинарной матрицы покрытия $B = \{b_{ij}\}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, g}$ множеством препаратов Y_0 множества терапевтических действий F_D , где строки задаются препаратами. Единичные элементы k -й строки (на рис. 1 отмечены штриховкой) соответствуют терапевтическим действиям F_{y_k} препарата y_k . Любой l -й столбец матрицы B своими единичными элементами определяет группу θ_l препаратов-аналогов для терапевтического действия f_l . Препараты комплексного действия (например, y_1) входят в несколько групп препаратов-аналогов. Необходимым условием покрытия является отсутствие нулевых столбцов матрицы B , соответствующих установленному диагнозу.

В каждой группе θ_l выполняется многокритериальное сравнение препаратов-аналогов на основе анализа соответствующих векторов характеристик S_{y_i} , и каждому препарату y_k устанавливается глобальный приоритет q_k (см. рис.1).

Терапевтический комплекс $Y_i = \{y_1, y_4, y_n\}$

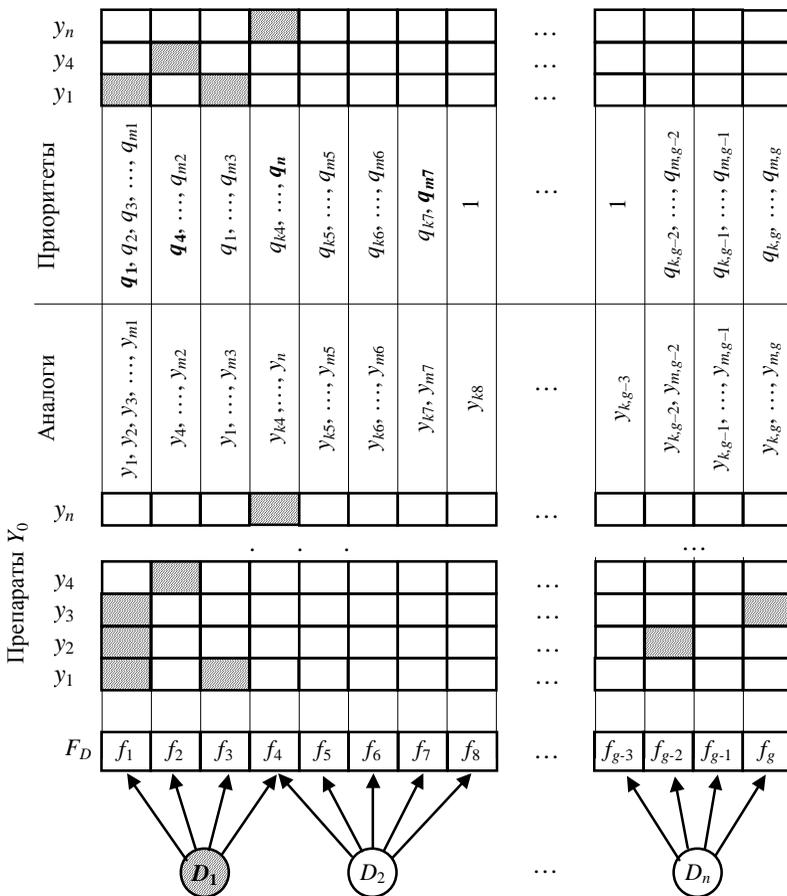


Рис. 1. Схема формирования терапевтического комплекса

Процесс формирования терапевтического комплекса (множества лекарственных препаратов $Y_i = \{y_1, \mathbf{K}, y_{n_i}\}$) для пациента с развернутым диагнозом D_i состоит в формировании подматрицы B_i , столбцы которой

соответствуют единичным элементам F_{D_i} , а каждая k -я строка содержит только один элемент группы θ_l , который имеет максимальный приоритет q_k . При отсутствии препаратов комплексного действия (каждая строка матрицы B содержит только одну единицу), формирование B_l , можно выполнять отдельно по каждому l -му столбцу, выбирая из каждой группы θ_l , препарат y_k с максимальным приоритетом q_k . При наличии препаратов комплексного действия, которым соответствуют строки матрицы B с несколькими единицами, возникает неоднозначность при формировании B_l , так как препарат комплексного действия y_k входит в несколько групп и может иметь максимальный приоритет q_k только в одной группе (на рис. 1 препарат y_1 входит в группы θ_1 и θ_3 , а максимум q_1 достигается только в θ_1). Поэтому в данном случае необходимо использовать более сложные способы формирования B_l , которые рассматриваются ниже.

Синтез структуры биотехнической системы. На основании рассмотренных ранее этапов информационной поддержки и их формализации, на рис. 2 представлена структура биотехнической системы.

Основными интеллектуальными модулями системы являются модули принятия решений: МПР1, который реализует преобразование $F1$, и МПР2, который реализует преобразование $F3$. Учитывая то, что преобразования $F1$ и $F3$ необходимо выполнять комплексно в рамках одной системы, для их реализации предлагается аппарат искусственных нейронных сетей (ИНС) [10], в частности дискретной ИНС адаптивной резонансной теории – ART-1 [11].

Рассмотрим особенности применения ИНС на каждом этапе.

Как отмечалось ранее, преобразование $F1$ выполняет задачу классификации, причем развернутый диагноз i -го пациента D_i может включать несколько заболеваний, то есть классифицируемый объект принадлежит одновременно нескольким классам. Однако модули классической ИНС ART-1 работают с бинарным входным вектором и не обеспечивают получение нескольких решений. Бинарный входной вектор при разнородной системе диагностических признаков может быть получен путем разбиения динамического диапазона числовых признаков на непересекающиеся интервалы, каждый из которых является бинарным признаком. Для получения нескольких решений используется модифицированная ИНС ART-1s [12], у которой к базовой архитектуре ART-1 добавлен слой регистрирующих нейронов, входы которого связаны с выходами слоя распознающих нейронов, каждый из которых хранит в весах связей бинарный прототип класса.

Для реализации преобразования $F3$, в [13] предложена архитектура модифицированной ИНС ART-1s, у которой веса связей между одноименными элементами распознающего и регистрирующего слоя соответствуют глобальным приоритетам q_k , полученным методом анализа иерархий МАИ. В

[13] рассмотрен алгоритм обучения ИНС, а в [14] алгоритм формирования терапевтического комплекса. Так как процесс верификации управленческих решений на этапах $F2$ и $F4$ может корректировать решения системы, то в модулях МПР1 и МПР2 предусматривается режим учета статистики управленческих решений и коррекции весов ИНС. Возможные алгоритмы коррекции приведены в [13].

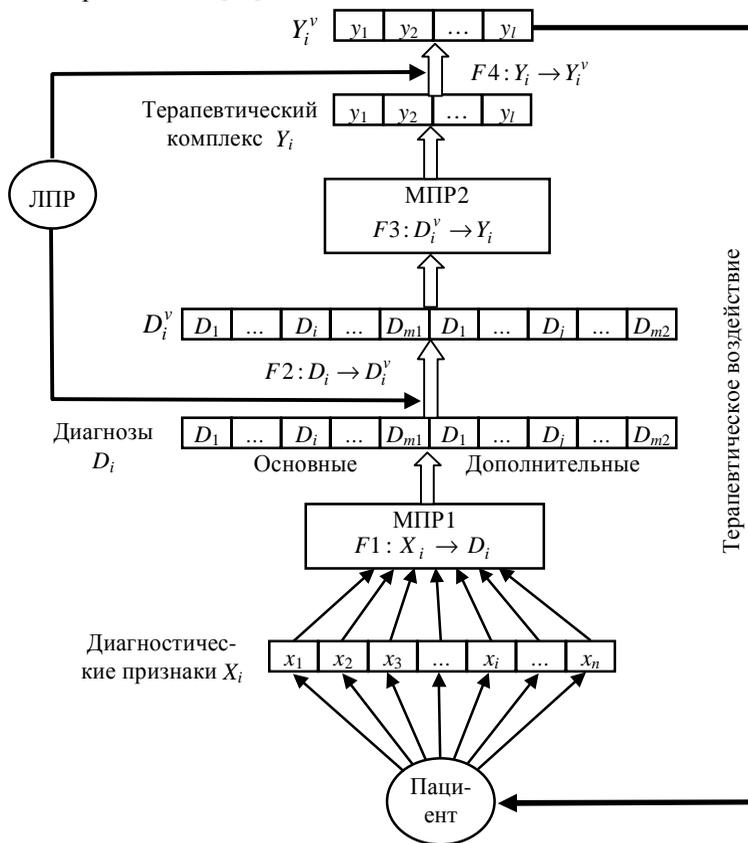


Рис. 2. Структура биотехнической системы

Для реализации системы поддержки принятия решения в дерматологии, была использованная медицинская БД, которая включает 194 пациента. Диагностика велась по 3 основным диагнозам (псориаз, экзема, лекарственная болезнь), при этом 117 пациентов имели сопутствующие заболевания. Указанные диагнозы (основные и сопутствующие) соответствуют 41 терапевтическому действию [1]. Для реализации указанных терапевтических действий в БД лекарственных средств, согласно [7] внесено 340

лекарственных препаратов. Сформирована БЗ экспертных оценок и параметров ИНС, а также реализован рассмотренный выше алгоритм формирования терапевтических комплексов.

Выводы. Формализована задачи информационной поддержки процесса реабилитации пациента. Разработана структура биотехнической системы, которая обеспечивает поддержку принятия решений на этапах диагностики и многокритериального назначения лекарственных препаратов в дерматологии, и определены функции ее модулей. Выполнена тестовая проверка системы на реальной медицинской базе данных.

Список литературы: 1. Рациональна діагностика та лікування в дерматології та венерології / За ред. *І.І. Маєрова* // "Довідник лікаря Дерматолог – Венеролог". – К.: ТОВ "Доктор-Медіа", 2007. – 344 с. (Серія "Бібліотека "Здоров'я України"). 2. Об инфраструктуре информационной поддержки клинической медицины / *В.А. Лищук, А.В. Гаврилов, Г.В. Шевченко и др.* // Медицинская техника. – 2003. – № 4. – С. 36 – 42. 3. Дюк *В.А.* Компьютерная психодиагностика / *В.А. Дюк.* – Санкт-Петербург: Братство, 1994.– 364 с. 4. *Тимофієва Н.К.* Моделювання цільової функції в задачі клінічної діагностики на основі теорії комбінаторної оптимізації / *Н.К. Тимофієва* // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту. Матеріали міжнародної наукової конференції. Єваторія 18-22 травня 2009 р. Том 1. – Херсон: ХНТУ, 2009. – С. 219 – 223. 5. *Джарратано Д.* Экспертные системы: принципы разработки и программирование, 4-е издание: Пер. с англ. / *Джозеф Джарратано, Гарри Райли.* – М.: ООО "И. Д. Вильямс", 2007. – 1152 с. 6. *Поповская Т.Н.* Информационные технологии диагностики – медицинские экспертные системы / *Т.Н. Поповская, Л.Г. Раскин, О.В. Серая* // Клиническая информатика и телемедицина. – 2004. – № 1. – С. 81 – 85. 7. Компендиум 2007 – лекарственные препараты / Под ред. *В.Н. Коваленко, А.П. Викторова* [Електронний ресурс] <http://www.compendium.com.ua>. 8. *Весенко А.И.* Топология структуры розвернутого клинического диагноза в современных медицинских информационных системах и технологиях / *А.И. Весенко, А.А. Попов, М.И. Проненко* // Кибернетика и системный анализ. – 2002. – № 6. – С. 143 – 154. 9. *Жук В.А.* Базовая концепция построения экспертной информационной системы анализа взаимодействия лекарственных препаратов / *В.А. Жук, Ю.М. Пенкин* // 3-й Международный радиоэлектронный форум "Прикладная радиоэлектроника. Состояния и перспективы развития" МРФ-2008. Сборник научных трудов. Том IV. Конференция "Актуальные проблемы биомедицинской инженерии". – Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ, 22-24 октября 2008. – С. 246 – 250. 10. *Хайкин С.* Нейронные сети: Полный курс / *С. Хайкин* – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с. 11. *Grossberg S.* Competitive learning: from interactive activation to adaptive resonance / *S. Grossberg* // Cognitive Science. – 1987. – Vol. 11. – P. 23 – 63. 12. *Дмитриенко В.Д.* Вычислительная сеть для решения задач распознавания с несколькими решениями / *В.Д. Дмитриенко, И.П. Хавина* // Вестник НТУ "ХПИ". – 2007.– № 19. – С. 58 – 63. 13. *Дмитриенко В.Д.* Дискретная нейронная сеть адаптивной резонансной теории для решения задач подбора лекарственных препаратов / *В.Д. Дмитриенко, О.А. Поворознюк* // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2009. – № 13. – С. 61 – 68. 14. *Дмитриенко В.Д.* Применение нейронных сетей в задаче оптимального подбора лекарственных препаратов / *В.Д. Дмитриенко, О.А. Поворознюк* // Вестник НТУ "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2008. – № 49. – С. 56 – 63.

УДК 681.513:620.1

Біотехнічна система діагностики і лікувальних заходів в дерматології / *Дмитрієнко В.Д., Поворознюк О.А.* // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 43. – С. 53 – 61.

Розроблено структуру біотехнічної системи, яка забезпечує підтримку прийняття рішень на етапах діагностики і формування медикаментозних лікувальних заходів у дерматології. Розроблено метод формування терапевтичних комплексів (набору лікарських препаратів) на

основі штучної нейронної мережі з багатокритеріальною оцінкою препаратів-аналогів. Виконано тестову перевірку системи. Лл.: 2. Бібліогр.: 14 назв.

Ключові слова: біотехнічна система, терапевтичний комплекс, лікарський препарат, штучна нейронна мережа, багатокритеріальна оцінка.

UDC 681.513:620.1

Biotechnical system of the diagnostics and medical action in dermatologies / Dmitrienko V.D., Povoroznyuk O.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 43. – P. 53 – 61.

The designed structure biotechnical systems, which provides support a decision making on stage of the diagnostics and shaping medical action in dermatologies. The designed method of the shaping therapeutic complex (the set medicinal preparation) on base artificial neural network with multicriterial estimation by preparation-analogue. Test checking the system is executed. Figs: 2. Refs: 14 titles.

Key words: biotechnical system, therapeutic complex, medicinal preparation, artificial neural network, multicriterial estimation.

Поступила в редакцію 19.10.2009

А.І. ДОЛОТОВ, аспірант каф. штучного інтелекту, ХНУРЕ (м. Харків)

ГІБРИДНА СИСТЕМА ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ІНТЕЛЕКТУ, ЩО САМОНАВЧАЄТЬСЯ, НА ОСНОВІ СПАЙК-НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Розглянуто гібридні системи обчислювального інтелекту, що самонавчаються, на основі спайк-нейронної мережі. Запропоновано узагальнену архітектуру такої системи, що дозволяє виконувати ієрархічну нечітку кластеризацію даних. На основі узагальненого Геббового правила самонавчання запропоновано алгоритм навчання гібридної системи. Синтезовану гібридну систему викладено у термінах Лапласового перетворення. Іл.: 1. Бібліогр. 26 назв.

Ключові слова: гібридна система обчислювального інтелекту, що самонавчається, спайк-нейронна мережа, Геббове правило самонавчання, Лапласове перетворення.

Постановка проблеми. Кластеризація даних, чи в більш ширшому розумінні задача самонавчання, посідає одне з найважливіших місць серед проблем штучного інтелекту [1]. З теоретичної точки зору, парадигма штучного інтелекту намагається досягти у вживаних методах та засобах вирішення цієї задачі якомога більшої реалістичності, схожості з біологічними системами [2]. З практичної ж точки зору, сьогодення вимагає від технічних систем, а надто інтелектуальних, швидкісного вирішення поставлених задач (як правило, у реальному часі). Крім того, доволі часто трапляються випадки, коли самонавчання має відбуватися за умов апріорної та поточної невизначеності. Таким чином, до інтелектуальних систем, що здатні ефективно вирішувати сьогочасні задачі самонавчання, можна висунути три основні вимоги, а саме: реалістичність, швидкодія та стійкість до невизначеності.

Класичні методи обчислювального інтелекту, що вирішують задачу самонавчання, – штучні нейронні мережі (Когоненові мапи, що самонавчаються, АРТ-нейронні мережі, нейромоделі "Brain-State-in-a-Box" тощо) [3] та методи кластеризації на основі нечіткої логіки (алгоритм нечітких С-середніх, алгоритми Густафсона-Кесселя, Ягера-Філева, Клявонна-Геппнера тощо) [4, 5] – не відповідають чи то одній, чи то кільком сформульованим вище вимогам.

Беручи до уваги новітні відкриття в нейрофізіології [6], штучні нейронні мережі виявляються занадто "штучними", такими, що досить умовно схожі на нейросистему живих істот. Наявність невизначеності доволі негативно впливає на здатність штучних нейронних мереж ефективно обробляти дані. До того ж, самонавчання штучних нейронних мереж досить повільне.

Алгоритми нечіткої кластеризації незважаючи на математичну строгість деяких з них далекі від тих, що використовують живі істоти у своєму навчанні. Та й швидкість навчання таких алгоритмів не дозволяє використовувати їх для розв'язання задач у реальному часі.

Нове, третє покоління штучних нейронних мереж, відоме як спайк-нейронні мережі [7], запропонувало науковцям та дослідникам найбільш реалістичні штучні нейронні мережі з усіх відомих [6]. Окрім своєї

реалістичності, спайк-нейронні мережі в апаратній реалізації виявилися вельми швидкодіючими, що дозволило використовувати їх у системах реального часу [8]. Таким чином, спайк-нейронні мережі задовольняють двом із трьох згаданих вище критеріїв. Але, як і всі інші штучні нейронні мережі, спайк-нейронні мережі не мають стійкості до невизначеності, що значно звужує їх практичний ужиток. З огляду на це, постає проблема побудови сучасних систем самонавчання на основі спайк-нейронних мереж, які здатні вирішувати задачі обробки даних за умов невизначеності.

В обчислювальному інтелекті доволі поширений підхід побудови гібридних систем, які, виявляючи синергетичні властивості, можуть поєднувати в собі можливості кількох різноманітних методів обробки інформації [9]. Ідучи за прикладом класичних нейро-фаззі-систем [10], наведену вище проблему можна сформулювати як проблему побудови гібридних систем, що самонавчаються, на основі спайк-нейронної мережі. Тут є сенс зазначити, що вирішення цієї проблеми започаткує нове покоління гібридних систем обчислювального інтелекту – фаззі-спайк-нейронні мережі.

Побіжною проблемою до побудови гібридних систем на основі спайк-нейронної мережі є розробка загальної архітектури спайк-нейронної мережі в термінах апарату технічних наук, аби мати змогу складати апаратні реалізації запропонованих гібридних систем.

Аналіз літератури. Уперше принцип функціонування спайк-нейронної мережі, що самонавчається, був уведений Дж. Гопфілдом у [11]. На основі запропонованих ідей було побудовано першу архітектуру спайк-нейронної мережі, що самонавчається, яка була здатна вдало кластеризувати дані в тих випадках, коли кількість класів не перевищувала розмірність вхідного простору [12]. У цій же роботі міститься перша здогадка використовувати час збудження спайк-нейронів для визначення ступенів належності поданого на вхід образу до кількох класів. Обмеження на кількість класів, що можуть бути виявлені, було знято в архітектурі спайк-нейронної мережі, яка використовує популяційне кодування вхідних даних [13].

У [14, 15] уперше було запропоновано використовувати центри спайк-нейронів у нечіткому виведенні, що є першою відомою спробою побудови гібридної системи на базі нового покоління штучних нейронних мереж. Але через проблему адекватного визначення центру спайк-нейрона згадані системи не виявили потрібної ефективності. Розвиваючи ідею [12], у [16] було синтезовано систему нечіткого ймовірнісного виведення на основі спайк-нейронної мережі, ефективність застосування якої наведено у [17]. Далі було показано, що, крім ймовірнісного, таким же чином можна побудувати можливісне нечітке виведення [18] та його адаптивний варіант [19]. Підтверджений результатами практичного застосування підхід до побудови систем нечіткої кластеризації на базі шару спайк-нейронів було послідовно використано для розв'язання таких більш складних задач, як виявлення нових кластерів [20], кластеризація методом гіпереліпсоїдів [21], адаптивний варіант

алгоритму нечіткої кластеризації Густафсона-Кесселя [22]. Крім того, уперше було запропоновано розглядати шар рецепторних нейронів як шар фазифікації на основі лінгвістичних змінних у [23], що дало змогу змістовної інтерпретації процесу популяційного кодування.

З огляду на необхідність оновлювати кілька спайк-нейронів на кожній епісі самонавчання, що є більш природним підходом при нечіткій кластеризації, у [24] було вперше запропоновано загальний вигляд доволі відомого Геббового правила самонавчання.

Зв'язок спайк-нейронної мережі, що самонавчається, з класичною теорією автоматичного керування на ґрунті Лапласового перетворення було викладено у [25]. Такий підхід уперше вможливив синтез загального вигляду архітектури спайк-нейронної мережі у термінах теорії автоматичного керування.

Мета статті – синтез загальної архітектури гібридної системи, що самонавчається, на основі спайк-нейронної мережі.

Аналізуючи та підсумовуючи наявні спроби побудови гібридних систем, що наведені вище, гібридна система, що самонавчається, на основі спайк-нейронної мережі (або самонавчальна фаззі-спайк-нейронна мережа) у загальному випадку має поєднувати в собі здатність обробки нечітких даних, обчислювальні та швидкісні властивості спайк-нейронів, стійкість до невизначеності, засіб регулювання кількості спайк-нейронів (тобто можливість адаптивного налаштування кількості кластерів) та можливість ієрархічної кластеризації даних. Крім того, задля досягнення найбільш можливої ефективності та швидкодії архітектура такої системи має бути простою для апаратної реалізації.

У цій роботі пропонується гетерогенна багат шарова спайк-нейронна мережа прямого поширення, що містить у собі такі функціональні підсистеми-шари: шар фазифікації вхідних даних, підсистема ієрархічної кластеризації, вихідний шар нечіткої кластеризації та контур адаптивного регулювання кількості спайк-нейронів у підсистемі ієрархічної кластеризації (рис.).

Шар фазифікації вхідних даних складається з пулів фаззі-рецепторних нейронів [23], які незалежно від природи вхідних даних (чіткі або нечіткі) виконують перетворення вхідного сигналу в часо-імпульсну форму.

Підсистема ієрархічної кластеризації утворена кількома шарами спайк-нейронів. Кількість таких шарів залежить від потрібного розміру ієрархії кластерів даних. Перший шар спайк-нейронів поєднаний із шаром фазифікації складеними синапсами, кожен з яких складається з паралельно з'єднаних груп часових затримок, формувачів постсинаптичних потенціалів та вагових коефіцієнтів [13]. Шари спайк-нейронів також поєднані між собою складеними синапсами. Навчання у підсистемі ієрархічної кластеризації відбувається на основі узагальненого Геббового правила самонавчання [24], застосування якого дозволяє усунути бічні зв'язки в кожному із шарів спайк-нейронів.

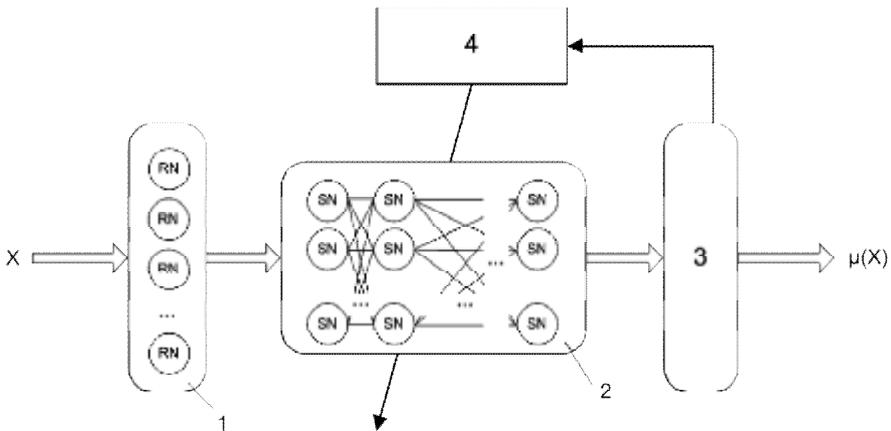


Рис. Загальний вигляд гібридної системи, що самонавчається, на основі спайк-нейронної мережі: 1 – шар фаззифікації, 2 – підсистема ієрархічної кластеризації, 3 – шар нечіткої кластеризації, 4 – контур адаптивного регулювання кількості спайк-нейронів, RN – рецепторний нейрон, SN – спайк-нейрон, X – вхідна вибірка, $\mu(X)$ – нечітке розбиття вибірки X

Критерій оптимізації, що лежить в основі Геббового правила, співпадає за формою з гіперболічним тангенсом – однієї з найпоширеніших функцій активації штучних нейронних мереж другого покоління, що вказує на спорідненість спайк-нейронних мереж з класичними нейронними мережами.

Вихідний сигнал підсистеми ієрархічної кластеризації надходить на вхід вихідного шару нечіткої кластеризації, який у залежності від поставленої задачі може працювати у ймовірнісному [16] чи можливісному [18] режимі, або у режимі гепереліпсоїдної кластеризації [21, 22], виконуючи або пакетну обробку даних, або адаптивну [19]. Контур адаптивного регулювання кількості спайк-нейронів складається з двох підсистем: підсистеми зменшення кількості спайк-нейронів, що функціонує на основі алфавітних критеріїв оптимізації [21], та підсистеми збільшення кількості спайк-нейронів, що функціонує на основі алгоритму нечіткої можливісної кластеризації [20]. Архітектура та функціонування шарів спайк-нейронів описуються в термінах Лапласового перетворення, зокрема спайк представлено дельта-функцією, синапс спайк-нейрона моделюється аперіодичною ланкою другого порядку з дійсними коренями, сома спайк-нейрона синтезована як релейна система зі зворотнім зв'язком. Такий підхід дозволяє, використовуючи стандартні технічні засоби, конструювати апаратні реалізації запропонованої гібридної системи. Застосовуючи W -функцію Лямберта, можна дещо спростити використання моделі самонавчальної гібридної системи у програмній реалізації при розв'язанні практичних задач [26], проте це потребує від системи моделювання значних обчислювальних потужностей.

Ефективність застосування самонавчальної фаззі-спайк-нейронної мережі та її складових доводиться їхніми успішними практичними застосуваннями при обробці супутникових зображень поверхні Землі [16 – 18].

Висновки. У роботі вперше синтезовано гібридну систему, що самонавчається, на основі спайк-нейронної мережі у загальному вигляді, яка дозволяє швидко й ефективно виконувати адаптивну ієрархічну кластеризацію чітких або нечітких даних. Архітектура запропонованої гібридної системи викладена з позиції теорії автоматичного керування, що вможливило конструювання та використання її апаратної реалізації для вирішення реальних технічних проблем. Перспектива подальших досліджень пов'язана із синтезом подібних гібридних систем, що навчаються з учителем.

Список літератури: 1. *Engelbrecht A.P.* Computational Intelligence. An Introduction. / *A.P. Engelbrecht.* – New York: John Wiley & Sons, 2007. – 597 p. 2. *Konar A.* Computational Intelligence: Principles, Techniques, and Applications / *A. Konar.* – Berlin, Heidelberg: Springer, 2005. – 708 p. 3. *Haykin S.* Neural Networks: A Comprehensive Foundation / *S. Haykin.* – Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999. – 842 p. 4. *Bezdek J.C.* Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing / *J.C. Bezdek, J. Keller, R. Krishnapuram, N.R. Pal.* – New York: Springer, 2005. – 776 p. 5. *Sato-Ilic M.* Innovations in Fuzzy Clustering / *M. Sato-Ilic, L.C. Jain.* – Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2006. – 152 p. 6. *Gerstner W.* Spiking Neuron Models / *W. Gerstner, W.M. Kistler.* – Cambridge: The Cambridge University Press, 2002. – 400 p. 7. *Maass W.* Networks of spiking neurons: the third generation of neural network models / *W. Maass // Neural Networks.* – 1997. – 10. – P. 1659–1671. 8. *Maass W.* Pulsed Neural Networks / *W. Maass, C.M. Bishop.* – Cambridge: The MIT Press, 1998, 408 p. 9. *Tsoukalas L.H.* Fuzzy and Neural Approaches in Engineering / *L.H. Tsoukalas, R.E. Uhrig.* – New York: John Wiley & Sons, 1997. – 587 p. 10. *Jang J.-Sh.* Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence / *J.-Sh. Jang, Ch.-T. Sun, E. Mizutani.* – Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997. – 614 p. 11. *Hopfield J.* Pattern recognition computation using action potential timing for stimulus representation / *J. Hopfield // Nature.* – 1995. – 376. – P. 33–36. 12. *Natschlaeger T.* Spatial and temporal pattern analysis via spiking neurons / *T. Natschlaeger, B. Ruf // Network: Computations in Neural Systems.* – 1998. – 9. – P. 319–332. 13. *Bohte S.M.* Unsupervised clustering with spiking neurons by sparse temporal coding and multi-layer RBF networks / *S.M. Bohte, J.S. Kok, H. La Poutre // IEEE Transactions on Neural networks.* – 2002. – 13. – P. 426–435. 14. *Бодяньський С.В.* Самонавчальна спайк-нейронна мережа з нечітким виведенням у синапсі на основі центрів за Натчлегером-Руфом / *С.В. Бодяньський, А.І. Долотов // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали Х міжнар. наук.-техн. конф., 20–24 травня 2008 р., Київ. – К.: НТУУ "КПІ", 2008. – С. 173.* 15. *Авдиенко Л.С.* Самообучаючися спайк-нейронна сеть с нечетким выводом в синапсе на основе центров по Горену / *Л.С. Авдиенко, А.И. Долотов, И.П. Плисс // Интеллектуальные системы принятия решений і проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI'2008): Тези доповідей міжнар. наук. конф., 19–23 травня 2008 р., Євпаторія. – Херсон: ХНТУ, 2008. – Т. 3. – Ч. 1. – С. 11–14.* 16. *Bodyanskiy Ye.* A self-learning spiking neural network for fuzzy clustering task / *Ye. Bodyanskiy, A. Dolotov // Sci. Proc. of Riga Technical University: Information Technology and Management Science.* – 2008. – 36. – P. 27–33. 17. *Bodyanskiy Ye.* Image processing using self-learning fuzzy spiking neural network in the presence of overlapping classes / *Ye. Bodyanskiy, A. Dolotov // Biennial Baltic Electronics Conf. "BEC 2008": Proc. 11th int. conf., October 6–8, 2008, Tallinn/Laualasmaa. – Tallinn: Tallinn University of Technology, 2008. – P. 213–216.* 18. *Bodyanskiy Ye.* Fuzzy possibilistic clustering using self-learning spiking neural network / *Ye. Bodyanskiy, A. Dolotov, I. Pliss, Ye. Viktorov // Wissenschaftliche Berichte der Hochschule Zittau/Goerlitz.* – 2008. – Heft 100. – Nr. 2360–2395. – S. 53–60. 19. *Бодяньський С.В.* Алгоритм адаптивної можливої кластеризації на базі спайк-нейронної мережі / *С.В. Бодяньський, А.І. Долотов, І.П. Плисс // Теорія прийняття рішень: праці IV міжнар. школи-семинару, 29 вересня – 4 жовтня 2008 р., Ужгород. – Ужгород: УжНУ, 2008. – С. 25–26.* 20. *Долотов А.И.* Выявление

новых кластеров на основе спайк-нейронной сети с выходным слоем возможностью кластеризации / *А.И. Долотов, Е.В. Бодянский* // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем: тези доповідей VI міжнар. наук.-практ. конф., 12–14 листопада 2008 р., Дніпропетровськ. – Дніпропетровськ: ДНУ ім. О. Гончара, 2008. – С. 108. **21.** *Bodyanskiy Ye.* Fuzzy spiking neural network and design of experiments alphabetical optimality criteria using in data clustering problem / *Ye. Bodyanskiy, A. Dolotov* // Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence (ISDMCI2009): Proc. int. conf., May 18–22, 2009, Yevpatoria. – Kherson: Kherson National Technical University, 2009. – Vol. 2. – P. 154–157. **22.** *Bodyanskiy Ye.* Adaptive Gustafson-Kessel fuzzy clustering algorithm based on self-learning spiking neural network / *Ye. Bodyanskiy, A. Dolotov, I. Pliss* // Intelligent Information and Engineering Systems. – Rzeszow: Rzeszow University of Technology, 2009. – P. 17–24. **23.** *Бодянский Е.В.* Применение фаззи-рецепторных нейронов в самообучающейся спайк-нейронной сети / *Е.В. Бодянский, А.И. Долотов, И.П. Плосс* // Автоматизация: проблемы, идеи, решения: материалы міжнар. наук.-техн. конф., 8–12 вересня 2008 р., Севастополь. – Севастополь: СевНТУ, 2008. – С. 12–14. **24.** *Bodyanskiy Ye.V.* Hebbian learning of fuzzy spiking neural network based on 'Winner-Takes-More' rule / *Ye.V. Bodyanskiy, A.I. Dolotov* // System Analysis and Information Technologies: Proc. the XI int. conf. on sci. and tech, May 26–30, 2009, Kyiv. – Kyiv: ESC "IASA" NTUU "KPI", 2009. – P. 271. **25.** *Bodyanskiy Ye.* Self-learning fuzzy spiking neural network as a nonlinear pulse-position threshold detection dynamic system based on second-order critically damped response units / *Ye. Bodyanskiy, A. Dolotov, I. Pliss* // Intelligent Processing. – Sofia: Institute of Information Theories and Applications FOI ITNEA, 2009. – P. 63–70. **26.** *Бодяньський Є.В.* Аналітичний вигляд залежності моменту збудження спайк-нейрона від вхідних спайків на основі W-функції Ламберта / *Є.В. Бодяньський, А.І. Долотов, В.І. Долотов, К.О. Чеботарьова* // Інформаційні технології та інформаційна безпека в науці, техніці та навчанні: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., 7-12 вересня 2009р., Севастополь. – Севастополь: СевНТУ, 2009. – С. 205–206.

Статтю подав д.т.н. проф. ХНУРЕ Бодяньський Є.В.

УДК 004.032.026

Самообучающаяся гибридная система вычислительного интеллекта на основе спайк-нейронной сети / Долотов А. И. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2009. – № 43. – С. 62 – 67.

Рассмотрены самообучающиеся гибридные системы вычислительного интеллекта на основе спайк-нейронной сети. Предложена обобщенная архитектура такой системы, позволяющая выполнять иерархическую нечеткую кластеризацию данных. На основе обобщенного правила самообучения Хебба предложен алгоритм обучения гибридной системы. Синтезированная архитектура гибридной системы представлена в терминах преобразования Лапласа. Ил.: 1. Библиогр.: 26 назв.

Ключевые слова: самообучающаяся гибридная система вычислительного интеллекта, спайк-нейронная сеть, правило самообучения Хебба, преобразование Лапласа.

UDC 004.032.026

Self-learning hybrid system of computational intelligence based on spiking neural network / *Dolotov A. I.* // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2009. – № 43. – P. 62 – 67.

The self-learning hybrid systems of calculable intellect are considered on the basis of spiking neural network. Generalized architecture of such system that allows of hierarchical fuzzy clustering is proposed. Based on the generalized Hebb rule of self-learning, a learning algorithm of the hybrid system is proposed. Synthesized architecture of the hybrid system is stated in terms of the Laplace transform. Figs: 1. Refs: 26 titles.

Key words: self-learning hybrid system of computational intelligence, spiking neural network, the Hebb rule of self-learning, the Laplace transform.

Надійшла до редакції 25.10.2009.

Е.Г. ЖИЛЯКОВ, д-р. техн. наук, проф., зав. каф. БелГУ (г. Белгород, Россия),

А.А. ЧЕРНОМОРЕЦ, канд. техн. наук, доц. БелГУ (г. Белгород, Россия),

А.Н. ЗАЛИВИН, аспирант БелГУ (г. Белгород, Россия)

О ПОВЫШЕНИИ ЧЕТКОСТИ КОНТУРОВ НА КОСМОСНИМКАХ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Рассмотрен метод повышения четкости контуров изображений на основе градиентной обработки с использованием нового метода вычисления производных. Представлена процедура повышения четкости контуров на космоснимках земной поверхности. Ил.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: контур, изображение, градиентная обработка, производная, космоснимки.

Постановка проблемы. Дистанционное зондирование Земли является важным инструментом для решения следующих задач: обновление топографических карт, отражающих реальное состояние территорий; прогноз урожайности сельскохозяйственных культур; отслеживание динамики и состояния рубок леса; природоохранный мониторинг; прогноз погоды и мониторинг опасных природных явлений [1 – 5]. Для решения таких задач необходимо проводить мониторинг больших участков земной поверхности, для этого используют космические аппараты, оснащенные различными регистрирующими приборами, в том числе реагирующими на тепловое излучение. Применение различных видов регистрирующих приборов или многоспектральных систем необходимо для повышения информативности одного и того же участка земной поверхности, так как одни и те же объекты, в зависимости от спектрально диапазона, проявляют себя по-разному.

Зачастую космоснимки участков земной поверхности, искажены помехами, обусловленными собственными шумами аппаратуры, ошибками при передаче по каналам связи, либо влиянием атмосферы. Все это портит общую картину и ухудшает узнаваемость объектов. Поэтому необходимо производить предварительную обработку исходных данных с целью восстановления их визуального качества. Это привело к появлению ряда программных средств (RSI ENVI, ERDAS Imaging, eCognition и др.), предназначенных для обработки и представления космоснимков. Но им присущ ряд недостатков, в частности, они недостаточно эффективно борются с перечисленными помехами, а также присутствуют неточности при повышении четкости контуров, что необходимо для более точного определения объектов. В связи с этим предлагается использовать новый математический аппарат субполосной обработки, в основе которого лежат вариационные алгоритмы анализа и обработки изображений на основе частотных представлений, что позволит повысить визуальное качество изображений, в частности, при повышении четкости контуров и удалении шумов.

Анализ литературы. Проблема повышения качества космоснимков земной поверхности рассматривается в работах многих авторов [4, 5], особенно специалистов, работающих в области дистанционного зондирования земли. Примерами могут служить повышение контраста, резкости, коррекция цветов, сглаживание [1, 6 – 8]. Задачей обработки изображения может быть как улучшение (восстановление, реставрация) изображения по какому-то определенному критерию, так и специальное преобразование, кардинально меняющее изображение. В последнем случае обработка изображений может быть промежуточным этапом для дальнейшего распознавания изображения, например, для выделения контура объекта.

Градиентная обработка является одним из приемов повышения резкости контуров изображений, которая основывается на дифференцировании яркости, рассматриваемой как функции пространственных координат. В случае цифровых изображений, представляемых матрицей отсчетов, вместо производных берутся дискретные разности. Но метод дифференцирования на основе конечных разностей является не устойчивым по отношению к случайным погрешностям измерений, которыми в случае с изображениями являются помехи. Поэтому для повышения резкости контуров изображения предлагается использовать метод дифференцирования сигналов на основе принципа минимизации евклидовых норм аппроксимаций производных с финитными спектрами Фурье [9], который является более устойчивым.

Распространённые методы фильтрации изображений на основе пространственных представлений не способны устранить помехи, присутствующие на космоснимках, без существенной потери качества изображения (происходит "размывание" изображения, что может вызвать, например, проблему выделения контуров объектов), а с удалением шума в виде полос они вообще не справляются.

Для решения задач фильтрации наиболее адекватно применение методов фильтрации изображений на основе частотных представлений. Возможность проведения анализа изображений на основе частотных представлений определяется тем, что в графических данных, зачастую, наблюдается квазипериодичность отображаемых процессов. На изображении могут присутствовать повторяющиеся объекты, которые задают некоторую периодичность изменения яркости изображения. Средней яркости изображения соответствует наиболее медленно меняющаяся частотная составляющая (ее частота равна нулю). Медленно изменяющимся компонентам изображения (таким как изображение неба) соответствуют низкие частоты. Границам объектов на изображении, другим деталям, имеющим резкие изменения яркости, отвечают более высокие частоты.

Традиционно фильтрация изображений на основе частотных представлений предполагает использование преобразования Фурье (ДФФ) или быстрого преобразования Фурье (БПФ). Однако нужно заметить, что фильтры, использующие ДПФ или БПФ, имеют существенную погрешность. Поэтому

для фильтрации изображений предлагается использование метода субинтервальной фильтрации изображений на основе частотных представлений [10], который лишен этого недостатка.

Цель. Разработка технологии повышения качества и информативности космоснимков земной поверхности.

Повышение четкости контуров. Предлагается для повышения четкости контуров при анализе космоснимков, использовать метод дифференцирования сигналов на основе принципа минимизации евклидовых норм аппроксимаций производных с финитными спектрами Фурье.

В основе данного метода лежит представление вида

$$\dot{u}(t) = u_0 + \int_0^t f(\tau) d\tau, \quad (1)$$

которое позволяет по оценке производной вычислить интерполирующую функцию. Очевидно, что при этом должны выполняться интерполяционные равенства $\hat{u}_i = \hat{u}(i\Delta t) = u_i$, $i = 0, 1, \dots, N$.

Для повышения устойчивости вычислений оценок производных по регистрируемому дискретным данным предлагается использовать аппроксимирующие функции с финитными спектрами Фурье, которые представимы в виде

$$f(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} F(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega. \quad (2)$$

Для отбора конкретной аппроксимации из класса (2) предлагается использовать вариационный принцип минимизации евклидовой нормы оценки производной, что также повышает устойчивость вычислений. На основе представления (2) и равенства Планшереля (Парсеваля), этому принципу нетрудно придать вид

$$\int_{-\infty}^{\infty} f^2(\tau) d\tau = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} |F(\omega)|^2 d\omega = \min, \quad (3)$$

На основе рассмотренных соотношений получают вычислительную формулу для оценивания производной сигнала по эмпирическим данным, которая имеет вид

$$f(\tau) = \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^N \beta_i \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin\left(\frac{\omega\Delta t}{2} - i\right)}{\omega\Delta t / 2} \cos[\omega(\tau - i\Delta t / 2)] d\omega. \quad (4)$$

Процедура повышения резкости контуров. В качестве экспериментальных данных использовались изображения космоснимков

участков земной поверхности, полученные при помощи многоспектрального оптико-механического сканирующего радиометра, размером $N \times M$ пикселей.

Изображение представляет собой 2-х мерный сигнал $\Phi = \{U_{ik}\}$, где $i = 1, \dots, N$, $k = 1, \dots, M$.

В качестве оценки второй смешанной производной будем использовать выражение вида

$$\Delta\Phi = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} = B_x A^{-1} \cdot \Phi \cdot B_y A^{-1}, \quad \Delta\Phi = \left. \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \right|_{\substack{x_i = i\Delta t \\ y_k = k\Delta t}}. \quad (5)$$

Для этого необходимо предварительно произвести вычисление матрицы $A_y = \{a_{ik}\}$ с элементами вида

$$a_{ik} = \frac{1}{\pi} \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin\left(\frac{xk}{2}\right) \sin\left(\frac{xi}{2}\right)}{\left(\frac{x}{2}\right)^2} \cos\left[\frac{x}{2}(k-i)\right] dx. \quad (6)$$

И предполагая, что производная оценивается в узлах интерполяции, то есть при $\tau_k = k\Delta t$, $k = 1, 2, \dots, N$ из соотношения (4) нетрудно получить представление для вычисления матриц $B_x = \{b_{ki}\}$, $k = 1, \dots, N$; $i = 1, \dots, N$ и $B_y = \{b_{ki}\}$, $k = 1, \dots, M$; $i = 1, \dots, M$ с элементами вида

$$b_{ki} = \frac{1}{\pi} \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin\left(\frac{\omega\Delta t}{2} i\right)}{\omega\Delta t/2} \cos\left[\omega\left(k\Delta t - i\Delta t/2\right)\right] d\omega. \quad (7)$$

После чего, используя принцип градиентной обработки, к исходному изображению добавляется значение второй смешанной производной, то есть

$$\hat{\Phi} = \Phi + \Delta\Phi, \quad (8)$$

что позволило получить более четкие, в смысле субъективного восприятия, изображения.

На рис. 1, б представлен результат обработки изображения участка земной поверхности с применением метода дифференцирования сигналов на основе принципа минимизации евклидовых норм аппроксимаций производных с финитными спектрами Фурье.

Следует заметить что предлагаемый алгоритм увеличения четкости изображений позволяет повысить детальность наблюдаемой картины и обеспечивает возможность наблюдения мелких деталей на всех участках изображения.



а



б

Рис. 1. Изображения участка земной поверхности: а – исходное изображение, б – изображение после обработки предложенным методом

Фильтрация изображений. Для решения задачи фильтрации изображений предлагается использовать метод оптимальной фильтрации изображений на основе частотных представлений.

Путем фильтрации квази-периодических компонент изображения можно решать задачи повышения качества изображения, заданного с низким разрешением, понижения резкости тонких линий для придания изображению более приятного для человеческого глаза вида, удаления на изображении лишних деталей, различных линий, дефектов, выявления шума, выявления границ объектов.

Для оптимальной фильтрации изображений [10] решается вариационная задача:

$$S(F, Z) = \iint_{(u,v) \in \Omega} |F(u, v) - Z(u, v)|^2 dudv + \iint_{(u,v) \notin \Omega} |Z(u, v)|^2 dudv \Rightarrow \min. \quad (9)$$

Решением является следующее изображение

$$Y_{\Omega} = A^T \cdot \Phi \cdot B. \quad (10)$$

Предлагаемый метод фильтрации позволяет выделить значимые характеристики отдельных элементов изображения, спектральная энергия которых сосредоточена в отдельных частотных интервалах.

Выводы. Предложенные методы повышения качества изображений обладают большим потенциалом для их использования в задачах обработки космоснимков земной поверхности при проведении дистанционного зондирования Земли.

В результате проделанной работы была предложена технология, в которой применяется новый математический аппарат субполосной обработки. Технология, позволяет повысить качество изображений и узнаваемость объектов, что важно в задачах принятия решений на основе мониторинга земной поверхности.

Список литературы: 1. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с. 2. Рис У. Основы дистанционного зондирования / У. Рис. – М.: Техносфера, 2006. – 346 с. 3. Чандра А.М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / А.М. Чандра, С.К. Гош. – М.: Техносфера, 2008. – 312 с. 4. Трифонова Т.А. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях / Т.А. Трифонова, Н.В. Мищенко, А.Н. Краснощеков. – М.: Академический проект, 2005. – 352 с. 5. Обиралов А.И. Фотограмметрия и дистанционное зондирование / А.И. Обиралов, А.Н. Лимонов, Л.А. Гаврилова. – М.: КолосС, 2006. – 336 с. 6. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с. 7. Методы компьютерной обработки изображений / Под редакцией В.А. Сойфера. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с. 8. Красильников Н.Н. Цифровая обработка изображений / Н.Н. Красильников. – М.: Вузовская книга, 2001. – 320 с. 9. Жилияков Е.Г. Вариационные методы анализа и построения функций по эмпирическим данным на основе частотных представлений / Е.Г. Жилияков. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2007. – 160 с. 10. Жилияков Е.Г. Метод субинтервальных преобразований изображений / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец, Н.В. Щербинина // Вопросы радиоэлектроники. Сер. РЛТ. – 2008. – Вып. 4. – С. 122–134.

УДК 621.397

О підвищенні чіткості контурів на космознімках земної поверхні / Жиляков Є.Г., Чорноморець А.А., Залівін А.Н. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 43. – С. 68 – 74.

Розглянуто метод підвищення чіткості контурів зображень на основі градієнтної обробки з використанням нового методу обчислення похідних. Представлена процедура підвищення чіткості контурів на космознімках земної поверхні. Лл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: контур, зображення, градієнтна обробка, похідна, космознімкі.

UDC 621.397

About improve clarity of contours on satellite imagery the earth's surface/ Zhylyakov E.G., Chernomorec A.A., Zalivin A.N. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 43. – P. 68 – 75.

The method for sharper image contours based on the gradient processing using a new method of calculating derivatives. The procedure for sharper contours on the surface of the earth's satellite imagery. Figs: 1. Refs: 10 titles.

Keywords: contour, image, gradient processing, derivative, satellite imagery.

Поступила в редакцію 10.10. 2009

Е.Г. ЖИЛЯКОВ, д-р. техн. наук, проф., зав. каф. БелГУ (г. Белгород, Россия),

Е.И. ПРОХОРЕНКО, канд. техн. наук, доц. БелГУ (г. Белгород, Россия),

А.В. БОЛДЫШЕВ, аспирант БелГУ (г. Белгород, Россия),

А.В. ЭСАУЛЕНКО, БелГУ (г. Белгород, Россия)

СЖАТИЕ РЕЧЕВЫХ ДАННЫХ КАК СРЕДСТВО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СКРЫТНОСТИ РЕЧЕВЫХ СООБЩЕНИЙ

Рассмотрена информационная технология сжатия речевых данных, реализующая обнаружение и кодирование пауз, оптимальное субполосное преобразование и квантование по уровню, с сохранением достаточно высокой степени разборчивости и узнаваемости автора. Также рассмотрена возможность использования применяемых методов сжатия речевых данных как средств обеспечения скрытности речевых сообщений.

Ключевые слова: скрытность речевых сообщений, сжатие речевых данных, оптимальное субполосное преобразование, узнаваемость автора.

Постановка проблемы. В настоящее время в области информационно-телекоммуникационных систем большое внимание уделяется задаче сокращения объема битовых представлений (сжатия) речевых данных. Актуальность этой задачи обусловлена огромной ролью информационного обмена в современном обществе, существенную часть которого составляют речевые данные. Остро встает необходимость в использовании процедур сжатия для компактного хранения данных речевого обмена на жестких носителях, например, при проведении аудиоконференций (протоколирование различных заседаний), которые могут продолжаться длительное время, хранении звукозаписей выступлений лекторов, так же для систем информирования (звукового оповещения) в аэропортах, на авто и ж/д вокзалах и т.д.

При осуществлении сжатия речевых данных сигнал на жестком носителе может храниться в виде некоего блока данных. В нем может храниться как преобразованная форма исходного сигнала, например, выходные последовательности КИХ-фильтров (если используется субполосное преобразование), квантованные значения сигнала (если используется квантование по уровню), так и информация о параметрах преобразований – параметры используемого квантователя (количество разрядов квантователя, максимальное по модулю значение вектора исходной последовательности, знаки отсчетов исходной последовательности), или же данные о субполосном преобразовании (количество интервалов, на которые разбивается ось нормированных частот, длительность интервала анализа в отсчетах). Если используется предварительное оценивание информативности сигнала (разделение сигнала на активную речь и паузу), то фрагменты сигнала,

классифицируемые как активная речь, кодируются каким-либо из известных алгоритмов, фрагменты же, классифицированные как паузы анализируются и сами не передаются, а передается минимальная информация о расположении этих фрагментов. На рис. 1 представлен один из вариантов блока кодированных данных:

Квантованные значения исходного речевого сигнала	Информация о расположении пауз в исходном речевом сигнале	Параметры квантователя
--	---	------------------------

Рис. 1. Структура блока кодированных данных

Сигнал, хранимый на жестком носителе в такой форме невозможно воспроизвести и прослушать с помощью стандартных и широко распространенных средств. Для того чтобы воспроизвести его необходимо либо использовать специализированный кодер/декодер, либо вручную произвести декодирование этих данных, но при этом необходимо обладать сведениями о том, с помощью каких методов и алгоритмов было осуществлено кодирование.

Все это ограничивает непосредственный доступ к данным, и можно говорить о том, что сжатие речевых данных может стать средством решения такой немало важной проблемы при хранении и передаче речевых данных, как обеспечение конфиденциальности сообщаемых сведений, которая традиционно решается с использованием современных, хорошо себя зарекомендовавших криптографических методов защиты информации.

Анализ литературы. Предлагаемые во многих источниках, например [1 – 6], решения задачи сжатия порой существенно снижают объем передаваемых данных, однако, как правило, это достигается значительным усложнением аппаратной реализации устройств кодирования и восстановления речевых сигналов, требующих применения высокопроизводительных сигнальных процессоров.

При решении задачи сжатия речевых данных отмечаются два основных момента: необходимость удаления пауз, возникающих между отдельными словами и в режиме диалога, занимающих до 60% длительности исходных звукозаписей, и сокращение объема битовых представлений собственно звуковых данных [4, 5, 7].

Для сжатия участков собственно звуков речи тоже разработаны различные процедуры обработки. Основой этих процедур служат необратимые преобразования исходных данных либо за счет более грубого квантования по уровню, либо путем построения моделей генерации, позволяющих осуществить их воспроизведение [3, 8].

Существующие методы сжатия звуковых данных с использованием грубого квантования по уровню основываются на психоакустической модели,

что приводит к необходимости применения так называемых субполосных преобразований отрезков (векторов) отсчетов речевых сигналов, позволяющих получить другие векторы, подвекторы которых отражают частотные свойства исходного вектора в выбранных диапазонах оси частот. Именно компоненты этих подвекторов подвергаются квантованию по уровню с различными шагами, чем достигается учет частотно-избирательных свойств человеческого слуха. Но следует помнить, что при использовании различных методов и алгоритмов сжатия необходимо обращать внимание на сохранение качества речевого сигнала на выходе системы передачи информации, которое определяется такими показателями как разборчивость речи и сохранение тембра речи, обеспечивающего узнаваемость голоса.

Целью статьи является анализ возможности использования предлагаемых методов сжатия речевых данных как средства обеспечения скрытности речевых сообщений при их передаче или хранении.

Субполосное преобразование. В основе предлагаемой процедуры сжатия речевых данных используется новый вариационный метод оптимального субполосного преобразования, подробно описанный в [9].

Сущность субполосного преобразования заключается в следующем: для отрезков сигнала вычисляется вектор $\vec{y} = (y_1, y_2, \dots, y_R)$, состоящий из подвекторов $\vec{y}_r = (y_{1r}, y_{2r}, \dots, y_{Jr})$, которые отражают частотные свойства исходного сигнала в некотором частотном интервале (в данном случае ось частот разбивается на R частотных интервалов):

$$\vec{y} = AA \vec{x}, \quad (1)$$

где \vec{x} – вектор исходного отрезка сигнала длиной N ; AA – блочная матрица.

Блочная матрица AA формируется на основе субполосной матрицы $A_r = \{a_{ik}^r\}$ и имеет вид

$$AA = \begin{pmatrix} \sqrt{L_1^1} (Q_1^1)^T \\ \sqrt{L_1^2} (Q_1^2)^T \\ \mathbf{L} \\ \sqrt{L_1^R} (Q_1^R)^T \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $Q_1^r = (\vec{q}_1, \dots, \vec{q}_J)$ – подматрица собственных векторов матрицы A_r ,

$L_1^r = \text{diag}(\vec{\lambda}_1, \dots, \vec{\lambda}_J)$ – подматрица собственных чисел матрицы A_r .

Субполосная матрица A_r имеет элементы вида (3)

$$a_{ik}^r = \begin{cases} \frac{\sin[\nu_2^r(i-k)] - \sin[\nu_1^r(i-k)]}{\pi(i-k)}, & i \neq k, \\ \frac{\nu_2^r - \nu_1^r}{\pi}, & i = k, \end{cases} \quad (3)$$

где ν_1 и ν_2 определяются исходя из разбиения области определения спектра $[-\pi, \pi]$ на ряд равновеликих частотных интервалов

$$V^r = [-\nu_2^r, -\nu_1^r) \cup [\nu_2^r, \nu_1^r) \quad (4)$$

таких, что $\nu_2^r - \nu_1^r = \Delta\nu = \text{const}$.

Матрица A_r обладает тем свойством, что значения ее собственных чисел с номерами меньшими $m = 2\lfloor N/2R \rfloor$ при упорядочивании по возрастанию близки к единице, а с номерами большими $J = 2\lfloor N/2R \rfloor + 4$ стремятся к нулю (квадратная скобка означает операцию взятия целой части содержимого).

Значения энергии сигнала в заданном частотном интервале вычисляются с использованием полученных подвекторов субполосного преобразования:

$$P_r = \sum_{i=1}^J (y_{ir})^2, \quad r = 1, 2, \dots, R. \quad (5)$$

Также имеет место обратное субполосное преобразование:

$$\hat{\mathbf{x}} = A A' \overline{\mathbf{y}}. \quad (6)$$

Кодирование пауз. Предлагаемый метод основан на учете отличий в распределении энергетических составляющих звуков речи и сигнала паузы в частотной области [4, 6]. Формулируется следующая гипотеза:

H_0 : энергия исходного отрезка \hat{x}_i , $i = 1, 2, \dots, N$ в r -м частотном интервале $(\nu_{2r} - \nu_{1r})$ обусловлена внешними шумами.

Положим

$$S_r^i = \frac{P_r^i}{P_r^\Pi}, \quad r = 1, 2, \dots, R, \quad (7)$$

где P_r^Π – доля энергии паузы, P_r^i – доля энергии отрезка сигнала (энергия вычисляется с использованием выражения (5)).

Для увеличения вероятности правильного обнаружения границы пауза/звук целесообразно с порогом сравнивать максимальное значение из

отношений вида (7), так как энергия сигнала, соответствующего звуку может быть сосредоточена в сравнительно узком диапазоне частот.

Если имеет место

$$\max(S_r^i) \geq h, \quad (8)$$

то отвергается нулевая гипотеза H_0 , т.е. отрезок речевого сигнала принимается за звук.

Если же выполняется неравенство

$$\max(S_r^i) \leq h, \quad (9)$$

то H_0 считается справедливой и данный отрезок речевого сигнала принимается за паузу.

В выражениях (8) и (9) h – это порог, который определяется адаптивно. Причем, отрезки сигнала, на которых величина решающей функции не превышала установленный порог, как правило, являются паузами малой длительности между фонемами или слитно произнесенными словами.

Информация об удаленных паузах хранится в "карте пауз", которая содержит сведения о начале паузы и ее длительности, она используется при декодировании сигнала для восстановления паузы. Причем, имеется возможность выбора параметров восстановления – длительность пауз, тип заполнения пауз ("тишина" или комфортный шум).

На рис. 2 представлена функциональная схема системы сжатия речевых данных на основе кодирования пауз, оптимального субполосного преобразования и квантования.

При поступлении сигнала на вход системы первоначальным этапом сжатия является обнаружение и кодирование пауз, при этом возможно оперировать следующими параметрами: N – длительность отрезков сигнала, на которые разбивается исходный сигнал, R – количество частотных интервалов, на которые разбивается отрезок сигнала. На выходе блока обнаружения пауз формируется последовательность речевых данных, не содержащая пауз, а также служебная информация ("карта пауз") о том, где паузы находятся и какой они длительности: $N_{нач}$ – номер начального отсчета и N_n – длина, т.е. количество отсчетов для каждой паузы. Применение данного метода обнаружения и кодирования пауз позволяет сократить объем данных в 2 раза, при сохранении разборчивости и узнаваемости говорящего.

Затем этот сигнал подвергается субполосному преобразованию, исходными параметрами для этого блока служат: N – длительность отрезков сигнала, на которые разбивается сигнал "без пауз", R – количество частотных интервалов, на которые разбивается отрезок сигнала, а также блочная матрица AA . Сигнал теперь представляется в виде набора векторов субполосного преобразования, и выделить необходимую информацию без параметров матрицы AA представляется невозможным.

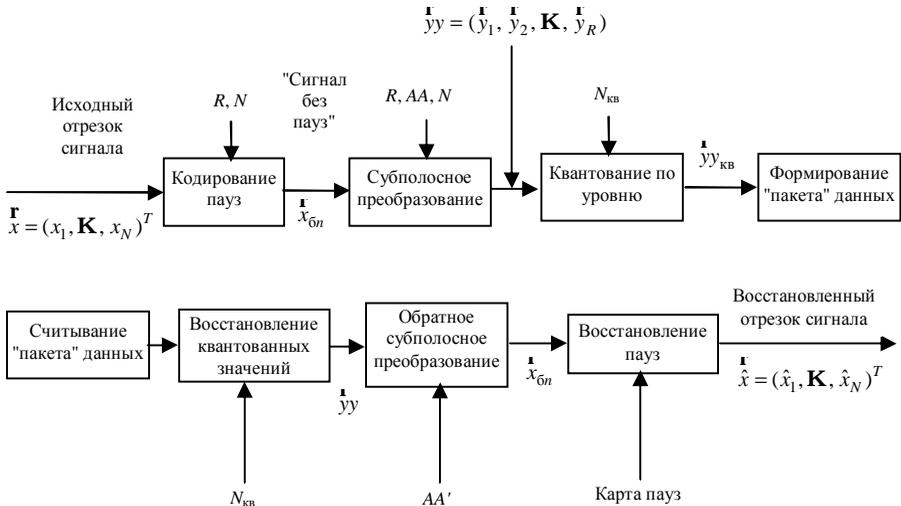


Рис. 2. Функциональная схема системы сжатия/восстановления речевых данных

В ряде работ [10, 11] описывалась возможность удаления подвекторов субполосного преобразования, к которым относятся малоэнергетические составляющие спектра речевого сигнала, без существенной потери разборчивости и качества воспроизведения, что существенно сокращает объем речевых данных. Для увеличения степени закрытия данных, можно также осуществить перестановку подвекторов субполосного преобразования, а информацию об их позициях кодировать и передавать вместе со служебной информацией.

Следующим этапом является **квантование по уровню**, полученных на предыдущем этапе, значений векторов субполосного преобразования, при этом главным параметром является количество уровней квантования, которое определяется числом разрядов m :

$$N_{кв} = 2^m - 1. \quad (10)$$

Чем больше $N_{кв}$, тем на большее число ступеней разбивается шкала квантователя и тем с большей точностью воспроизводится исходная последовательность при восстановлении. Величина шага квантования Δ определяется максимальным из абсолютных значений вектора квантуемой последовательности. При квантовании используется способ округления к ближайшему двоичному уровню с порогом округления 0,5 (рис. 3).

При пороге округления 0,5 квантованный сигнал симметричен относительно оси времени, в нем присутствуют только нечетные гармоники искажений. Этот вариант квантования наиболее распространен.

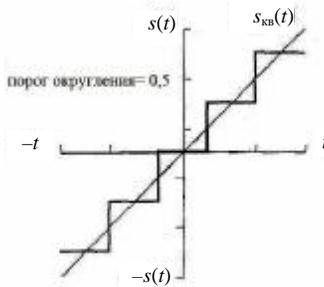


Рис. 3. Характеристика квантователя

Квантованная последовательность на выходе квантователя $s_{i\text{ кв}}$ имеет вид:

$$s_{i\text{ кв}} = \lceil |y_i| / \Delta + 0,5 \rceil, \quad (11)$$

где шаг квантования $\Delta = 1 / N_{\text{кв}}$.

Квантование осуществляется для каждой субполосы, полученной на предыдущем этапе, отдельно, т.е. шаг квантования вычисляется для каждого подвектора \vec{y} исходной последовательности \vec{y}_u .

Для осуществления квантования каждого из подвекторов выполняется следующая последовательность действий:

1. Определяются знаки отсчетов исходной последовательности $zn_i = \text{sign}(y_i)$.

2. Определяется максимальное по модулю значение подвектора исходной последовательности $y_{\text{max}}^r = \max(|\vec{y}^r|)$ соответствующего r -го частотного интервала.

3. Вычисляется шаг квантования для данного подвектора $\Delta^r = \frac{1}{N_{\text{кв}}}$, где количество уровней квантования $N_{\text{кв}}$ определяется заданным числом разрядов m (10).

4. Вычисляется квантованная последовательность для данного подвектора как

$$s_{i\text{ кв}} = \lceil |y_i^r| / (y_{\text{max}}^r \Delta^r) + 0,5 \rceil. \quad (12)$$

Таким образом, на выходе квантователя формируется массив данных, содержащий: N бит значений знаков отсчетов исходной последовательности

→
 u ; R максимальных значений подвекторов \hat{y} ; mN бит значений квантованной последовательности $s_{i_{\text{кв}}}$ и значение, определяющее количество разрядов квантования m . При таком алгоритме квантования имеется возможность устанавливать любое число разрядов квантования m , в зависимости от необходимой степени сжатия и требуемого качества воспроизведения восстановленного сигнала.

В совокупности все предложенные методы позволят достичь высокой степени сжатия при сохранении требуемого качества речи для различных прикладных областей применения.

На рис. 4 представлена структура блока кодированных данных, полученных при использовании предлагаемых методов.

Квантованные значения $N_{i,m}$	«Карта пауз»	Параметры субполосного преобразования N, R	Количество разрядов квантования m	Массив знаков Z_i	Массив значений $Z_{i_{\text{лиц}}}$
---------------------------------	--------------	--	-------------------------------------	---------------------	--------------------------------------

Рис. 4. Структура блока кодированных данных, полученных при использовании предлагаемых методов

Что же касается скрытности данных, полученных в результате сжатия предложенными методами, то, чтобы злоумышленник при перехвате сообщения смог выделить из нее необходимые данные, ему необходимо знать структуру сформированного блока (порядок записи информации в нем) и обладать сведениями о примененных методах и алгоритмах сжатия.

При осуществлении декодирования данных на попытку подобрать все параметры для выполненных преобразований, а именно параметры квантователя, субполосного преобразования, порядок следования подвекторов субполосного преобразования (если используется их перемешивание), а также место и длительность пауз в сообщении, будет затрачено длительное время. В частности, что касается субполосного преобразования, то без точного представления о математическом аппарате, используемом в данном методе, злоумышленник не сможет восстановить компоненты вектора в речевой сигнал.

Выводы. При использовании различных методов и алгоритмов сжатия необходимо обращать внимание на сохранение качества речевого сигнала на выходе системы передачи информации, которое определяется разборчивостью речи и сохранением тембра речи, обеспечивающего узнаваемость голоса.

Предлагаемый комплексный подход к сжатию речевых данных позволяет добиться не только высокого коэффициента сжатия, при сохранении достаточно высокой степени разборчивости восстановленного сообщения, но и не позволяет произвести декодирование за короткий промежуток времени без наличия полных сведений о примененных методах сжатия. Следовательно,

предлагаемая процедура сжатия речевых данных, без дополнительных затрат, может обеспечить некоторый уровень конфиденциальности информации.

Список литературы: 1. Бухвинер В.Е. Управляемое компандирование звуковых сигналов / В.Е. Бухвинер. – М.: Связь, 1978. – 208 с. 2. Козленко Н.И. Помехоустойчивость дискретной передачи непрерывных сообщений / Н.И. Козленко. – М.: Радиотехника, 2003. – 352 с. 3. Шульгин В.И. Основы теории связи. Часть 1. Теория и практика кодирования. Учебное пособие, Харьков: "ХАИ", 2005. 4. Жиликов Е.Г. О сжатии речевых сигналов / Е.Г. Жиликов, С.П. Белов // Вестник НТУ "Харьковский политехнический институт". – Харьков, 2005. – № 56. – С. 32-40. 5. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко – СПб.: Питер, 2005. 6. Шелухин О.И. Цифровая обработка и передача речи / О.И. Шелухин, Н.Ф. Лукьянцев. – М.: Радио и связь, 2000. 7. Жиликов Е.Г. Метод обнаружения пауз в речевых сигналах / Е.Г. Жиликов, С.П. Белов, Е.И. Прохоренко // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов для связи и вещания. Материалы научно-технического семинара. – Белгород, 2006. – С. 94-98. 8. Применение цифровой обработки сигналов. Под ред. Э. Оппенгейма. – М.: Мир, 1980. – 550 с. 9. Жиликов Е.Г. Частотный анализ речевых сигналов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – Белгород, 2006. – № 2 (31). – Вып. 3. – С. 201-208. 10. Прохоренко Е.И. Цифровое кодирование клипированной речи с сохранением разборчивости и узнаваемости диктора / Е.И. Прохоренко, И.А. Сидоренко, А.В. Болдышев // Научные ведомости БелГУ. Серия: информатика и прикладная математика. Белгород, 2008. 11. Прохоренко Е.И. Цифровое кодирование речевых данных на основе клипирования и частотных представлений / Е.И. Прохоренко, И.А. Сидоренко, А.В. Болдышев // Вестник НТУ "Харьковский политехнический институт". – Харьков: НТУ "ХПИ", 2008. – № 49. – С. 184 – 189.

УДК 621.391

Стиснення мовних даних як засіб забезпечення скритності мовних повідомлень / Жиликов Е.Г., Прохоренко Е.И., Болдышев А.В., Есауленко А.В. // Вісник НТУ "ХПИ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2009. – № 43. – С. 75 – 83.

Розглянута інформаційна технологія стиснення мовних даних, що реалізує виявлення і кодування пауз, оптимальне субсмугове перетворення і квантування по рівню, із збереженням достатньо високого ступеня розбірливості і впізнанності автора. Також розглянута можливість використання вживаних методів стиснення мовних даних, як засобів забезпечення скритності мовних повідомлень. Іл.: 4. Бібліогр.: 11 назв.

Ключові слова: скритність мовних повідомлень, стиснення мовних даних, оптимальне субсмугове перетворення, впізнанність автору.

UDC 621.391

Compression of vocal data as backer-up secrecy of vocal reports / Zhilyakov E.G., Prokhorenko E.I., Boldyshev A.V., Esaulenko A.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 43. – P. 75 – 83.

Information technology of compression of vocal data, realizing a discovery and encoding of pauses, optimum subband transformation and quantum on a level, is considered, with a maintainance there is an enough high degree of legibility and knowableness of author. Possibility of the use of the applied methods of compression of vocal data is also considered, as backer-ups secrecy of vocal reports. Figs: 4. Refs: 11 titles.

Key words: secrecy of vocal reports, compression of vocal data, optimum subband transformation, knowableness of author.

Поступила в редакцію 09.10.2009

Е.Г. ЖИЛЯКОВ, д-р техн. наук, проф., зав. каф. БелГУ (Белгород, Россия),

А.А. ФИРЦОВА, аспирант БелГУ (Белгород, Россия)

ОБ АНАЛИЗЕ И СИНТЕЗЕ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ В IP-ТЕЛЕФОНИИ

Рассмотрены методы анализа и синтеза речевых сигналов. Исследованы особенности распределения энергии звуков русской речи, соответствующих различным дикторам. Проведены исследования зависимости качества звучания синтезированного сигнала от порядка модели линейного предсказания. Рассмотрены существующие методы обнаружения и кодирования пауз в IP-телефонии. Ил.: 1. Табл.: 2. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: речевой сигнал, синтез речевого сигнала, распределение энергии звуков русской речи, линейное предсказание, обнаружение и кодирование пауз, IP-телефония.

Постановка проблемы. В настоящее время IP-телефония является одним из наиболее интересных методов передачи речевой информации в режиме реального времени. Эта технология позволяет использовать IP-каналы для осуществления телефонной связи. Быстрое развитие и распространение IP-телефонии обусловлено широким распространением IP-сетей, а также богатым спектром предоставляемых услуг. Тем не менее, вопрос снижения загруженности каналов связи не может не интересовать специалистов в области передачи информации. Одним из несомненных преимуществ IP-телефонии является возможность использования в качестве окончательного оборудования персональных компьютеров, обладающих большими возможностями для преобразования информации в форму, позволяющую снизить объем битовых представлений, передаваемых в канал связи. Уменьшения объема передаваемых данных можно добиться несколькими способами: уменьшением частоты дискретизации, уменьшением разрядности при кодировании значений сигнала, обнаружением и кодированием пауз в речевых данных. Наиболее интересным остается последний способ уменьшения объема битовых представлений передаваемых данных. Любой алгоритм обнаружения и кодирования пауз основывается на результатах анализа речевого сигнала. Существующие алгоритмы не позволяют обеспечить стопроцентное обнаружение пауз в сигнале. Таким образом, вопрос поиска методов и алгоритмов для обнаружения пауз, несомненно, является актуальным.

Анализ литературы. Вопросам, связанным с IP-телефонией посвящено большое количество публикаций [1 – 3]. Эта технология позволяет осуществить связь компьютер – компьютер, компьютер – телефон или телефон – телефон, используя при этом каналы IP-сети. Речевой сигнал по каналам

такой сети передается в цифровом виде, закодированном определенным образом. В IP-телефонии алгоритм преобразование сигнала в определенный код и обратно называется кодеком. Этот же термин применяется и к устройству, реализующему эти преобразования. Обычно выделяют 3 типа кодеков:

1. Кодеки с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ) и адаптивной дифференциальной импульсно-кодовой модуляцией (АДИКМ).
2. Кодеки с вокодерным преобразованием речевого сигнала.
3. Комбинированные (гибридные) кодеки.

Наилучшее качество обеспечивают кодеки первого типа, но при этом они наиболее требовательны к полосе канала, поэтому они применяются лишь в тех случаях, когда требуется обеспечить максимальное качество кодирования речевой информации при небольшом числе одновременных разговоров. Наиболее распространенными являются кодеки третьего типа, позволяющие обеспечить приемлемое качество звучания при достаточно высокой компрессии сигнала.

Большинство существующих кодеков используют дополнительно алгоритмы обнаружения и кодирования пауз. Эти алгоритмы основаны на анализе сигнала и выявлении различий между информационным фрагментом и паузой.

Анализ – одна из основных составляющих обработки сигналов, основной целью которой является сравнение сигналов друг с другом для определения сходства и различия между ними. В [4] выделяют три основные составляющие анализа сигналов:

- измерение числовых параметров сигналов: энергия, средняя мощность и среднеквадратическое значение;
- разложение сигнала на элементарные составляющие для их рассмотрения по отдельности либо для сравнения свойств различных сигналов с использованием рядов и интегральных преобразований (ряд Фурье, преобразование Фурье);
- количественное измерение степени "похожести" различных сигналов с применением аппарата корреляционного анализа.

Одним из основных способов анализа речевых сигналов является использование преобразования Фурье для дискретных значений [4 – 6].

В кодеках IP-телефонии часто используется анализ особенностей речевых сигналов, основанный на модели авторегрессии. Распределение спектральной плотности модели авторегрессии дает наглядное представление о местоположении максимумов при различных значениях частот для разных звуков. Модель авторегрессии широко используется различными кодеками в алгоритмах VAD для обнаружения активности речи, а также в алгоритмах синтеза речи. Это позволяет значительно снизить объемы передаваемой информации.

В современных системах IP-телефонии применяются алгоритмы синтеза речи, основанные на линейном предсказании [7, 8].

Цель статьи: оценка методов анализа и синтеза речевых сигналов, сравнение методов обнаружения пауз в IP-телефонии.

Алгоритмы анализа речевых сигналов и методы обнаружения пауз.

Согласно акустической теории речеобразования восприятие звуков определяется областями максимальной концентрации энергии – формантами.

Каждому звуку речи соответствует своя форма акустического речевого тракта с присущей ему структурой формант. Форманта характеризуется амплитудой и частотой для гласных – добротностью или шириной полосы пропускания B_i . Частоты формант изменяются в достаточно широких пределах как для звуков, произносимых различными дикторами, так и для звуков, произносимых одним и тем же диктором, но в различных звукосочетаниях. Однако, области, в которых располагаются соответствующие формантные частоты, более или менее одинаковы даже для различных языков.

Другой важной особенностью речевых сигналов является коррелированность его значений. На основе этой особенности возможно осуществление анализа сигнала на обнаружение пауз, а также синтез речевого сигнала по некоторому количеству отсчетов. Было проведено исследование синтеза речевого сигнала для различных длин окна анализа при изменении порядка модели от 1 до 30 с использованием метода линейного предсказания. Синтез проводился по p первым отсчетам и p коэффициентам предсказания. Суть метода заключается в том, что сигнал разбивается на окна одинаковой длины, затем для каждого окна рассчитывается p коэффициентов авторегрессии:

$$r(i) = \sum_{k=0}^{N-i} x(k)x(k+i), \quad (1)$$

где $i = 0, \dots, p$; p – порядок модели; N – длина окна анализа; x – анализируемый сигнал.

Для восстановления сигнала используются рассчитанные коэффициенты авторегрессии и первые p отсчетов:

$$x_c(i) = \sum_{k=1}^p a(k)x(i-k), \quad (2)$$

где $i = 1, 2, \dots, N$; p – порядок модели; N – длина окна анализа; x – анализируемый сигнал; a – коэффициенты предсказания, рассчитанные с использованием алгоритма Дурбина и коэффициентов авторегрессии r .

Использование этого метода позволяет уменьшить объем передаваемых данных, но при этом значительно влияет на качество звучания речи, добавляя "металлический оттенок". Качество звучания улучшается с увеличением порядка модели предсказания. При этом разборчивость хорошая даже при малых порядках модели.

Другим методом, используемым в кодеках IP-телефонии и основанном на автокорреляционном анализе, является метод определения активности речи VAD. Он основан на оценке значения усредненного автокорреляционного LPC-параметра A и сравнении со средними значениями автокорреляции сигнала r , вычисленными в текущем фрейме [7]:

$$Df_h = A_h(0)r_h(0) + 2\sum_{i=1}^p A_h(i) \frac{r_h(i)}{r_h(0)}, \quad (3)$$

где Df_h – средний спектр, вычисленный для h -го отрезка; $r_h(i)$ – коэффициенты автокорреляции h -го отрезка входного сигнала; $A_h(i)$ – коэффициенты автокорреляции средних LPC-параметров h -го отрезка; p – порядок модели.

На рис. 1 представлена структурная схема VAD с обработкой в частотной области.



Рис. Структурная схема VAD с обработкой в частотной области, применяемая в системах GSM и IP-телефонии

Для оценки качества работы этого алгоритма были проведены исследования работы алгоритма VAD для различных значений порядка модели p . Вероятность ошибки "ложная тревога" рассчитывалась по формуле:

$$P_{\text{л.т.}} = \frac{N_{\text{пр_пауз}}}{N_{\text{сигн}}}, \quad (4)$$

где $N_{\text{пр_пауз}}$ – количество отсчетов, принятых за паузу в заведомо известном полезном сигнале; $N_{\text{сигн}}$ – количество отсчетов в заведомо известном полезном сигнале.

Вероятность ошибки "пропуск цели" можно рассчитать как:

$$P_{\text{п.ц.}} = \frac{N_{\text{пр-сигн}}}{N_{\text{пауз}}}, \quad (5)$$

где $N_{\text{пр-сигн}}$ – количество отсчетов, принятых за полезный сигнал в заведомо известном фрагменте пауз; $N_{\text{пауз}}$ – количество отсчетов в заведомо известном фрагменте пауз.

В табл. 1 представлены результаты оценки вероятности принятия ошибочных решений при использовании алгоритма VAD для различных значений порядка модели. При этом за нулевую принималась гипотеза о наличии паузы. В этом случае $P_{\text{л.т.}}$ – вероятность ошибки "ложная тревога" (когда речевой сигнал принимается за паузу), а $P_{\text{п.ц.}}$ – вероятность ошибки "пропуск цели" (когда пауза принимается за речевой сигнал). Как видно, линейной зависимости значения вероятности принятия ошибочного решения от значения порядка модели нет. Обычно этот алгоритм используется совместно с алгоритмом линейного предсказания и значение порядка выбирается, основываясь на критерии Акаике для значений ошибки синтеза сигнала.

Таблица 1

Оценка вероятности принятия ошибочного решения при различных параметрах модели VAD

Параметры	$P_{\text{л.т.}}$	$P_{\text{п.ц.}}$
$p = 2$	0,006	0,014
$p = 3$	0,006	0,129
$p = 4$	0	0,257
$p = 5$	0	0,257
$p = 10$	0	0,357
$p = 15$	0	0,257
$p = 20$	0	0,171
$p = 25$	0	0,186
$p = 30$	0	0,229

Использование этого алгоритма позволяет значительно снизить объем передаваемых данных. Это связано с тем, что в диалоге до 60% пауз. Фрагменты сигнала, принятые за паузу, не передаются, передается только информация о начале и длительности (или конце) паузы.

Как видно, описанные методы не являются идеальными. Для обнаружения пауз в речевом сигнале можно использовать метод оценки, основанный на вариационном методе анализа речевых сигналов [9, 10]. Этот метод позволяет осуществить частотный анализ энергетических характеристик исследуемой функции. Полный набор долей энергии отрезка сигнала можно определить в этом случае следующим образом

$$P_r \approx P_{1r} = \| \mathbf{y}_{1r} \|^2 = \sum_{k=1}^{J_{r,r}} (y_{kr}^2)_1, \quad (6)$$

причем,

$$\mathbf{y}\mathbf{y} = (\mathbf{y}_{1r}^T, \dots, \mathbf{y}_{1R}^T)^T = \mathbf{A}\mathbf{A}\mathbf{x}, \quad (7)$$

где $\mathbf{A}\mathbf{A}$ – блочная матрица, состоящая из собственных значений собственных векторов субполосной матрицы A_r [9, 10]; \mathbf{x} – анализируемый отрезок;

$$A_r = \{ a_{ik}^r \},$$

$$a_{ik}^r = (\sin(v_{r+1}(i-r)) - \sin(v_r(i-k))) / (\pi(i-k)), \quad i, k = 1, 2, \dots, N. \quad (8)$$

Субполосная матрица является симметричной и неотрицательно определённой. Поэтому она обладает полной системой ортонормальных собственных векторов.

С использованием формулы (6) были проведены исследования всех звуков русского алфавита для 10 различных дикторов (5 мужчин, 5 женщин). Результаты исследований показали, что распределение долей энергии различно и зависит от самого звука, положения звука в слове, интонации и тембра голоса диктора. Выбор длины окна анализа порядка основан на стремлении минимизировать ошибку захвата других звуков. Изменение распределения энергии в зависимости от начала, середины или конца звука вызвано тем, что речевой аппарата человека не может перестраиваться мгновенно.

Распределение долей энергии по частотным интервалам может быть использовано для обнаружения пауз в речевом сигнале [9, 10]. Решающая функция для проверки гипотезы о том, что анализируемый отрезок сигнала соответствует паузе между звуковыми данными (нулевая гипотеза) имеет вид

$$S = \max(P_r / P_r^{\Pi}), \quad \forall r = 1, 2, \dots, R, \quad (9)$$

где в знаменателе стоят результаты предварительного усреднения по достаточно большому количеству отрезков сигнала, заведомо относящихся к паузам, долей энергий, попадающих в заданный частотный интервал [9, 10]:

$$P_r^{\Pi} = \sum_{k=1}^{N_y} (P_r)_k^{\Pi} / N_y. \quad (10)$$

Здесь N_y – количество отрезков сигнала в паузе, которые используются для усреднения, что соответствует оцениванию математических ожиданий вычисляемых долей энергий в соответствующих частотных интервалах.

Если выполняется неравенство

$$S > h_{\alpha}, \quad (11)$$

то нулевая гипотеза отвергается, иначе принимается решение о паузе [9, 10].

Символ h_α в правой части неравенства (11) означает порог, обеспечивающий заданный уровень вероятности ложной тревоги, то есть выполнение неравенства

$$P\{S > h_\alpha\} \leq \alpha \ll 1. \quad (12)$$

Значение порога можно получить из основанного на неравенстве Чебышева выражения

$$h_\alpha \leq \bar{S}_\Pi + D_\Pi / d\sqrt{\alpha}, \quad (13)$$

где \bar{S}_Π – результат оценки математического ожидания решающей функции, D_Π – результат оценки дисперсии решающей функции [9, 10].

В табл. 2 представлены результаты оценки вероятности принятия ошибочного решения при использовании различных параметров модели, основанной на предложенном методе. При этом за нулевую принималась гипотеза о наличии паузы. В этом случае $P_{л.т.}$ – вероятность ошибки "ложная тревога" (когда речевой сигнал принимается за паузу), а $P_{п.ц.}$ – вероятность ошибки "пропуск цели" (когда пауза принимается за речевой сигнал). Как видно, значение вероятности принятия ошибочного решения невелико и значительно меньше, чем при использовании алгоритма VAD.

Таблица 2

Оценка вероятности принятия ошибочного решения при различных параметрах модели, основанной на новом методе

Параметры	$P_{л.т.}$	$P_{п.ц.}$
$N = 64, R = 16$	0	0
$N = 64, R = 32$	0	0
$N = 128, R = 16$	0	0
$N = 128, R = 32$	0	0,028
$N = 128, R = 64$	0	0,057

Выводы. Результаты исследования влияния порядка модели на величину вероятности ошибочного принятия решения в алгоритме VAD не выявило линейной зависимости между этими параметрами. Величина погрешности между синтезированным и исходным сигналом при реализации алгоритма линейного предсказания обратно пропорциональна значению порядка модели авторегрессии. Важно отметить, что чем выше порядок модели, тем выше качество звучания синтезированного сигнала, но разборчивость сохраняется даже при малых значениях порядка модели. Исследования на базе вариационного анализа позволили сравнить распределение долей энергии по частотным интервалам для всех звуков русской речи для различных дикторов. Исследования показали, что все звуки имеют свое особенное распределение, но при этом можно выделить некоторую схожесть для одного и того же звука разных дикторов. Выбор малой длительности окна анализа позволил выявить различие распределения энергии одного звука для начального, среднего и

последнего фрагментов. Это вызвано тем, что речевой аппарат человека не может мгновенно перестроиться и захватывает соседние звуки. Сравнение результатов оценки вероятностей принятия ошибочного решения при различных параметрах алгоритма, использующего вариационный метод анализа, с алгоритмом VAD показало, что новый алгоритм имеет меньшую вероятность принятия ошибочного решения. Таким образом, можно сказать, что использование нового метода обнаружения пауз позволит сократить вероятность принятия ошибочного решения, а значит, точнее определять паузы в речевых данных.

Список литературы: 1. Росляков А.В. IP-телефония / А.В. Росляков, М.Ю. Самсонов, И.В. Шибаева. – М.: Радио и связь, 2003. – 252 с. 2. Гольдштейн Б.С. IP-телефония / Б.С. Гольдштейн, А.В. Пинчук, А.Л. Суховицкий. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 336 с. 3. Варламова Е. IP-телефония в России / Е. Варламова // Connect! Мир связи, 1999. – № 9. 4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2003. – 604 с. 5. Назаров М.В. Методы цифровой обработки и передачи речевых сигналов / М.В. Назаров, Ю.Н. Прохоров. – М.: Радио и связь, 1985. – 176 с. 6. Гольденберг Л.М. Цифровая обработка сигналов. / Л.М. Гольденберг. – М.: Радио и связь, 1985. – 312 с. 7. Шелухин О.И. Цифровая обработка и передача речи / О.И. Шелухин, Н.Ф. Лукьянцев; под ред. О.И. Шелухина. – М.: Радио и связь, 2000. – 456 с. 8. Рабинер Л.Р. Цифровая обработка речевых сигналов / Л.Р. Рабинер, Р.В. Шафер; под ред. М.В. Назарова, Ю.Н. Прохорова. – М.: Радио и связь, 1981. – 495 с. 9. Жилияков Е.Г. Методы обработки речевых данных в информационно-телекоммуникационных системах на основе частотных представлений / Е.Г. Жилияков, С.П. Белов, Е.И. Прохоренко. – Белгород: БелГУ, 2007. – 136 с. 10. Белов С.П. Об уменьшении объема трафика при пакетной передаче речевых сообщений за счет кодирования пауз / С.П. Белов, Е.И. Прохоренко // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Информатика и прикладная математика. – Белгород, 2006. – № 1 (21). – Вып. 2. – С. 141–148.

УДК 621.391

Про аналіз і синтез мовних сигналів в IP-телефонії / Жилияков Є.Г., Фірсова А.А. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 43. – С. 84 – 91.

Розглянуті методи аналізу і синтезу мовних сигналів. Досліджені особливості розподілу енергії звуків російської мови, відповідних різним дикторам. Проведено дослідження залежності якості звучання синтезованого сигналу від порядку моделі лінійного прогнозу. Розглянуті існуючі методи виявлення і кодування пауз в IP-телефонії. Іл.: 1. Табл. 2. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: мовний сигнал, синтез мовного сигналу, розподіл енергії звуків російської мови, лінійний прогноз, виявлення і кодування пауз, IP-телефонія.

UDK 621.391

About an analysis and synthesis of vocal signals in IP-telephony / Zhilyakov E.G., Firsova A.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 43. – P. 84 – 91.

The methods of analysis and synthesis of vocal signals are considered. The features of distributing of energy of sounds of Russian speech, proper different announcers are probed. Researches of dependence of quality of sounding of the synthesized signal are conducted from the order of model of linear prediction. The existent methods of discovery and encoding of pauses are considered in IP-telephony. Figs: 1. Tabl.: 2. Refs: 10 titles.

Keywords: vocal signal, synthesis of vocal signal, distributing of energy of sounds of Russian speech, linear prediction, discovery and encoding of pauses, IP-telephony.

Поступила в редакцию 20.10.2009.

Ю.П. КОНДРАТЕНКО, д-р техн. наук., проф. ЧДУ им. П. Могилы (г. Николаев),

А.В. КОРОБКО, бакалавр НУК им. адм. Макарова (г. Николаев),

Г.В. КОНДРАТЕНКО, канд. техн. наук, доц. НУК им. адм. Макарова (г. Николаев),

Э.А. ШВЕЦ, канд. техн. наук, доц. НУК им. адм. Макарова (г. Николаев)

СИНТЕЗ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ТЕРМОМЕТРИРОВАНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ЗАДАЧ ДИАГНОСТИКИ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Рассмотрена процедура синтеза компьютерной системы технической диагностики для модернизации судового дизельного двигателя 6NVD26-2. Описана распределенная система термометрирования двигателя с использованием программируемого логического контроллера ICP DAS μ PAC 7186EX-SM. Приведена реализация человеко-машинного интерфейса на основе SCADA-системы TRACE MODE 6. Ил.: 3. Табл.: 2. Библиогр.: 12 назв.

Ключевые слова: человеко-машинный интерфейс, судовый дизельный двигатель, SCADA-система, программируемый логический контроллер, система технической диагностики.

Постановка проблемы. Большое количество судов речного флота Украины, России и других стран СНГ оснащены двигателями внутреннего сгорания (ДВС) типа 6NVD26-2. Ресурс данных двигателей в большинстве случаев практически выработан, а работоспособность судовых энергетических установок поддерживается на требуемом уровне за счет осуществления частых внеплановых мероприятий по техническому обслуживанию.

Приборы контроля и диагностики, используемые на морских и речных судах, соответствуют требованиям классификационных организаций и производителей энергетического оборудования на момент постройки судна и, как правило, реализованы с использованием соответствующих технологий.

Контрольно-измерительное оборудование, включая компьютерные информационно-измерительные компоненты, быстро устаревает, учитывая довольно долгий срок эксплуатации судов. Современные информационные технологии предоставляют возможность существенно повысить качество контроля работы оборудования, обеспечить более высокий уровень надежности, улучшить условия работы судовой команды за счет модернизации судовых информационных систем, что не требует больших материальных и производственных затрат по сравнению с заменой энергетического оборудования.

Внедрение компьютерных систем и новых вычислительных технологий в сферу диагностики двигателей, в частности, для решения задач автоматизации распределенного термометрирования, позволит повысить эффективность обнаружения аномальных показателей и сбоев в процессе работы двигателей,

что предотвратит появление серьезных аварийных ситуаций путем устранения их причин на ранних стадиях возникновения.

Наиболее целесообразным для повышения надежности эксплуатации энергетических установок представляется сопряжение систем диагностики двигателей с современными компьютерными SCADA-системами (Supervisory Control And Data Acquisition). Развитие данного подхода позволит осуществлять автоматический контроль эксплуатационных показателей двигателей, а также создать простой, интуитивно-понятный, функциональный интерфейс, что приведет к существенному снижению риска возникновения аварийных ситуаций, вызванных наличием "человеческого фактора".

Анализ литературы. Разрабатываемые ведущими фирмами системы диагностики судовых дизельных двигателей обеспечивают комплексный мониторинг большинства эксплуатационных показателей. При этом человеко-машинный интерфейс позволяет оператору в удобной для него форме производить удаленный контроль процесса работы ДВС [1]. Разработка подобных систем осуществляется по заказу ведущих производителей энергетических установок, а их установка позволяет существенно увеличить рабочий ресурс двигателя [2, 3]. Вместе с тем, данные технические решения редко применяются для модернизации старых изношенных двигателей из-за их высокой стоимости.

Локальные системы диагностики [4, 5] позволяют проводить контроль важнейших рабочих показателей. Индикация полученных данных приборами непосредственно возле ДВС позволяет избежать затрат на разработку операторского интерфейса удаленной консоли управления. Однако данный подход требует непрерывного пребывания человека непосредственно вблизи двигателя для сбора информации.

Система удаленного мониторинга эксплуатационных показателей ДВС на базе SCADA-систем [6] позволяет обойтись без программной разработки интерфейса, в то же время обеспечивая широкие возможности для создания человеко-машинного интерфейса.

Использование SCADA-систем для решения задач автоматизированного термометрирования ДВС предоставляет большой выбор средств автоматизации, что свидетельствует о гибкости подобных систем, а также о возможности их последующей модернизации и реконфигурирования без существенных изменений программной базы.

Целью статьи является синтез структуры, алгоритмов, программного обеспечения (ПО) и человеко-машинного интерфейса автоматизированной системы распределенного термометрирования для диагностики судового дизельного двигателя, а также анализ возможностей обмена информацией между контроллерами и SCADA-системами через структурированную базу данных.

Актуальность применения SCADA-систем для создания систем мониторинга и комплексного контроля технологических процессов. В последнее время проводится широкий спектр научных исследований по изучению причин различных технологических повреждений и аварийных ситуаций на промышленных объектах и морских судах [7]. Выявлено [8], что за последние годы главной причиной большей части аварий является человеческий фактор. Это связано с постоянным усложнением аппаратной части автоматизированных систем, что, с одной стороны, приводит к расширению функциональных возможностей и повышению надежности вычислительных комплексов и устройств сбора данных, а, с другой стороны, повышает требования к уровню квалификации человека-оператора, к эргономичности и простоте восприятия информации предоставляемого человека-машинного интерфейса (для снижения уровня утомляемости человека-оператора).

Снижение уровня аварийности при эксплуатации сложных морских и промышленных комплексов тесно связано с созданием высокоэффективных систем технической диагностики различных технологических объектов. В свою очередь, SCADA-системы, ориентированные на создание комплексных решений автоматизации сложных производственных процессов, предоставляют гибкие средства для разработки человека-машинного интерфейса.

Сбор данных и диспетчерское управление является основным и остается наиболее перспективным способом автоматизированного управления сложными динамическими системами (процессами) в жизненно важных и критичных (с точки зрения надежности и безопасности) ситуациях. В настоящее время наблюдается настоящий подъем по внедрению SCADA-систем и модернизации существующих автоматизированных систем управления в различных отраслях экономики и промышленности [9]. При этом в индустриальной сфере (в обрабатывающей и добывающей промышленности [10], энергетике и др.) повышение уровня автоматизации существующих производств осуществляется на основе использования SCADA-систем нового поколения.

Широкое внедрение SCADA-систем связано с большим разнообразием их основных функций [6 – 8]: сбор данных о технологическом процессе и обработка информации; обмен данными с УСО (устройства связи с объектом); отображение информации на экране монитора в определенном НМИ-интерфейсе (Human Machine Interface); подготовка и генерирование отчетов о стадиях технологического процесса; обеспечение связи с внешними приложениями (электронные таблицы, текстовые процессоры и т. д.).

Рассмотрим более детально методологию синтеза структуры автоматизированной системы распределенного термометрирования для диагностики судового дизельного двигателя научно-исследовательского судна

"Дельта" Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова.

Структура системы диагностики. Использование существующей на судне системы мониторинга температурных показателей двигателя 6NVD26-2 (на основе аналогового измерительного комплекса МКД-50М) требует непрерывного участия человека-оператора при проведении наблюдений, а также значительно усложняет процесс сбора статистической информации о рабочих процессах двигателя. Повышение уровня комфорта человека-оператора, а также степени эффективности сбора текущей и статистической информации при эксплуатации ДВС возможно путем внедрения компьютеризированных систем технической диагностики, синтезированных на основе использования современных контроллеров и SCADA-систем.

В общем случае систему автоматизированного термометрирования и контроля можно условно разделить на три составляющие:

- информационно-измерительный блок, включающий в себя набор термопар для измерения температур отходящих газов всех цилиндров, а также температуры выхлопных газов в выпускном коллекторе двигателя;

- блок автоматического контроля на основе ПЛК, осуществляющий сбор информации с измерительного уровня, ее микропроцессорную обработку и автоматический контроль. В случае превышения допустимых параметров контроллер ПЛК оповещает оператора звуковым сигналом. Контроллер при этом может работать как в автономном автоматическом режиме, так и с осуществлением передачи информации на ПК;

- блок обработки информации, организованный на базе ПК и включающий в себя программу для сбора информации с ПЛК и ее последующего сохранения в базе данных (БД) системы распределенного термометрирования, а также человеко-машинный интерфейс, реализованный в базовой версии SCADA-системы TRACE MODE 6.

Особенности реализации блока автоматического контроля. Основной исполнительный модуль системы диагностики ДВС реализован на базе ПЛК μ PAC 7186EX-SM. Данный контроллер работает на частоте 80 МГц и имеет интерфейсы RS232, RS485, Ethernet для сопряжения с внешними устройствами и модулями расширения. Краткая спецификация [11] используемого ПЛК приведена в табл. 1.

Назначение входов контроллера определяется установленным в нем мезонинным модулем. Для реализации задачи распределенного термометрирования используется плата X305 [12]. Характеристики данной платы расширения приведены в табл. 2.

Главной задачей автоматизированной системы распределенного термометрирования является контроль температурных показателей двигателя, поскольку измерение температуры отходящих газов по каждому из цилиндров двигателя, а также температуры газов в выпускном коллекторе позволяет

осуществлять анализ правильности функционирования двигателя, оценку теплонапряженности, а также предотвращать возникновение аварийных ситуаций.

Таблица 1

Спецификации ПЛК μ PAC 7186EX-SM

Тип процессора		80186-совместимый
Максимальная частота процессора		80 МГц
Оперативная память	Максимальный объем	512 кб
Энергонезависимая память	Максимальный объем	16 кб
	Тип	EEPROM
Электронный диск	Установлено	512 кб
	Тип	Flash
Часы реального времени		Да
Сторожевой таймер		1.6 с
Напряжение питания		+10...+30 В
Потребляемая мощность		1.5 Вт
Время наработки на отказ		60000 ч

Таблица 2

Спецификации мезонинного модуля X305

Каналов аналогового ввода	Всего	7
	С общим проводом	7
Диапазоны входного сигнала	По напряжению	-5...+5 В
АЦП	Разрядность	12 бит
	Частота выборки	1.8 кГц
Каналов аналогового вывода		1
ЦАП	Разрядность	12 бит
	Скорость вывода данных	1.3 кГц
Диапазоны выходного сигнала	По напряжению	-5...+5 В
Нагрузочная способность		5 мА
Каналов дискретного ввода		2
Входное напряжение	Логический 0	0...1 В
	Логическая 1	3.5...30 В
Каналов дискретного вывода	Всего	2
	Открытый коллектор	2
Выходной ток	Логический 0	100 мА
Коммутируемое напряжение	Постоянное	30 В
Потребляемая мощность		0.9 Вт

Анализ работы 6-ти цилиндрического двигателя 6NVD26-2 производится по следующим показателям:

– превышение допустимого интервала температур отходящих газов цилиндров $T_i \pm \Delta T_{\text{доп}}$ ($i = 1, \dots, 6$) при заданных оборотах двигателя $n_{\text{зад}}$ в соответствии со статической характеристикой $T = f(n)$;

– превышение величины разброса $\Delta T_{\text{разб}}$ температурных показателей цилиндров $|T_i - T_j|$ ($i = 1, 2, \dots, 6; j = 1, 2, \dots, 6; i \neq j$);

– контроль значения скорости изменения $\Delta T_{\text{кол}} / \Delta t$ температуры выхлопных газов $T_{\text{кол}}$ в выпускном коллекторе.

В случае несоответствия любому из условий контроллер сигнализирует оператору о нарушении нормального режима функционирования энергетической установки. Обобщенный алгоритм работы блока контроля приведен на рис. 1.

Архивирование данных для последующей обработки. Для поддержания контроля работоспособности двигателя необходимо не только осуществлять контроль эксплуатационных показателей во время работы двигателя, но и проводить анализ полученных данных после завершения его работы. В условиях судового плавания человек-оператор периодически заносит результаты наблюдений в соответствующий журнал. Для повышения уровня автоматизации системы диагностики ДВС целесообразно обеспечить автоматическое сохранение считанных контроллером данных для последующего анализа.

Разработано программное обеспечение для архивации эксплуатационных показателей.

Реализация человеко-машинного интерфейса системы диагностики ДВС. Реализованная при помощи инструментов, которые предоставляет базовая версия SCADA-системы TRACE MODE 6, панель управления человека-оператора обеспечивает наглядное отображение эксплуатационных показателей двигателя на ПК. Экран монитора реального времени (рис. 2) позволяет производить наблюдения за температурой всех цилиндров одновременно. Цветовая дифференциация температурных интервалов работы двигателя облегчает работу человека-оператора, автоматически показывая, входит ли рабочая температура в опасную зону.

Для наблюдения динамических изменений эксплуатационных показателей предусмотрена дополнительная графическая панель, которая отображает тренды каждого из сигналов термопар. Связь SCADA-системы с ПЛК осуществляется через базу данных и разработанное программное обеспечение, что не снижает производительности системы, т.к. все управляющие функции возложены на контроллер, а SCADA выполняет лишь отображение поточных данных в комфортной для человека-оператора форме.

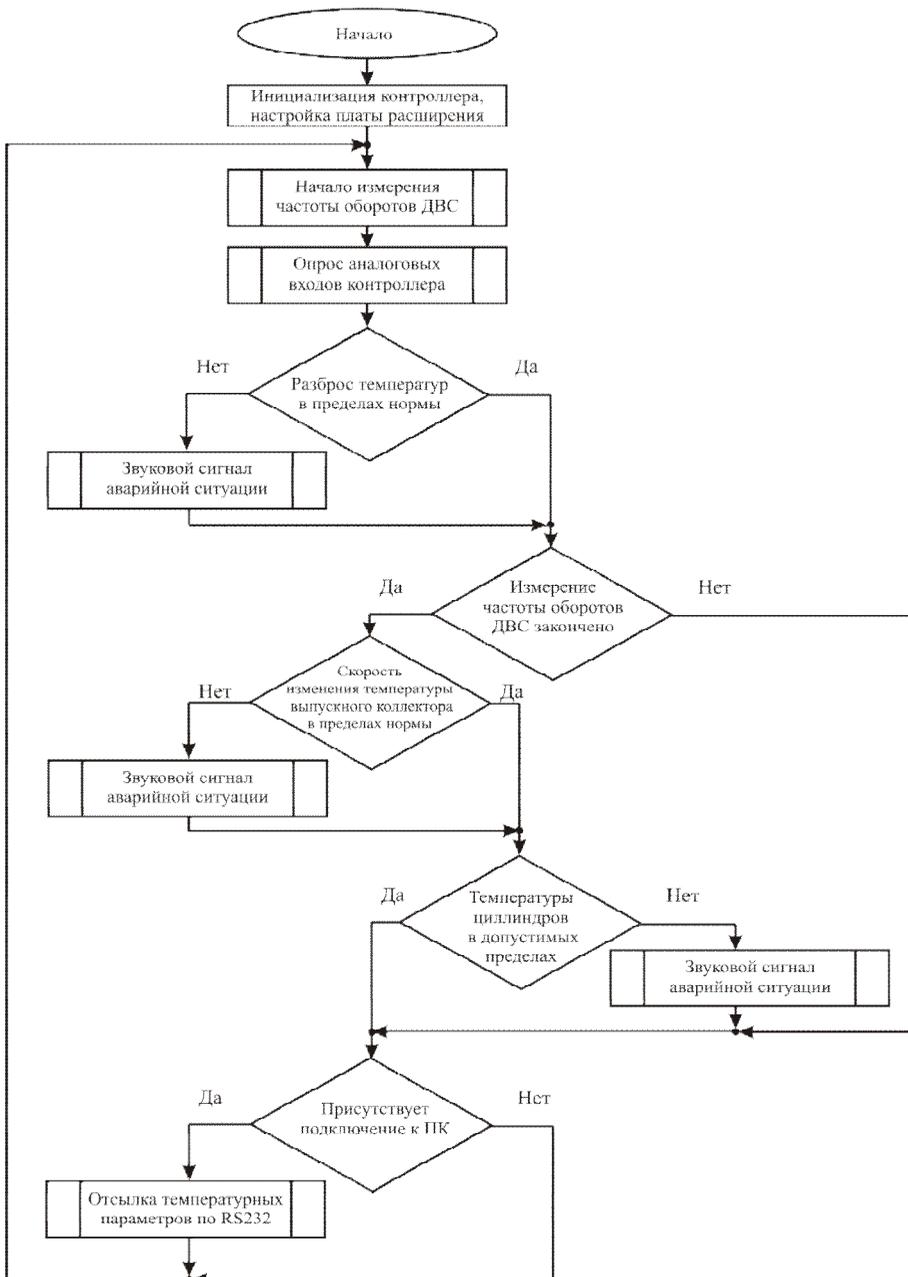


Рис. 1. Обобщенный алгоритм контроля эксплуатационных показателей двигателя

Основная сложность при реализации данного подхода состоит в обеспечении синхронности считывания/записи данных между монитором реального времени SCADA-системы и программой эксплуатационных показателей ДВС, что связано с иллюзорностью реального времени операционной системы Windows. В интерактивных режимах работы выполнение процесса монитора реального времени системы диагностики постоянно прерывается системными процессами большего приоритета, а также аппаратными прерываниями (движение мыши, нажатие клавиш на клавиатуре). Соответственно невозможно точно определять время рабочего цикла панели управления.

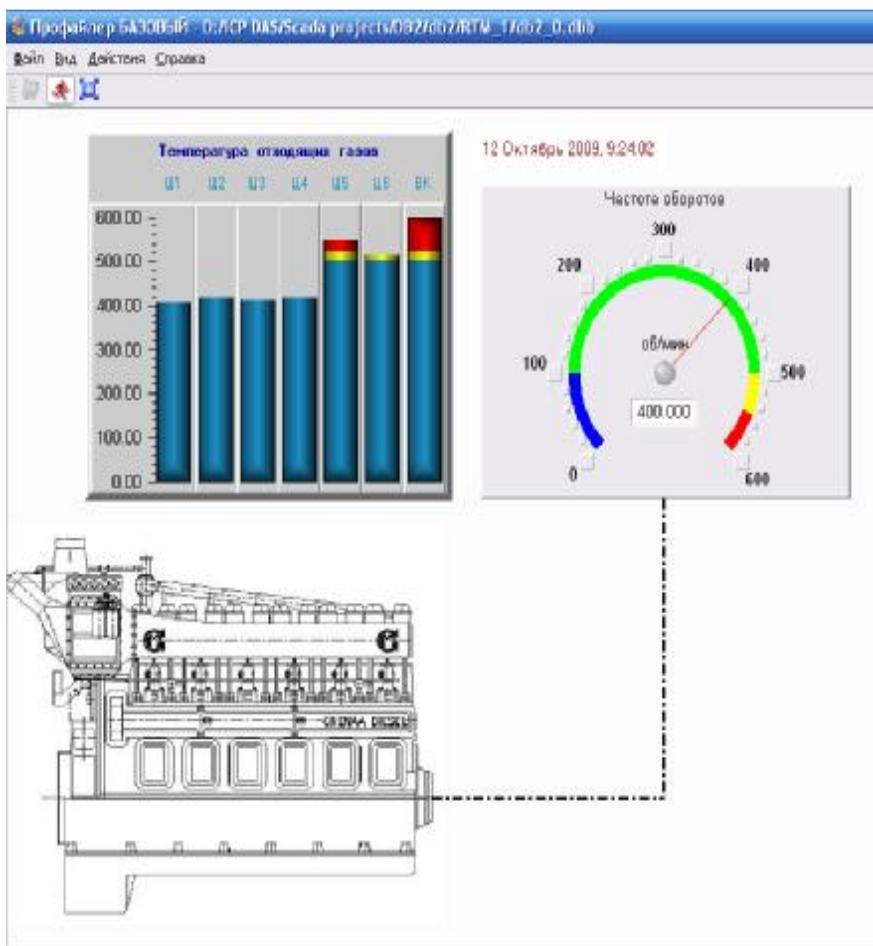


Рис. 2. Главный экран панели управления системы диагностики

На рис. 3 приведена кривая изменения величины времени рабочего цикла на каждом такте пересчета программы. Для выполнения SCADA-системой SQL-запроса SELECT из таблицы «Archive» необходимо указывать номер строки таблицы. Поскольку величина рабочего цикла программы постоянно меняется, то достаточно сложно точно определить временной интервал, через который изменится номер считываемой SCADA-системой строки БД.

Для обеспечения надежного вывода на экран панели управления текущих информационных показателей в БД системы введена дополнительная таблица, которая имеет одну строку и в которой обновление данных происходит выполнением SQL-запроса UPDATE программой архиватором. При этом не требуется изменение SCADA-системой номера считываемой строки.

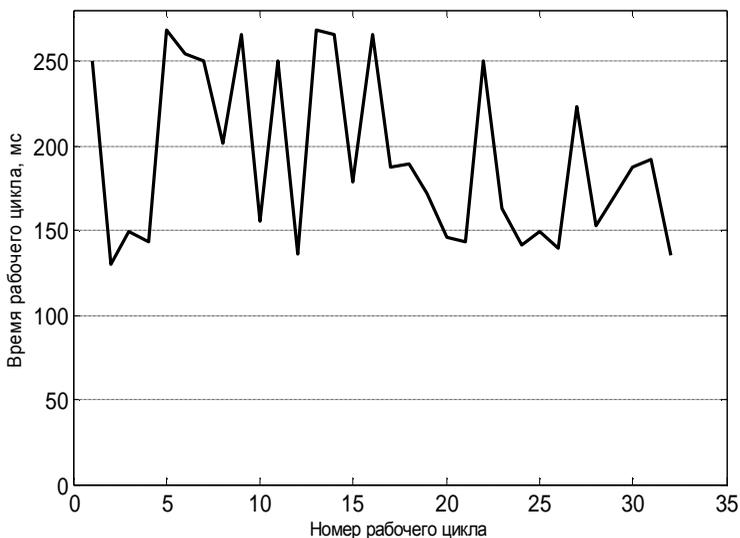


Рис. 3. Величина времени рабочего цикла панели управления

Выводы. Синтезированная автоматизированная система распределенного термометрирования обеспечивает повышение эффективности контроля эксплуатационных показателей судового дизельного двигателя. Возложенные на ПЛК функции контроля термометрических параметров работы двигателя позволяют предотвратить возникновение аварийных ситуаций посредством своевременного устранения причин их возможного появления. Архивация измеренных параметров ДВС в БД позволяет сохранять все данные для последующего анализа. Предоставляемые SCADA-системой TRACE MODE 6 инструменты разработки HMI позволили создать человеко-машинный интерфейс, который обеспечивает передачу информации о текущем состоянии объекта человеку-оператору. В дальнейшем целесообразно проанализировать способы информационного обмена данными между компонентами системы

через Ethernet по протоколу TCP/IP, а также исследовать возможность непосредственной коммуникации между контроллером и SCADA-системой по протоколу MODBUS TCP.

Список литературы: 1. Neate R.J. SIPWA – A Shipowner’s Point of View / R.J. Neate, S. Barrow // New Sulzer Diesel, December 1990. – 7 с. 2. Сыромятников В.Ф. Наладка автоматики судовых энергетических установок / В.Ф. Сыромятников. – Л.: Судостроение, 1989. – 352 с. 3. Автоматизированные системы управления судовыми дизельными и газотурбинными установками / В.И. Ланчуковский, А.В. Козьминых. – М.: Транспорт, 1990. – 335 с. 4. Шишкин В.А. Анализ неисправностей и предотвращение повреждений судовых дизелей / В.А. Шишкин. – М.: Транспорт, 1986. – 192 с. 5. Камкин С.В. Эксплуатация судовых дизелей: Учебник для вузов / С.В. Камкин, И.В. Возницкий, В.П. Шмелев. – М.: Транспорт, 1990. – 344 с. 6. Пидопригора Д. TRACE MODE идет в сеть / Д. Пидопригора // Мир автоматизации. – 2007. – № 5. – С. 22–24. 7. Бадло С.Г. TRACE MODE в металлургии / С.Г. Бадло // Мир автоматизации. – 2007. – № 5. – С. 68–70. 8. Кондратенко Ю.П. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений при управлении судами в экстремальных условиях / Ю.П. Кондратенко // Судостроение. Международный журнал. – 2004. – № 3. – С. 21. 9. Перцовский М.И. Системы промышленной и лабораторной автоматизации: методы и средства построения. / М.И. Перцовский // Мир компьютерной автоматизации. – 2000. – № 4. – [Электронный ресурс] – Режим доступа к журн.: <http://www.mka.ru/?p=40002>. 10. Цвіркун Л.І. Прогресивні інформаційні технології в системах контролю кар’єрного транспорту / Л.І. Цвіркун, Р.В. Липовий // 16 міжнародна конференція з автоматичного управління "Автоматика – 2009". Тези доповідей. – Чернівці, 2009. – С. 394–396. 11. Спецификация контроллера μPAC 7186EX-SM [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ipc2u.ru/catalog/N/NU/52124.html?forprint>. 12. Спецификация мезонинного модуля X305 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ipc2u.ru/catalog/N/NX/16352.html>.

УДК 681.518.5

Синтез комп’ютерної системи розподіленого термометрування для автоматизації завдань діагностики теплових двигунів / Кондратенко Ю.П., Коробко О.В., Кондратенко Г.В., Швець Е.А. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 43. – С. 92 – 101.

Розглянуто підхід модернізації системи діагностики судового дизельного двигуна. Обґрунтовано необхідність впровадження сучасних засобів обробки інформації для підвищення надійності експлуатації ДВЗ. Описана розподілена система термометрії двигуна на основі програмованого логічного контролера. Наведена реалізація людино-машинного інтерфейсу з використанням SCADA-системи. Іл.: 3. Табл.: 2. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: людино-машинний інтерфейс, судовий дизельний двигун, SCADA-система, програмований логічний контролер, система технічної діагностики.

UDC 681.518.5

Synthesis of distributed computer automate diagnostic system of heat engines thermometry / Kondratenko Y.P., Korobko O.V., Kondratenko G.V., Shvets E.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 43. – P. 92 – 101.

The approach for modernization of the diagnostic systems of marine diesel engines is considered in the paper. The necessity of modern information processing tools installation for improving of the reliability of engines is given. Described structure of distributed engines thermometry system based on programmable logic controller. The realization of human-machine interface based on SCADA-system is shown. Figs: 3. Tables: 2. Refs: 12 titles.

Key words: human-machine interface, naval diesel, SCADA-system, programmable logic controller, technical diagnostic system.

Поступила в редакцію 09.10.2009

Е.И. КУЧЕРЕНКО, д-р техн. наук, проф. ХНУРЭ, (г. Харьков),
И.С. ГЛУШЕНКОВА, ст. преп. ХНАГХ, (г. Харьков)

О МЕТОДАХ, МОДЕЛЯХ И КРИТЕРИЯХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Обоснована необходимость оценки состояния земель населенных пунктов с использованием ГИС-технологий. Рассмотрены классы существующих моделей, ориентированных на пространственный анализ в области управления земельными ресурсами. Критерии анализа непротиворечивости представлены нечетким пространством состояний моделей. Определены перспективы дальнейших исследований. Ил.: 1. Библиогр.: 22 назв.

Ключевые слова: оценка состояния земель, ГИС-технологии, модели, критерии анализа.

Введение. Важным значением в условиях развивающейся экономики, к которой относится в настоящее время и экономика Украины, обладают критерии оценки состояния земель государства. И если состоянию земель сельскохозяйственных и сельских территорий уделяется большое значение, уже существуют и разрабатываются новые алгоритмы и методы анализа состояния этих территорий [1, 2], то с исследованием состояния земель населенных пунктов дело обстоит значительно хуже.

Ввиду ограниченности земельных ресурсов как в мировом масштабе, так и на локальном уровне определенного населенного пункта, требуется комплексное обоснование принятия решений, при котором не только рассмотрено взаимодействие всех факторов и отобраны самые значимые варианты с использованием системного подхода, но и прослежено в динамике развитие ситуации каждого из вариантов решения. Форрестер, используя системную динамику для моделирования предприятия, города, мира, пришел к заключению, что самые интересные, имеющие перспективу результаты показывают модели на 30 – 50 лет [3].

Существующая мера ценности земель в населенных пунктах – денежная оценка – определяет стоимость земельного участка по двум основным критериям: месторасположению и доходности [4]. При этом назначение коэффициентов влияния локальных факторов [5] производится без учета их целевого назначения и уровня влияния этих факторов, не рассматривается внешнее воздействие на состояние земельного участка. Таким образом, "цена земли является обобщенным показателем состояния городской территории, косвенно учитывающим локальные показатели" [6].

Однако такой подход не учитывает состояние земельного участка как набора присущих ему качеств, характеристик, свойств, постоянно изменяющихся в результате непосредственного воздействия на земельный участок и опосредованного влияния окружающей среды, и, следовательно, не может считаться многокритериальным или системным.

Существует мнение, что для значительного повышения уровня землеустроительного моделирования и методов оптимизации принимаемых решений, целесообразнее применять объектный анализ [7].

На современном этапе развития общества в управлении земельными ресурсами на всех уровнях все шире используются геоинформационные технологии (ГИС-технологии). Это вызвано, с одной стороны, разнообразием и сложностью данных в ГИС, с другой – возможностью решения большого числа аналитических задач с пространственно-распределенными данными при использовании ГИС [8]. Одновременно с этим большинство проблем и задач в ГИС слабо структурировано и слабо формализовано [9], что часто вызывает значительные трудности.

Целью данной работы является повышение достоверности принимаемых решений при оценке территории в условиях неопределенности. Эта цель может быть достигнута на основе разработки моделей, методов и алгоритмов анализа и решения прикладных задач.

Данная работа выполняется в соответствии с планом научно-исследовательских работ Харьковской национальной академии городского хозяйства в рамках госбюджетной темы "Разработка теоретических основ моделирования динамики развития городских систем с использованием ГИС-технологий и методов дистанционного зондирования земли" (№ ГР 0108U006506).

Постановка задачи исследования. Отмечая, что земельный участок является учетной единицей государственного земельного кадастра, объектом права собственности [10], объектом налогообложения [11], объектом землеустройства [12] и нижним иерархическим уровнем управления земельными ресурсами, есть смысл рассматривать состояние именно этой элементарной части территории.

Рассмотрим земельный участок как систему, состоящую из компонентов $\{Q_i\}$, $i \in I$, где I – множество индексов компонент системы.

Состояние земельного участка можно представить как результат взаимодействия процессов между компонентами системы и их взаимодействия с внешней средой. Остановимся на процессах, происходящих внутри системы.

Компоненты системы взаимодействуют на основе множества процессов $\{Pr_j\}$, $j \in J$, где J – множество индексов процессов.

Процессы часто являются неопределенными и противоречивыми.

Ввиду важности для земельного участка пространственных характеристик [13], изменяющихся во времени, выполнять системный анализ его состояния целесообразно с использованием ГИС-технологий [9]. ГИС-технологии позволяют выполнять пространственную и временную привязку объектов, решать распределенные задачи. Из всего множества процессов, происходящих в системе, средствами ГИС-технологий можно представить

$$\{Pr^{(G15)}\} \subseteq \{Pr_j\}. \quad (1)$$

Процессы (1) могут быть представлены детерминированными, вероятностными и нечеткими моделями. Тогда модель процессов имеет вид

$$S = \{Pr^{(G15)}(D)\} \cup \{Pr^{(G15)}(P)\} \cup \{Pr^{(G15)}(F)\}, \quad (2)$$

где D – множество детерминированных моделей; P – множество вероятностных моделей; F – множество нечетких моделей.

Из множества процессов некоторые будут доминировать и являться определяющими в смысле (2). Для них необходимо:

- разработать подходы к построению моделей принятия решений;
- определить критерии адекватности процессов принятия решений;
- выделить доминирующие факторы, определяющие степень ранжирования процессов (1);
- разработать методы и алгоритмы решения прикладных задач оценки состояния территории;
- разработать структуру инструментальных программных средств оценки состояния территории;
- решить комплекс научно-технических и проектных разработок, подтверждающих эффективность принимаемых решений.

Подходы к анализу и разработке моделей принятия решений.

Сущность математического моделирования состоит в замене исходного объекта его образом – математической моделью – и в дальнейшем изучении модели с помощью реализуемых на компьютерах вычислительно-логических алгоритмов [14]. Работа не с самим объектом, а с его моделью дает возможность безболезненно, относительно быстро и без существенных затрат исследовать его свойства и поведение в любых ситуациях. В то же время такие эксперименты позволяют подробно и глубоко изучать объекты в достаточной полноте. Поэтому методология математического моделирования продолжает интенсивно развиваться, охватывая все больше сфер – от разработки технических систем и управления ими до анализа сложнейших экономических и социальных процессов.

Исследования показали, что классификация математических моделей взаимодействия процессов в смысле (2) может быть представлена в следующем виде (рис.).

Детерминированные D -модели при решении поставленных задач обычно включают предикатные сети Петри [15] и сети Петри с расширениями [16]. Однако, детерминированные модели носят ограниченный характер в связи с их функциональным и структурным несовершенством.

Вероятностные P -модели охватывают, обычно, более широкий класс объектов и процессов. Для вероятностных P -моделей характерными и наиболее изученными являются технологии Graphical Evaluation and Review Technique (ГЕРТ-технологии). Однако требования учета функции

распределения на временных интервалах в таких моделях не всегда позволяет адекватно отображать объекты и процессы [17].

Нечеткие F -модели отображают широкий класс относительно слабо изученных объектов и процессов. Характерными для таких моделей являются правила типа "если, то" и нечеткие сети Петри [18, 19]. Относительно малая исследовательская база таких объектов и процессов требует дополнительных исследований, что является перспективным.

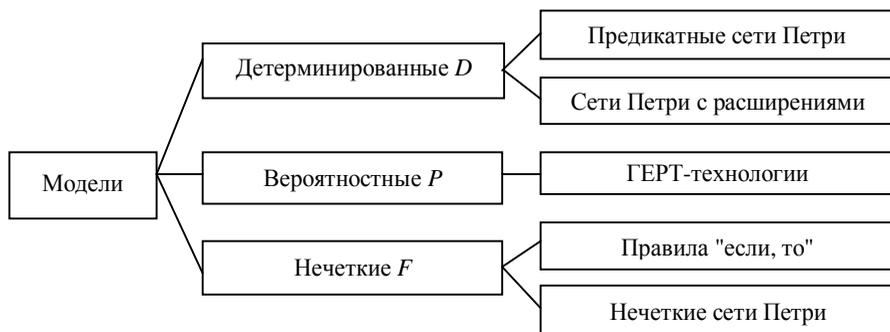


Рис. Классификация моделей

Рассмотренные модели (рис.) адекватно отображают объекты и процессы обычно только в случае, если они позволяют выполнять содержательный целенаправленный анализ предметных областей при множестве критериев и ограничений.

Определение критериев адекватности процессов принятия решений.

Содержательный анализ предметной области и постановки задачи показали, что значимыми факторами адекватности процессов принятия решений служат: полнота, непротиворечивость, отсутствие бесполезных заикливающих, отсутствие конфликтов, достижимость цели и т.п., которые достаточно подробно рассмотрены в работах [18, 20].

Сформулируем одно из важных понятий для рассматриваемого класса задач принятия решений – понятие непротиворечивости.

Определение 1. Если существует множество ожидаемых решений $\{Pr\}^w$ и множество фактических решений $\{Pr\}^f$, то процессы непротиворечивы, если справедливо

$$d(\{Pr\}^w, \{Pr\}^f) \leq \varepsilon \quad (3)$$

и противоречивы, если

$$d(\{Pr\}^w, \{Pr\}^f) > \varepsilon, \quad (4)$$

где $d(\cdot, \cdot)$ – нечеткое расстояние Хемминга между ожидаемыми и фактическими решениями, ϵ – норма точности, причем

$$\epsilon \leq \min(\epsilon', \epsilon''), \quad (5)$$

где ϵ' – заданная точность при использовании нечеткого расстояния Хемминга, ϵ'' – заданная точность при использовании функции ранжирования из метода анализа иерархий [21, 22].

Величины ϵ' и ϵ'' в (5) определяются предметной областью. Решение задачи непротиворечивости при принятии решений основывается на оптимизации четких и нечетких компонент модели при наличии некоторых ограничений с целью выполнения неравенства (5).

Выводы и перспективы дальнейших исследований. В результате выполненных научных исследований в работе решены следующие важные задачи.

1. На основе содержательного целенаправленного анализа сформулирована постановка задачи принятия решений на множестве параметров и ограничений предметной области.

2. Рассмотрены классы существующих моделей, ориентированных на пространственный анализ в области управления земельными ресурсами и территориями. Определено, что важным фактором является анализ адекватности при решении прикладных задач.

3. Получило дальнейшее развитие понятие непротиворечивости, которое, в отличие от существующих, представлено нечетким пространством состояний моделей, а также выделением норм точности по ее компонентам, что позволит повысить достоверность принимаемых решений в предметных областях.

Перспективами дальнейших исследований является разработка методов совершенствования моделей, методов и технологий при решении прикладных задач.

Список литературы: 1. Мельничук О.Ю. Системне моделювання території для потреб землеустрою / О.Ю. Мельничук // Вісник геодезії та картографії. – 2008. – № 6. – С. 25 – 27. 2. Ковальчук І.П. Комплексний аналіз сучасного стану сільських територій: структурна схема, алгоритми, методи і дослідницькі технології / І.П. Ковальчук, Т.О. Євсюков // Землеустрій і кадастр. – 2008. – № 4. – С. 20 – 35. 3. Forrester J.W. System dynamics – the next fifty years / J.W. Forrester // System Dynamics Review 23 (2-3) 2007. – Р. 359 – 370. 4. Дехтяренко Ю.Ф. Методичні основи грошової оцінки земель в Україні / Ю.Ф. Дехтяренко, М.Г. Лихогруд, Ю.М. Манцевич, Ю.М. Палеха. – К.: ПРОФІ, 2006. – 624 с. 5. Методика грошової оцінки земель сільськогосподарського призначення та населених пунктів. Затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 23.03.1995 р. № 213. Земельне законодавство України: 3б. нормат.-прав. актів. – К.: Істина, 2004. – 288 с. 6. Ресин В.И. Вероятностные технологии в управлении развитием города / В.И. Ресин, Б.С. Дарховский, Ю.С. Попков. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 352 с. 7. Ліцтович Л.І. Природа і власність / Л.І. Ліцтович // Землеустрій і кадастр. 2009. – № 2. – С. 21 – 24. 8. Евглевский И.В. ГИС-технологии в системе поддержки принятия решений в различных областях деятельности / И.В. Евглевский, Н.Н. Морозов // Земля Беларуси. – 2008. – № 4. – С. 20 – 22. 9. Питенко А.А. Нейросетевой анализ в геоинформационных системах / А.А. Питенко. – Красноярск, 2000. – 97 с. 10. Земельний кодекс України, прийнятий 25 жовтня

2001 року № 2768-III 2002 р. // Відом. Верхов. Ради України (ВВР). – 2002. – № 3 – 4. – Ст. 79.

11. Закон України "Про плату за землю" від 3 липня 1992 року. Земельне законодавство України: 36. нормат.-прав. актів. – К.: Істина, 2004. – 288 с. **12.** Закон України "Про землеустрій" від 22 травня 2003 р. Земельне законодавство України: 36. нормат.-прав. актів. – К.: Істина, 2004. – 288 с. **13.** Габрель М.М. Просторова організація містобудівних систем / М.М. Габрель – К.: Видавничий дім А.С.С. – 2004. – 400 с. **14.** Самарський А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 320 с. **15.** Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. – М.: Мир, 1984. – 264 с. **16.** Кучеренко Є.І. Сіткові моделі в задачах аналізу складних систем / Є.І. Кучеренко. – Харків: ХТУРЕ, 1999. – 100 с. **17.** Филлипс Д. Методы анализа сетей / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас. – М.: Мир, 1984. – 496 с. **18.** Бодянский Е.В. Нейро-фази сети Петри в задачах моделирования сложных систем / Е.В. Бодянский, Е.И. Кучеренко, А.И. Михалев. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2005. – 311 с. **19.** Борисов В.В. Нечеткие модели и сети / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с. **20.** Кучеренко Е.І. К проблеме анализа и непротиворечивости в задачах обработки знаний / Е.І. Кучеренко // Проблемы бионики. – 2002. – Вып. 57. – С. 22 – 24. **21.** Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т.Л. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с. **22.** Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / Т.Л. Саати. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 360 с.

УДК 519.71

О методах, моделях і критеріях прийняття рішень в просторово-розподілених об'єктах / Кучеренко Є.І., Глушенкова І.С. // Вісник НТУ "ХПИ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2009. – № 43. – С. 102 – 107.

Обґрунтовано необхідність оцінки стану земель населених пунктів з використанням ГІС-технологій. Розглянуто класи існуючих моделей, орієнтованих на просторовий аналіз в галузі управління земельними ресурсами. Критерії аналізу несутеречності представлені нечітким простором станів моделей. Визначені перспективи подальших досліджень. Іл.: 1. Бібліогр.: 22 назв.

Ключові слова: оцінка стану земель, ГІС-технології, моделі, критерії аналізу.

UDC 519.71

About methods, models and criteria of decision-making in the spatially-distributed objects / Kucherenko E.I., Glushenkova I.S. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 43. – P. 102 – 107.

Necessity of an estimation of a status of the land use of settlements with use of GIS-technologies was mentioned. Classes of the existing models focused on the spatial analysis in the field of management by ground resources are considered. Criteria of analysis of consistency are presented by indistinct space of statuses of models. Prospects of the further researches are defined. Figs: 1. Refs: 22 titles.

Key words: an estimation of a status of the earths, GIS-technologies, models, criteria of the analysis.

Поступила в редакцію 10.10.2009

Л.М. ЛЮБЧИК, д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
Ю.И. ДОРОФЕЕВ, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЯЕМОЙ СЕТИ ПОСТАВОК

Рассматривается задача моделирования сети поставок. С применением балансных уравнений динамики уровней запасов продукции в узлах сети получена математическая модель сложной динамической системы как объекта управления. Выполнен анализ особенностей задачи синтеза системы управления поставками, которая гарантирует полное и своевременное удовлетворение спроса со стороны пользователей с учетом временных задержек на транспортировку и обработку продукции. Ил.: 1. Библиогр.: 13 назв.

Ключевые слова: задача моделирования сети поставок, синтез системы управления поставками.

Постановка проблемы. Сеть поставок [1 – 4] определяется как совокупность взаимосвязанных бизнес-объектов, несущих коллективную ответственность за добычу сырья, производство, хранение, транспортировку и распространение некоторого набора продукции. Элементы сети поставок связаны противонаправленными материальными и информационными потоками. Материальные потоки от поставщиков сырья через этапы производства и промежуточного хранения, процессы транспортировки полуфабрикатов и готовой продукции попадают на склады потребителей. Информационные потоки в виде заказов на сырье и готовую продукцию движутся в противоположном направлении от конечных потребителей через систему маркетинга и планирования производства.

Каждый элемент сети поставок соответствует некоторому физическому объекту и может принадлежать к одному из следующих классов: поставщик сырья, производственный узел, узел хранения, продавец, потребитель.

С точки зрения теории автоматического управления рассматриваемая система представляет собой многосвязный динамический объект управления, подверженный действию внешних возмущений, роль которых выполняют колебания спроса со стороны потребителей. Возникает необходимость в разработке методов математического моделирования сети поставок как основы для решения задач оперативного управления планированием поставок с целью поддержания в узлах сети оптимальных уровней страховых запасов продукции с учетом наличия временных задержек на транспортировку и производство продукции при условии полного и своевременного удовлетворения спроса на готовую продукцию со стороны потребителей.

Анализ литературы. В работах [1 – 5] рассматриваются различные подходы к решению задач математического моделирования систем управления запасами в классической постановке. В работах [6 – 8] рассмотрены особенности построения динамической модели системы управления запасами

в сетевой постановке без учета временных задержек в узлах сети. Различные подходы для построения математической модели управляемой сети поставок с учетом временных задержек предложены и исследованы в [9 – 14]. При построении модели объекта в задачах оперативного управления уровнями запасов продукции в узлах сети возникает необходимость в развитии и обобщении предложенных подходов применительно к задачам математического моделирования сложных динамических систем с различными временными задержками, что и является **целью данной статьи**.

Построение модели управляемой сети поставок. Пусть сеть поставок содержит N узлов (элементов). Пронумеруем их в порядке возрастания вначале внутри каждой страты, соответствующей одному из перечисленных выше классов объектов, а затем продвигаясь от поставщиков сырья к потребителям готовой продукции. Узлы, моделирующие потребителей конечной продукции, в количестве N_e , группируются в последней страте. Будем считать, что каждый узел сети является однопродуктовой системой.

Для графического представления модели сети поставок предлагается использовать ориентированный взвешенный граф, вершины которого соответствуют узлам сети и группируются в страты в зависимости от их принадлежности к перечисленным выше классам. Наличие дуги между вершинами графа i и j означает, что узел сети i является поставщиком продукции для узла j . Вес дуги равен времени доставки продукции, которое считается известным после определения вида транспорта, типа топлива и порядка транспортировки, и обозначается $T_{i,j}$. Для математического описания графа используется матрица достижимости размерностью $(N - N_e) \times N$, которая содержит информацию о существовании путей между вершинами орграфа.

Формирование модели производственного узла. Для описания производственного узла i предлагается использовать следующие обозначения:

$\Pi = \{p_{ij}\}$, $i, j = \overline{1, N - N_e}$ – производственная матрица, значение (i, j) -го элемента которой равно количеству продукта j , измеренному в единицах, которое требуется для производства единицы продукта i ;

C_i – производительность узла i , измеряемая в единицах;

LT_i – целочисленная переменная, значение которой кратно периоду дискретизации Δt , обозначающая время выполнения заказа в узле i ;

$Cost_i$ – стоимость производства единицы продукта i , измеренная в у.е.;

$Emis_i$ – объем выбросов CO_2 , производимый узлом i в процессе производства единицы продукции, измеренный в кг;

λ_i – технологический коэффициент, обозначающий уровень загрузки оборудования узла i , измеренный в %.

Для математического описания производственных узлов предлагается использовать так называемую модель "time bucket discrete-event model" [5]. В такой модели: 1) выбирается период дискретизации по времени Δt и все временные задержки считаются кратными выбранному периоду; 2) время увеличивается пошагово, в конце каждого шага новое состояние определяется с помощью уравнений модели; 3) состояние системы характеризуется уровнем запасов каждого продукта в течение данного периода.

Структура взаимодействия узлов рассматриваемой сети поставок приведена на рисунке.

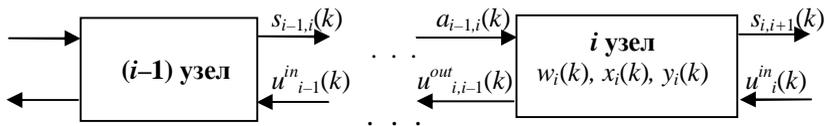


Рис. Модель взаимодействия узлов сети поставок

Обозначим соответственно через $w_i(k)$, $x_i(k)$ и $y_i(k)$ уровень запаса продукта i , находящийся в процессе обработки, имеющийся в наличии и объем неудовлетворенного спроса в момент времени k , $k = 0, 1, 2, \dots$. Пусть $u_{i,i-1}^{out}(k)$ – это объем запроса продукта $(i-1)$, который узел i отправляет на узел $(i-1)$ в момент k . Обозначим $a_{i-1,i}(k)$ – количество продукта $(i-1)$, которое в момент k фактически поступает от узла $(i-1)$ на узел i . По прошествии времени выполнения заказа LT_i соответствующее количество продукта i помещается в запас. Обозначим множество узлов, которые являются потребителями продукта i , через $D_i^{out} = \{j | p_{ji} \neq 0, j = \overline{i+1, N}\}$, а множество узлов, которые являются поставщиками сырья для узла i , через $D_i^{in} = \{j | p_{ij} \neq 0, j = \overline{1, i-1}\}$. Пусть $u_i^{in}(k) = \sum_{j \in D_i^{out}} u_{j,i}^{out}(k)$ – это суммарный объем запросов продукта i , которые поступают на узел i в момент k из узлов D_i^{out} .

Тогда динамика узла i описывается следующими уравнениями:

$$w_i(k) = w_i(k-1) + \sum_{j \in D_i^{in}} a_{i,j}(k) - \sum_{j \in D_i^{out}} a_{i,j}(k - LT_i), \quad w_i(0) = 0, \quad (1)$$

$$s_i(k) = \min \left\{ x_i(k-1) + \min_{j \in D_i^{in}} \left(\frac{a_{j,i}(k - LT_i)}{\pi_{ij}} \right), y_i(k-1) + u_i^{in}(k-1) \right\}, \quad (2)$$

$$x_i(k) = x_i(k-1) + \min_{j \in D_i^{in}} \left(\frac{a_{j,i}(k-LT_i)}{\pi_{ij}} \right) - s_i(k), \quad x_i(0) = x_i^*, \quad (3)$$

$$y_i(k) = y_i(k-1) + u_i^{in}(k-1) - s_i(k), \quad y_i(0) = 0, \quad i = \overline{1, N-N_e}, \quad k = 1, 2, \dots \quad (4)$$

Предполагается, что переменные, описывающие уровень запаса, являются неотрицательными в любой момент времени: $\forall k \quad x_i(k) \geq 0, \quad i = \overline{1, N}$.

Если текущий спрос удовлетворяется полностью, то выполняется равенство $s_{i,j}(k) = u_{j,i}^{out}(k-1) \quad \forall j = \overline{1, N}$, то есть $s_i(k) = u_i^{in}(k-1)$. Узел j , который является поставщиком сырья для узла i , отправляет $s_{j,i}(k)$ количество продукта j в узел i , которое прибудет спустя время транспортировки $T_{j,i}$, т.е. выполняется равенство $a_{j,i}(k) = s_{j,i}(k-T_{j,i})$.

Будем предполагать, что потребители конечной продукции подают продавцам заявки с информацией о "номинальном" спросе $\bar{u}_i^{in}(k)$, $i = \overline{N-N_e+1, N}$, для которого возможно вычислить управляющие воздействия $\bar{u}_{i,j}^{out}(k)$, $i, j = \overline{1, N-N_e}$, которые позволяют поддерживать желаемый неотрицательный страховой запас продукции $x_i^*(k)$, $i = \overline{1, N-N_e}$. Однако "номинальный" спрос $\bar{u}_i^{in}(k)$ подвергается воздействию возмущений. Обозначим через $\partial x_i(k)$ отклонение уровня запаса продукта i от номинального значения страхового запаса x_i^* , а через $\partial u_i^{in}(k)$ и $\partial u_{i,j}^{out}(k)$ – отклонение спроса на продукт i и заявок поставщикам сырья для узла i от номинальных значений $\bar{u}_i^{in}(k)$ и $\bar{u}_{i,j}^{out}(k)$ соответственно. Получим:

$$x_i(k) = x_i^* + \partial x_i(k), \quad u_i^{in}(k) = \bar{u}_i^{in}(k) + \partial u_i^{in}(k), \quad u_{i,j}^{out}(k) = \bar{u}_{i,j}^{out}(k) + \partial u_{i,j}^{out}(k). \quad (5)$$

Тогда с учетом уравнений (1) – (5) получим следующее уравнение в отклонениях

$$\partial x_i(k) = \partial x_i(k-1) + \min_{j \in D_i^{in}} \left(\frac{\partial u_{i,j}^{out}(k-\Lambda_{j,i})}{P_{ij}} \right) - \partial u_i^{in}(k-1), \quad (6)$$

где $\Lambda_{j,i} = T_{j,i} + LT_i + 1$. Целочисленная переменная $\Lambda_{j,i}$ определяет период запаздывания материальных потоков в сети.

С целью получения модели без временных задержек применим стандартную технику расширения пространства состояний системы. Предположим, что величины $\Lambda_{j,i}$ известны. Для определения максимального значения задержки для узла i возникает необходимость решения задачи,

которая в терминах теории графов формулируется как поиск пути максимального веса. При этом к весу дуги, которое равно времени транспортировки $T_{i,j}$, добавляется время выполнения заказа LT_j .

Обозначим найденное суммарное максимальное значение временной задержки для узла i через Λ_i^{\max} . Определим следующий вектор:

$$z_i(k) = \left[\partial x_i(k), [\partial u_{i,j}^{out}(k-1)]^T, [\partial u_{i,j}^{out}(k-2)]^T, \dots, [\partial u_{i,j}^{out}(k - \Lambda_i^{\max} + 1)]^T \right]^T, j \in D_i^{in}. \quad (7)$$

Очевидно, что $z_i(k)$ определяет имеющийся в наличии уровень запаса продукта i и количество уже заказанных на момент времени k , но еще не доставленных и не обработанных ресурсов. Будем называть $z_i(k)$ фиктивным уровнем запаса продукта i в момент времени k и рассматривать в качестве вектора состояния узла i . Переменные $\partial u_{i,j}^{out}(k)$ могут рассматриваться как управляющие, а переменные $\partial u_i^{in}(k)$ – как возмущающие воздействия для узла i . Тогда с учетом введенных обозначений динамика узла i может быть описана следующим уравнением:

$$z_i(k+1) = A_i \cdot z_i(k) + B_i \cdot \partial u_{i,j}^{out}(k) + D_i \cdot \partial u_i^{in}(k), \quad (8)$$

где матрицы A_i , B_i и D_i формируются на основе уравнений (1) – (7).

Формирование модели сети поставок. Модели узлов сети, которые являются поставщиками сырья, узлами хранения, либо продавцами, строятся по аналогии с производственным узлом. Вектор состояния модели сети поставок формируется как совокупность векторов состояния узлов сети, из которых состоит модель $Z(k) = [z_1(k), \dots, z_{N-N_e}(k)]^T$. При этом размерность

вектора состояния равна $\Lambda = \sum_{i=1}^{N-N_e} (1 + (\Lambda_i^{\max} - 1) \cdot |D_i^{in}|)$. Вектор управляющих

воздействий определяется как $U(k) = [\partial u_{i,j}^{out}(k) | j \in D_1^{in}, \dots, \partial u_{N-N_e}^{out}(k) |$

$j \in D_{N-N_e}^{in}]^T$ и имеет размерность $\Lambda_U = \sum_{i=1}^{N-N_e} |D_i^{in}|$. Роль внешних

возмущающих воздействий выполняет вектор

$F(k) = [\partial u_{N-N_e+1,j}^{out}(k) | j \in D_{N-N_e+1}^{in}, \dots, \partial u_{N,j}^{out}(k) | j \in D_N^{in}]^T$ размерности

$$\Lambda_F = \sum_{i=N-N_e+1}^N |D_i^{in}|.$$

С учетом введенных обозначений динамика сети поставок может быть описана следующим уравнением:

$$Z(k+1) = A \cdot Z(k) + B \cdot U(k) + D \cdot F(k), \quad (9)$$

где $A = \text{diag}(A_i)$ – блочно-диагональная матрица размерности $\Lambda \times \Lambda$, а матрица B размерности $\Lambda \times \Lambda_U$ и матрица D размерности $\Lambda_F \times 1$ формируются в соответствии со структурой матрицы достижимости, описывающей граф сети поставок. В качестве выходных переменных модели рассматривается вектор $Y(k) = [\partial x_1(k), \dots, \partial x_{N-N_e}(k)]^T$. Тогда уравнение выходов будет иметь вид $Y(k) = C \cdot Z(k)$, где $C = \text{diag}(C_i)$ – блочно-диагональная матрица размерности $N \times \Lambda$, где каждая матрица C_i размерности $1 \times \Lambda_i^{\max}$ имеет вид $C_i = [0 \dots 0 \ 1]$.

В результате выполненных преобразований модель сети поставок с различными временными задержками, обусловленными затратами времени на транспортировку продукции между узлами сети и обработку сырья в производственных узлах, была приведена к детерминированной динамической модели в пространстве состояний без временных задержек.

Выводы. Полученные уравнения модели сети поставок как объекта управления (9) могут быть использованы при решении задачи синтеза системы управления уровнями запасов продукции в узлах сети. Особенность рассматриваемой задачи заключается в наличии различных запаздываний в каналах объекта управления, следствием чего является существенное снижение качества управления и возможная потеря устойчивости замкнутой системы.

Таким образом, в работе обоснована возможность и эффективность применения методов математического моделирования для построения модели управляемой сети поставок. Дальнейшее развитие предложенной методики позволит рассмотреть комплексную задачу управления уровнями запасов продукции в узлах сети поставок с учетом существующих ограничений и внешних воздействий.

Список литературы: 1. Хедли Дж. Анализ систем управления запасами / Дж. Хедли, Т. Уайтин. – М.: Наука, 1969. 2. Лотоцкий В.А. Модели и методы управления запасами / В.А. Лотоцкий, А.С. Мандель. – М.: Наука, 1991. 3. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами / Ю.И. Рыжиков. – СПб.: Питер, 2001. 4. Daganzo C. A Theory of Supply Chains / C. Daganzo. – New York: Springer, 2003. 5. Kleijnen J.P.C. Supply chain simulation tools and techniques: a survey / J.P.C. Kleijnen // International Journal of Simulation and Process Modelling. – 2005. – Vol. 1 (1/2). – P. 82–89. 6. Чаусова Е.В. Динамическая сетевая модель управления запасами с интервальной неопределенностью спроса и устареванием запаса в узлах сети / Е.В. Чаусова // Вестник Томского государственного университета. – 2004. – № 284. – С. 103–108. 7. Chausova E.V. Dynamic Network Inventory Control Model with Interval Nonstationary Demand Uncertainty / E.V. Chausova // Numerical algorithms. – 2004. – Vol. 37. – P. 71–84. 8. Чаусова Е.В. Динамическая сетевая модель управления запасами с интервальной неопределенностью спроса и потерь запаса / Е.В. Чаусова // Вестник Томского государственного университета. – 2006. – № 290. – С. 208–215. 9. Blanchini F. Feedback control on production-distribution systems with unknown demand and delays / F. Blanchini, R. Pesenti,

F. Rinaldi, W. Ukovich // IEEE Transaction on robotics and automation. – 2000. – Vol. 16. – №. 3. – P. 313–317. **10.** *Blanchini F.* A network design problem for a distribution system with uncertain demands / *F. Blanchini, F. Rinaldi, W. Ukovich* // SIAM Journal on optimization. – 1997. – Vol. 7. – №. 2. – P. 560–578. **11.** *Hennet J.-C.* A bimodal scheme for multi-stage production and inventory control / *J.-C. Hennet* // Automatica. – 2003. – Vol. 39. – P. 793–805. **12.** *Sipahi R.* On Stability Analysis and Parametric Design of Supply Networks Under the Presence of Transportation Delays / *R. Sipahi, S. Lammer, S.-I. Niculescu, D. Helbing* // ASME-IMECE Conference. – Chicago, IL. – 2006. **13.** *Cal dentey R.* Analysis of a decentralized production-inventory system / *R. Cal dentey, L.M. Wein* // Manufacturing and Service Operations Management. – 2003. – Vol. 5. – № 1. – P. 1–17.

УДК 519-95

Математична модель керованої мережі постачань / Любчик Л.М., Дорофєєв Ю.І. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 43. – С. 108 – 114.

Розглядається задача моделювання мережі поставок. Із застосуванням балансних рівнянь динаміки рівнів запасів продукції у вузлах мережі отримана математична модель складної динамічної системи як об'єкта керування. Виконано аналіз особливостей задачі синтезу системи керування поставками, яка гарантує повне та своєчасне задоволення попиту зі сторони користувачів із урахуванням запізнення на транспортування та обробку продукції. Лл.: 1. Бібліогр.: 13 назв.

Ключевые слова: задача моделювання мережі поставок, задача синтезу системи управління поставками.

UDC 519-95

Mathematical model of the guided network of deliveries / Lubchik L.M., Dorofeev Yu.I. / Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 43. – P. 108 – 114.

The problem of supply network modelling is considered. Based on balance dynamics equations the complex dynamic system mathematical model as a controlled object is obtained. The supply network controller design problem features is investigated subject with delays on transportation and manufactory products. Figs: 1. Refs.: 13 titles.

Keywords: task of design of network of deliveries, synthesis of control system by deliveries.

Поступила в редколлегию 15.10.2009

Л.И. НЕФЁДОВ, д-р техн. наук, проф., зав. каф. ХНАДУ (г. Харьков),
Е.П. БАБЕНКО, канд. техн. наук, ассистент ХНАДУ (г. Харьков),
Н.Ю. ФИЛЬ, канд. техн. наук, доц. ХНАДУ (г. Харьков),
Ю.Л. ГУБИН, аспирант ХНАДУ (г. Харьков)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРОЕКТАМИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ ПРИРОДНЫХ СИТУАЦИЙ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

Рассмотрены процессы управления проектами ликвидации чрезвычайных природных ситуаций на магистральных автомобильных дорогах. Разработана математическая модель планирования работ при управлении проектами ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на магистральных автомобильных дорогах по многим критериям. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: управление проектом, чрезвычайные природные ситуации, магистральные автомобильные дороги, планирование работ.

Постановка проблемы. Многовариантная проработка организационных и технологических решений позволяет принимать наиболее технологичные проектные решения, обеспечивающие реализацию проекта ликвидации последствий чрезвычайных природных происшествий (ЧПС) на магистральных автомобильных дорогах (МАД) в директивные сроки с минимальными ресурсными затратами.

Общая задача принятия решений по ликвидации ЧПС на МАД декомпозируется на частные задачи: выбора проектов по ликвидации ЧС на МАД; планирования работ по ликвидации ЧС [1]. А эффективное оперативное планирование работ в ходе реализации проектов ликвидации последствий ЧПС на МАД способствуют снижению стоимости работ по проектам на 1,0–1,9 % [2, 3].

Анализ публикаций. В настоящее время разработаны задачи построения календарных планов реализации проектов, связанных, в основном, с распределением ограниченных ресурсов [4]. Однако задачи распределения ресурсов на сетевых графиках относятся к сложным многоэкстремальным задачам. Также существует небольшое число частных постановок, для которых предложены точные методы решения. В общем случае применяются приближенные и эвристические алгоритмы. Сложность задач еще более возрастает, если учитывать времена перемещения ресурсов между работами [5].

Планирование работ по проектам во многих случаях приводит к изменению продолжительности проектов, как на уровне ожидаемых величин, так и параметров распределения. Решению данной проблемы посвящено

достаточно много работ. Метод PERT [5,6], разработанный в середине 20-го века, стал первой попыткой рассмотрения в расчетах проектного расписания и учитывал в себе неопределенность продолжительности работ. Модели, построенные на основе методологии PERT, позволяют учитывать технологическую неопределенность выполнения основных работ этапов проекта, параллельность и логическую взаимосвязь выполнения комплекса работ. С 1950-х годов многие авторы дополнили PERT, используя метод статистических испытаний Монте-Карло [7].

Использование методов имитационного моделирования позволяет усовершенствовать модель планирования реализации работ проекта ликвидации ЧПС на МАД за счет разработки метода анализа вариантов плана проекта [7]. Это дает возможность разрабатывать планы реализации работ с заданной вероятностью завершения проекта в срок.

Однако в недостаточной мере проработаны задачи формирования расписаний работ по проектам ликвидации последствий ЧПС на МАД. Это препятствует применению методов, основанных на сетевых графиках или технологических маршрутах. Вместе с тем, оперативное и своевременное проведение работ по ликвидации ЧПС на МАД может способствовать не только сокращению стоимости работ по проекту, но и сохранению человеческих жизней. А эффективное управление проектами ликвидации ЧПС на МАД должно основываться не только на информации об источниках ЧПС, причинах возникновения ЧПС на участках МАД, но и на реализованных эффективных проектах и работах ликвидации ЧПС на МАД, т.е. прецедентах.

Таким образом, задачи планирование работ проекта ликвидации последствий ЧПС на МАД с учетом прецедентов является актуальной.

Целью исследования является повышение эффективности и оперативности управления проектами ликвидации последствий ЧПС на МАД за счет разработки новых и усовершенствования известных математических моделей и методов планирования работ с учетом их прецедентов при управлении проектами ликвидации последствий ЧПС на МАД по многим критериям.

Математические модели. Рассмотрим постановку задачи планирования работ при управлении проектами ликвидации ЧС на МАД. Известно:

– множество видов ресурсов $K = \{k\}$, $k = \overline{1, k'}$. Ресурсы можно классифицировать по сроку годности на нескладируемые, складируемые и частично-складируемые. Срок годности ресурса – это период планирования, в течение которого с момента поступления эти ресурсы могут быть использованы для выполнения работ. Нескладируемые ресурсы – это ресурсы со сроком годности один период – это трудовые ресурсы, фонд времени работы оборудования, транспортные средства. Складируемые ресурсы имеют срок годности, превышающий длину периода планирования – это песок,

щебень, топливо. Частично-складируемые ресурсы имеют ограниченный срок годности – это, например, битум, бетон. Кроме того, ресурсы возможно классифицировать на ресурсы повторного и неповторного использования. Ресурс повторного использования – это ресурс, который вновь появляется в системе после того, как работа перестает его потреблять. Ресурс неповторного использования характеризуется тем, что после его использования некоторой работой, его объем уменьшается на величину, равную ресурсоемкости этой работы (использование материалов, финансовых ресурсов);

– множество работ $J = \{j\}$; $j = \overline{1, j'}$, которое нужно выполнить, j' – число работ по проекту. Каждая работа характеризуется временем начала каждой работы $s_j \geq 0$ и директивным сроком окончания проекта $d \geq 0$;

– множество вариантов выполнения работ (прецедентов) $M_j = \{m(j)\}$ по проекту ликвидации последствий ЧПС на МАД, $j = \overline{1, j'}$. Каждый вариант выполнения j -й работы $m(j)$ в зависимости от затрат ресурса k -го вида $r_{kj}^{m(j)} \geq 0$, $k = \overline{1, k'}$, имеет различную длительность j -й работы $\Delta_j^{m(j)} \geq 0$ и стоимость $C_j(s_j + \Delta_j^{m(j)})$;

– технологический порядок выполнения работ $a_{j\gamma}$; $j, \gamma = \overline{1, j'}$, где

$$a_{j\gamma} = \begin{cases} 1, & \text{если работа } j \text{ должна предшествовать работе } \gamma; \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

– количество выделяемого ресурса k -го вида $q_k \geq 0$, $k = \overline{1, k'}$ на выполнение всех работ.

Необходимо определить вариант $m(j)$ и длительность выполнения работ $\Delta_j^{m(j)} \geq 0$, время начала каждой работы $s_j \geq 0$, при которых обеспечиваются минимальные время окончания и стоимость всех работ при выполнении условий предшествования, ограничений по ресурсам, стоимости и директивному сроку окончания всех работ.

Введем переменную $X_j^{m(j)}$:

$$X_j^{m(j)} = \begin{cases} 1, & \text{если работа } j \text{ реализуется } m(j) \text{ вариантом;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Для решения этой задачи разработана математическая модель планирования работ проекта ликвидации ЧПС на МАД:

1. Минимизировать продолжительность реализации проекта

$$T = \min \left\{ \max_{j \in J} \sum_{m(j) \in M_j} (s_j + \Delta_j^{m(j)}) X_{jm(j)} \right\}. \quad (1)$$

2. Минимизировать стоимость всех работ

$$C = \min \sum_{j=1}^{j'} \sum_{m(j) \in M_j} C_j (s_j + \Delta_j^{m(j)}) X_{jm(j)}. \quad (2)$$

Область допустимых решений задается следующими ограничениями:

1) завершение проекта в директивный срок d

$$\max_j \sum_{m(j) \in M_j} (s_j + \Delta_j^{m(j)}) X_j^{m(j)} \leq d; \quad (3)$$

2) все работы должны выполняться в технологической последовательности

$$\sum_{m(\gamma) \in M_\gamma} s_\gamma X_\gamma^{m(\gamma)} \geq \left\{ \sum_{m(j) \in M_j} a_{j\gamma} (s_j + \Delta_j^{m(j)}) X_j^{m(j)} \right\}; \quad j, \gamma = \overline{1, j'}; \quad (4)$$

3) количество необходимых ресурсов каждого вида для выполнения множества работ должно не превышать количества ресурса q_k , выделяемого на выполнение всех работ

$$\sum_{j \in J} \sum_{m(j) \in M_j} r_{kj}^{m(j)} X_j^{m(j)} \leq q_k; \quad k = \overline{1, k'}; \quad (5)$$

4) из множества вариантов выполнения j -й работы может быть выбран только один

$$\sum_{m(j) \in M_j} X_j^{m(j)} = 1; \quad j = \overline{1, j'}. \quad (6)$$

Выражения (1) – (6) представляют собой общую математическую модель планирования работ при использовании разнородных ограниченных ресурсов при управлении проектами ликвидации последствий ЧПС на МАД.

Рассмотренная задача является задачей объемно-календарного планирования и относится к классу NP-полных [8], т.е. для нее не существуют точные эффективные (отличные от полного перебора) алгоритмы. Для ее решения предлагается использовать “фронтальные” алгоритмы ограниченного перебора [8].

Выводы. Таким образом, в статье разработана модель планирования работ проекта ликвидации ЧПС на МАД по многим критериям, которая, в отличие от существующих, позволяет принимать решения с учетом прецедентов по различным, экономическим и временным критериям и

ограничениям. В дальнейшем планируется разработка системы, позволяющей конструировать модели планирования работ, в которых описываются и наглядно отображаются исходные параметры модели, т.е. работы со своими характеристиками, их взаимозависимостями и ресурсами, используемыми для выполнения работ.

Список литературы: 1. *Нефёдов Л.И.* Модели принятия решений по ликвидации чрезвычайных ситуаций на магистральных автомобильных дорогах / *Л.И. Нефёдов, В.Е. Овчаренко, Н.Ю. Филь, Ю.Л. Губин* // *Технология приборостроения.* – 2008. – № 2. – С. 25 – 27. 2. *Нефёдов Л.И.* Система поддержки принятия решений по управлению проектами предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на магистральных автомобильных дорогах / *Л.И. Нефёдов, Н.Ю. Филь, Ю.Л. Губин* // *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті: Матеріали Міжнародної наук.-практ. конференції.* – Херсон: Видав. ХДМІ. – Том 1. – 2009. – С. 16 – 19. 3. *Нефёдов Л.И.* Модели управления проектами развития автомобильных дорог / *Л.И. Нефёдов, Е.П. Бабенко* // *Дороги и мосты.* – К.: ДДНДІ ім. М.П. Шульгіна, 2006. – Вип. 4. – С. 78 – 91. 4. *Петров Е.Г.* Методи і засоби прийняття рішень у соціально-економічних системах. Навч. посібник / *Е.Г. Петров, М.В. Новожилова, І.В. Гребеннік.* – Харків: ХДТУБА, 2002.– 284 с. 5. *Бажин И.И.* Проектно-логистическое управление ресурсным обеспечением: Монография / *И.И. Бажин, В.В. Сысоев.* – Н. Новгород: Изд-во Гладкова – 2005. – 221 с. 6. *Демченко Ф.О.* Теория графов у задачах розподілу ресурсів: Підруч. для студ. техн. спец. вищ. навч. закл.: [в 2 кн.]. Кн. 1: Алгоритми та методи обчислень / *Ф.О. Демченко*: Укр. держ. акад. залізн. трансп. – 2008. – 119 с. 7. *Нефёдов Л.И.* Имитационное моделирование реализации проекта ликвидации чрезвычайной природной ситуации на магистральной автомобильной дороге / *Л.И. Нефёдов, В.Е. Овчаренко, И.Г. Ильге, Ю.Л. Губин* // *Технология приборостроения.* – 2009. – № 1. – С. 17 – 19. 8. *Ху Т.Ч.* Комбинаторные алгоритмы / *Т.Ч. Ху, М.Т. Шинг* / Пер. с англ. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета им. Н.И.Лобачевского, 2004. – 330 с.

УДК 338.244:504.453

Математична модель планування робіт при управлінні проектами ліквідації наслідків надзвичайних природних ситуацій на магістральних автомобільних дорогах / Нефёдов Л.І., Бабенко О.П., Филь Н.Ю., Губін Ю.Л. // *Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання.* – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 43. – С. 115 – 119.

Розглянуто процеси управління проектами ліквідації надзвичайних природних ситуацій на магістральних автомобільних дорогах. Розроблена математична модель планування робіт при управлінні проектами ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій на магістральних автомобільних дорогах за багатьма критеріями. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: управління проектом, надзвичайні природні ситуації, магістральні автомобільні дороги, планування робіт.

UDC 338.244:504.453

A mathematical model of planning of works is at the management of liquidation of consequences of extraordinary natural situations projects on main highways // *Nefedov L.I., Babenko Ye.P., Fil N.Y., Gubin Y.L.* // *Herald of the National Technical University "KhPI".* Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 43. – P. 115 – 119.

The processes of management the projects of liquidation of extraordinary natural situations are considered on main highways. The mathematical model of planning of works is developed at a management the projects of liquidation of consequences of extraordinary situations on main highways to on to many to the criteria. Refs: 8 titles.

Keywords: project management, extraordinary natural events, main highways, allocation of resources.

Статья поступила 02.10.2009

Л.И. НЕФЕДОВ, д-р техн. наук, проф., зав. каф. ХНАДУ (г. Харьков),
М.В. ШЕВЧЕНКО, канд. техн. наук, доц. ХНАДУ (г. Харьков),
О.В. ВАСИЛЕНКО, аспирант ХНАДУ (г. Харьков)

МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ОЦЕНКИ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ТЕРРИТОРИАЛЬНО-РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТА ГАЗА

В статье рассмотрены особенности транспорта газа от газораспределительных пунктов до потребителей в газотранспортной системе. Обоснована необходимость синтеза территориально-распределенной системы мониторинга транспорта газа. Предложена математическая модель планирования оценки контролируемых показателей в системе мониторинга транспорта газа, которая позволит повысить эффективность транспорта газа. Ил.: 1. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: газораспределительный пункт, синтез, система мониторинга транспорта газа, модель, контролируемые показатели.

Постановка проблемы. В настоящий момент в газотранспортной системе Украины проводится комплексная автоматизация управления сложными процессами и технологическими объектами. Одной из задач при управлении газотранспортной системой является мониторинг транспорта газа от газораспределительной станции до потребителей [1].

Согласно [2], мониторинг – это непрерывное комплексное наблюдение за объектами, измерение параметров и анализ их функционирования. Таким образом, реализация процесса мониторинга представляет собой решение двух задач: измерения параметров объекта и анализ его функционирования.

Анализ литературы. Как показал анализ публикаций [2 – 4], существующая система мониторинга выполняет измерения и анализ параметров технологических процессов на технологических объектах, на участках магистрального трубопровода и предназначена, в основном, для компрессорных станций.

Создаваемые в настоящее время технические комплексы для контроля и управления газораспределительными станциями (ГРС) предназначены для создания систем диспетчерского контроля и управления ГРС и рассредоточенными объектами линейных участков газопровода. Такие комплексы, как правило, обеспечивают: телеизмерение и трансляцию технологических параметров; телеконтроль состояния, телеуправление крановыми узлами, диагностику; архивирование и документирование информации и действий оператора. Эти системы базируются на общих принципах построения телемеханических систем – они представляют собой двухуровневые системы, контроль и управление которыми осуществляют с пункта управления (ПУ), где находится диспетчер, аппаратура телемеханики,

ЭВМ, мнемонический щит. Объекты контроля и управления находятся на контролируемых пунктах (КП). Взаимодействие между ПУ и КП происходит по каналам связи, данные передаются небольшими массивами. Данные системы в большей степени решают задачи диспетчеризации и предназначены для решения задач теории массового обслуживания. Как следствие сложившейся ситуации возникает необходимость в переосмыслении существующих подходов к организации функционирования газораспределительных систем, поскольку общая схема технологии функционирования системы задается принципами ее построения и уточняется при распределении функций, выполняемых системой, между ее элементами. Дальнейшее уточнение технологии происходит при выборе структурных и топологических характеристик системы, при этом технология функционирования формируется при выборе алгоритмов функционирования элементов системы.

Таким образом возникает необходимость синтеза территориально-распределенной системы мониторинга транспорта газа [5, 6].

Можно отметить, что проблема синтеза системы мониторинга транспорта газа (СМТГ) является многогранной, включает в себя множество задач: синтеза, перспективного и текущего планирования развития, оперативного управления в процессе функционирования. Для получения максимального системного эффекта на всех этапах жизненного цикла системы необходима единая методология оптимизации. Для достижения поставленной цели необходимо проанализировать и обосновать схему структуризации проблемы оптимизации и соответствующие критерии в сопоставлении с этапами жизненного цикла системы. В качестве этапов жизненного цикла возможно рассматривать следующие: синтез, поэтапное создание, развитие в условиях эволюции функциональных требований абонентов, эксплуатация системы (рис.). Была принята следующая иерархия решения комплексов задач синтеза [7]:

1. Анализ особенностей мониторинга транспорта газа содержит постановку общей проблемы синтеза территориально-распределенной системы мониторинга транспортировки газа. В ходе постановки проблемы оцениваются сложность вычислений, полнота и достоверность исходной информации, трудоемкость обследования абонентов, возможность идентификации некоторых характеристик в процессе функционирования, возможность эволюции требований абонентов, технических средств и системы в целом. Если возникают указанные трудности, то их можно преодолеть в рамках методологии системного анализа декомпозицией исходной проблемы на несколько условно-независимых подпроблем, которые, в свою очередь, разделены на комплексы задач, задачи, подзадачи и т. д.

2. Обоснование принципов функционирования основывается на анализе предметной области и функциональных особенностей СМТГ. Результатами

являются сформированные принципиально важные ограничения по структуре, топологии, функциональным характеристикам системы.



Рис. Структура комплекса задач на этапах жизненного цикла системы мониторинга транспорта газа

3. Функционально-топологический синтез структуры реализуется в рамках экзогенных ограничений и целей, сформированных на первом этапе, и состоит в определении оптимальных характеристик структуры СМТГ (количества и размещения точек измерения и выбор контролируемых в них показателей, функциональных характеристик средств измерений в каждой из

точек, топологии и типов коммуникационных связей). Полученные решения являются экзогенными ограничениями для следующего уровня задач.

4. Разработка алгоритмов (технологий) функционирования и управления СМТГ.

На этапе эксплуатации происходит оценка результатов мониторинга транспорта газа. Если система подверглась моральному или функциональному устареванию, должна быть предусмотрена возможность ее модернизации, а также развития для условий газификации появляющихся новых потребителей газа в газотранспортной системе.

Целью статьи является повышение эффективности транспорта газа за счёт разработки новых и развития известных моделей принятия решений по многим критериям по планированию оценки контролируемых показателей в территориально-распределенной СМТГ.

Рассмотрим постановку задачи планирования оценки каждого показателя в точках контроля газораспределительной системы.

Необходимо найти оптимальный план проведения оценок всех показателей СМТГ по всем точкам контроля при ограниченных ресурсах с учётом следующих частных критериев:

- максимум суммарного количества всех оценок показателей СМТГ;
- максимум эффективности проведения оценок показателей с учётом их важности;
- минимум суммарной стоимости проведения оценок всех показателей.

Математическая модель

Для построения математической модели введём такие переменные и параметры:

– множество возможных точек контроля $I = \{i : i = \overline{1, i'}\}$, i' – число возможных точек контроля;

– множество контролируемых показателей $P = \overline{1, P^i}$, P^i – число показателей в точке i ;

n_{iP} – коэффициент весомости P -го показателя в i -й точке контроля,

$$\sum_{P=1}^{P^i} v_{iP} = 1; n_{iP} \geq 0;$$

C_0 – выделенный бюджет для проведения всех оценок;

c_{iP} – стоимость проведения одной оценки P -го показателя в i -й точке контроля;

x_{iP} – искомое количество оценок P -го показателя в i -й точке контроля.

Таким образом, частные критерии имеют вид:

– максимум суммарного количества оценок показателей мониторинга транспорта газа в точках контроля

$$Z(X) = \max \sum_{i=1}^{i'} \sum_{P=1}^{P^i} x_{iP}, \quad (1)$$

где $X = \|x_{iP}\|$ – план проведения оценок P -х показателей в i -х точках контроля;

– максимум эффективности проведения оценок показателей мониторинга транспорта газа с учётом их важности

$$L(X) = \max \sum_{i=1}^{i'} \sum_{P=1}^{P^i} v_{iP} x_{iP}; \quad (2)$$

– минимум суммарной стоимости проведения оценок всех показателей мониторинга транспорта газа:

$$C(X) = \min \sum_{i=1}^{i'} \sum_{P=1}^{P^i} c_{iP} x_{iP}. \quad (3)$$

Основное ограничение представлено на суммарные затраты по проведению оценок всех показателей мониторинга, которые не должны превышать выделенный бюджет C_0

$$\sum_{i=1}^{i'} \sum_{P=1}^{P^i} c_{iP} x_{iP} \leq C_0. \quad (4)$$

Практический интерес вызывают дополнительные ограничения на минимальное и максимальное количество оценок. Для каждого средства измерений в i -й точке контроля должно быть проведено не менее одного измерения P -го показателя и не более N_{iP} нормативно определённого количества оценок

$$1 \leq x_{iP} \leq N_{iP}. \quad (5)$$

Кроме этого, на искомые переменные x_{iP} накладываются ограничения их положительности и целочисленности:

$$x_{iP} \geq 0; \quad x_{iP} = \text{int}; \quad i = \overline{1, i'}; \quad P = \overline{1, P^i}. \quad (6)$$

Математическая модель (1) – (6) относится к задачам линейного целочисленного программирования по многим критериям. Для её решения используют модели многокритериальной оптимизации [8] и целочисленного программирования [9]. Для реализации предложенных математических моделей предлагается использовать: для задач малой размерности – метод ветвей и границ; для задач большой размерности – метод случайного поиска.

Выводы. В результате проведённых исследований разработана математическая модель, которая позволяет в отличие от существующих спланировать мониторинг транспорта газа от газораспределительных пунктов

до потребителей по многим критериям с учётом ограничений на выделенный бюджет по проведению всех оценок и количество оценок каждого показателя. Это позволяет повысить эффективность транспорта газа от ГРС до потребителей.

Список литературы: 1. *Грищенко А.З.* Автоматизация компрессорных станций магистральных газопроводов / *А.З. Грищенко, И.Н. Богаенко, Ю.И. Артёмов* и др. – К.: Техника, 1990. – 128 с. 2. *Фатхутдинов Р.А.* Организация производства / *Р.А.Фатхутдинов* – М.: ИНФА, 2002. – 672 с. 3. *Головань К.В.* Знанняорієнтовані моделі автоматизованого робочого місця диспетчерського управління магістральним трубопровідним комплексом: Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук / *К.В. Головань* – Вид. Центр "ХАІ". – 2006. – 20 с. 4. *Гура Л.О.* Газоперекачувальні станції магістральних газопроводів / *Л.О. Гура*. – Х.: НТУ "ХПІ", 2006. – 181 с. 5. *Нефедов Л.И.* Синтез территориально-распределенной системы мониторинга транспорта газа / *Л.И. Нефедов, М.В. Шевченко, О.В. Василенко* // *Технология приборостроения*. – 2009. – № 1. – С. 28-31. 6. *Нефедов Л.И.* Проблема синтеза территориально-распределенной системы мониторинга транспорта газа / *Л.И. Нефедов, М.В. Шевченко, О.В. Василенко* // *Матеріали науково-практичної конференції*. – Т. 2. – Херсон: Видавництво Херсонського державного морського інституту. – 2009. – С. 79-81. 7. *Петров Э.Г.* Территориально распределенные системы обслуживания / *Э.Г. Петров, В.П. Писклакова, В.В. Бескоровайный*. – К.: "Техніка", 1992. – 208 с. 8. *Овезгельдыев А.О.* Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации / *А.О. Овезгельдыев, Э.Г. Петров, К.Э. Петров*. – К.: Наукова думка, 2002. – 164 с. 9. *Петров Е.Г.* Методи і засоби прийняття рішень у соціально-економічних системах / *Е.Г. Петров, М.В. Новожилова, І.В. Гребінник*. – К.: Техніка, 2004. – 256 с.

УДК 542.73:004.725.07

Модель планування оцінки контрольованих показників в територіально-розподіленій системі моніторингу транспорту газу / Нефедов Л.И., Шевченко М.В., Василенко О.В. // *Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання*. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 43. – С. 120 – 125.

У статті розглянуті особливості при транспорті газу від газорозподільних пунктів до споживачів у газотранспортній системі. Обґрунтовано необхідність синтезу територіально-розподіленої системи моніторингу транспорту газу. Запропоновано математичну модель планування оцінки контрольованих показників у системі моніторингу транспорту газу, що дозволить підвищити ефективність транспорту газу. Іл. 1. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: газорозподільний пункт, синтез, система моніторингу транспорту газу, модель, контрольовані показники.

UDC 542.73:004.725.07

A model of planning of estimation of the controlled indexes is in the territorial-distributed system of monitoring of gas transport / Nefedov L.I., Shevchenko M.V., Vasilenko O.V. // *Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling*. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 43. – P. 120 – 125.

In the article the features of gas transport are considered from gas-distributing points to the users in the gas-transport system. The necessity of synthesis of the territorial-distributed system of monitoring of gas transport is grounded. The mathematical model of planning of estimation of the controlled indexes is offered in the system of monitoring of gas transport, which will allow promoting efficiency of gas transport. Figs: 1. Refs: 9 titles.

Key words: gas-distributing point, synthesis, system of monitoring of gas transport, model, controlled indexes.

Поступила в редакцію 02.10.2009

А.А. ОЛЕЙНИК, аспирант ЗНТУ (г. Запорожье),
С.А СУББОТИН, канд. техн. наук, ЗНТУ (г. Запорожье)

РЕДУКЦИЯ БАЗ НЕЧЁТКИХ ПРАВИЛ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА

В статье рассмотрена актуальная задача отбора и преобразования баз нечётких правил, которые используются в экспертных системах. Для решения данной задачи предложен мультиагентный метод с непрямой связью между агентами, учитывающий взаимовлияние правил при прогнозировании. Проведены эксперименты по решению тестовых задач. Полученные результаты показали эффективность разработанного метода. Ил.: 1. Библиогр.: 21 назв.

Ключевые слова: база нечётких правил, экспертная система, мультиагентный метод.

Постановка проблемы и анализ литературы. В настоящее время экспертные системы, основанные на нечётких правилах [1 – 3], успешно применяются в различных прикладных областях, таких как: медицинская и техническая диагностика, финансовый менеджмент, распознавание образов, управление технологическими процессами и др. Широкое применение таких систем объясняется, в первую очередь, тем, что данные системы являются логически прозрачными и относительно дешёвыми в реализации.

Поскольку базы нечётких правил в экспертных системах часто характеризуются большим объёмом, то актуальной является задача объединения и преобразования нечётких правил, суть которой заключается в том, чтобы на основе начального набора нечётких правил сформировать новую базу правил меньшего объёма, которая в достаточной мере представляла бы начальную базу и была бы менее избыточной.

Пусть задана база нечётких правил $\Omega = \{R^1, R^2, \dots, R^{RN}\}$, описывающая объекты обучающей выборки $O = \{O^1, O^2, \dots, O^N\}$. Тогда на основе обучающей выборки объектов O и лингвистических термов, использующихся в исходной базе нечётких правил Ω , требуется сформировать такую базу нечётких правил $\Omega^* = \{R^1, R^2, \dots, R^{RN^*}\}$, $RN^* \ll RN$, которая обеспечивала бы качество прогнозирования нечёткой системы, построенной на основе полученной базы нечётких правил Ω^* , в допустимом пределе:

$$Q(\Omega^*) \geq Q_{threshold} \cdot \quad (1)$$

Существуют различные методы преобразования и объединения нечётких правил [4, 5], однако эти методы при обработке правил анализируют их качество по отдельности, не рассматривая и не учитывая качество всей базы в целом, что приводит к получению неоптимальных баз нечётких правил. Поэтому актуальной является разработка новых методов преобразования и

объединения нечётких правил, которые учитывали бы качество всей базы знаний, а не только отдельных правил. Задача преобразования и объединения нечётких правил может быть рассмотрена как задача дискретной оптимизации, в которой поиск производится в пространстве дискретных состояний, которые описываются наличием в правиле различных термов.

Одним из новых направлений искусственного интеллекта является роевой интеллект (Swarm Intelligence) [6]. Среди методов роевого интеллекта [7 – 14] наиболее приспособленным для решения задач дискретной оптимизации является метод муравьиных колоний [7, 8]. Поскольку задача преобразования и объединения нечётких правил может быть отнесена к задачам дискретной оптимизации, в данной работе исследуется применение мультиагентного подхода с непрямой связью между агентами для преобразования и объединения нечётких правил.

Цель статьи – разработка мультиагентного метода с непрямой связью между агентами для преобразования и объединения нечётких правил.

Принципы нечёткого вывода и оценка покрытия нечётких правил. Нечёткий вывод осуществляют на основе нечёткой базы знаний. Нечёткая база знаний о влиянии факторов на значение выходного параметра представляет собой совокупность логических выражений типа "ЕСЛИ <антецедент>, ТО <консеквент>", в которых антецеденты описывают значения входов, являющихся условием срабатывания правила, а консеквентом является класс экземпляра с заданными значениями входных параметров [15, 16].

Существуют различные методы нечёткого вывода [15, 17]. Однако в контексте рассматриваемой задачи объединения и преобразования нечётких правил традиционно применяется метод нечёткого вывода, основанный на выборе для классифицируемого экземпляра правила с наибольшим соответствием (single winner based-method) [18].

Пусть для объекта o , характеризующегося значениями факторов $\{o^1, o^2, \dots, o^p\}$, необходимо определить его класс по заданной базе правил. Тогда, в соответствии с рассматриваемым подходом нечёткого вывода, необходимо определить степень соответствия между каждым j -м правилом R_j и экземпляром o :

$$\text{match}(R_j, o) = \min(\text{matchAttr}(R_j^1, o^1), \dots, \text{matchAttr}(R_j^p, o^p), \dots, \text{matchAttr}(R_j^p, o^p)),$$

где $\text{match}(R_j, o)$ – степень соответствия между правилом R_j и экземпляром o ; $\text{matchAttr}(R_j^p, o^p)$ – мера соответствия между p -ым атрибутом в правиле R_j и соответствующим атрибутом экземпляра o , которая рассчитывается в соответствии с формулой:

$$matchAttr(R_j^p, o^p) = \begin{cases} 1, R_j^p = \emptyset; \\ \max_q (\min(m_q(R_j^p), m_q(o^p))), \forall q = \overline{1, Q^p}, R_j^p \neq \emptyset, \end{cases}$$

где q – отдельный терм, относящийся к области описания атрибута p ; Q^p – количество термов, относящихся к области описания атрибута p .

Таким образом, в соответствии с данным подходом, после оценки всех $match(R_j, o)$ выбирается то правило, которому экземпляр соответствует в наибольшей степени. После определения правила с наибольшей степенью соответствия, данное правило используется для классификации экземпляра o .

Такой подход определения степени соответствия между правилом и отдельным экземпляром может быть использован не только в процессе классификации, но и в процессе решения задачи объединения и преобразования правил, поскольку позволяет оценить степень соответствия между отдельным правилом и объектом, а также позволяет определить, сколько экземпляров отдельного класса заданное правило может оценить в пределах заданной степени соответствия.

Метод муравьиных колоний. Метод муравьиных колоний является мультиагентным эвристическим итеративным методом случайного поиска с непрямой связью между агентами [8, 19, 20]. Поведение агентов моделируется как процесс перемещения и исследования пространства поиска. Особенностью моделируемого перемещения является моделирование выделения феромонов, которые агенты оставляют на пути в процессе своего перемещения. Феромоны в процессе работы испаряются. Таким образом, на наилучшем пути остаётся большее количество феромонов, поскольку добавление феромонов происходит чаще, чем испарение. А поскольку выбор пути для перемещения агентов основывается на информации о количестве феромонов, то агенты выбирают лучший путь. Обобщённая схема работы метода муравьиных колоний представлена на рис.

На этапе инициализации задаются параметры метода, влияющие на его работу. Далее происходит передвижение агентов между узлами графа, в результате чего, после окончания передвижения каждого агента формируются решения, из которых выбирается лучшее на данной итерации. Далее выполняется проверка на окончание работы метода (критерием окончания работы может быть заданное количество итераций или некоторый критерий для выбранного решения). После чего, если проверка закончилась успешно, то происходит окончание поиска, в процессе которого выбирается самое лучшее решение из всех, которые встречались на пройденных итерациях. Если же проверка была неуспешной, то производится обновление граней, которое заключается в имитации испарения реальных феромонов в природе, и перезапуск агентов.

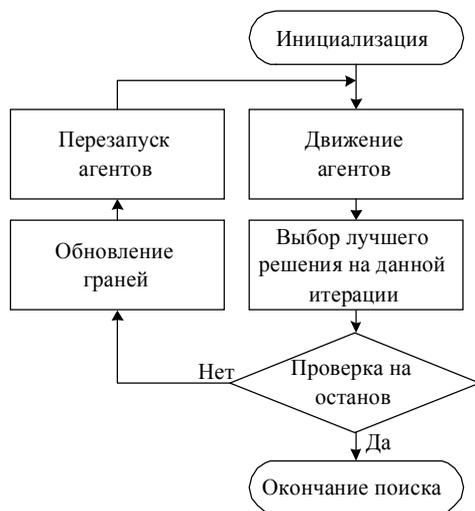


Рис. Обобщённая схема работы метода муравьиных колоний

Основываясь на основных принципах метода муравьиных колоний, его разновидностях и областях применения [7, 8, 18, 19], можно выделить следующие преимущества и недостатки.

К преимуществам метода муравьиных колоний можно отнести то, что:

- он может использоваться в динамических приложениях (агенты адаптируются к изменениям окружающей среды);
- в процессе поиска метод использует память всей колонии, что достигается за счёт моделирования выделения феромонов;
- сходимость метода к оптимальному решению гарантируется;
- стохастичность оптимизационного процесса, то есть случайность поиска, за счёт чего исключается возможность зацикливания в локальном оптимуме;
- мультиагентность метода;
- скорость нахождения оптимального решения у метода муравьиных колоний выше, чем у традиционных методов;
- применяется к множеству различных задач оптимизации.

Можно выделить следующие недостатки метода муравьиных колоний:

- теоретический анализ затруднён, поскольку итоговое решение формируется в результате последовательности случайных решений; распределение вероятностей меняется при итерациях; исследования являются больше экспериментальными, чем теоретическими;
- сходимость гарантируется, но время сходимости не определено;
- высокая итеративность метода;

– результат работы метода достаточно сильно зависит от начальных параметров поиска, которые подбираются экспериментально.

Таким образом, можно отметить, что рассматриваемый мультиагентный метод с непрямой связью может эффективно решать задачи преимущественно дискретной оптимизации, которые должны удовлетворять следующим требованиям:

– задача должна быть описана в виде графа с набором узлов и граней между узлами;

– задача должна допускать применение эвристических мер адекватности отдельных элементов в графе поиска;

– допускать составление альтернативных решений, посредством чего можно рационально определять допустимые решения;

– иметь правило обновления феромонов – правило, которое определяет вероятность перемещения агента из одного узла графа к другому.

Мультиагентный метод с непрямой связью между агентами для преобразования и объединения нечётких правил. Для решения задачи преобразования и объединения нечётких правил на основе мультиагентного подхода с непрямой связью между агентами необходимо привести основные этапы метода муравьиных колоний в соответствии с особенностями решаемой задачи.

1. *Инициализация.* Создаётся граф поиска, задаются параметры работы, а также эвристические меры важности отдельных узлов. В контексте решения задачи преобразования и объединения нечётких правил граф поиска будет состоять из узлов, которые представляют собой отдельные лингвистические термы, которые могут быть включены в antecedentes правил. В качестве эвристической меры значимости узла предлагается использовать меру важности данного лингвистического термина для описания соответствующего класса выходного значения.

2. *Перемещение агентов.* В процессе перемещения агенты должны принимать решение, какой терм добавить в создаваемое правило. Для такого решения применяется правило случайного выбора, основанное на эвристических мерах важности и мере приоритетности, которая базируется на моделировании выделения феромонов агентами в процессе перемещения. Таким образом, на данном этапе должен осуществляться выбор и добавление нового лингвистического термина в формируемое правило. Решение о прекращении перемещения отдельного агента необходимо принимать, основываясь на том, насколько хорошо сформированное правило описывает соответствующий класс экземпляров.

3. *Моделирование выделения феромонов.* Выделение феромонов влияет на изменение меры приоритетности узла. В традиционном методе муравьиных колоний изменение меры приоритетности зависит от длины пройденного агентом пути. В данном случае в качестве меры изменения меры приоритетности необходимо использовать качество покрытия отдельной базой

правил входного множества экземпляров. При этом предлагается добавление феромонов выполнять в соответствии с элитной стратегией, что позволит обеспечить более быструю сходимость к итоговому решению.

4. *Обновление феромонов.* Для исключения решений, которые характеризуются плохим качеством покрытия исходных классов, необходимо осуществлять испарение феромонов, что понижает меру приоритетности тех термов, включение которых в правила является нежелательным. Процедура обновления феромонов не имеет каких-либо существенных особенностей для решаемой задачи, поэтому её можно применять для преобразования и объединения нечётких правил.

Важной особенностью разрабатываемого мультиагентного метода с непрямой связью между агентами для преобразования и объединения нечётких правил является то, что для каждого отдельного класса экземпляров требуется создавать отдельное пространство поиска, а, соответственно, и отдельные матрицы эвристических мер важности и феромонов, а также в каждом отдельном пространстве поиска будет выполняться поиск отдельным множеством агентов. Это объясняется тем, что важность и приоритетность отдельно взятого лингвистического термина различна для различных классов экземпляров.

В соответствии с указанными особенностями этапов выполнения мультиагентного метода с непрямой связью между агентами в контексте решения задачи преобразования и объединения нечётких правил, а также с описанными ранее подходами оценки покрытия нечётких правил, был разработан мультиагентный метод, который представлен в виде последовательности шагов 1 – 17.

Шаг 1. Инициализация. Задаются статические параметры работы метода: коэффициенты α, β, ρ . Для каждого из возможных классов выходных значений создаётся своё пространство поиска, и, соответственно, своё отдельное множество агентов, отдельный граф поиска, представляющий собой лингвистические термины, которые могут быть включены в правила, а также для каждого пространства поиска рассчитываются эвристические значения значимости отдельного термина для соответствующего класса

$$\eta_p^q = \frac{\sum_{o=1}^N \min(\mu_p(o), \mu_q(o))}{\sum_{o=1}^N \mu_q(o)}, \quad p = \overline{1, T}, \quad q = \overline{1, K},$$

где η_p^q – значение эвристической значимости лингвистического термина p для описания класса q ; o – экземпляр входной выборки, содержащей N экземпляров; $\mu_p(o), \mu_q(o)$ – значение функции принадлежности объекта o

терму p и классу q , соответственно; T – количество лингвистических термов; K – количество классов.

В каждом пространстве поиска каждому узлу графа поиска ставится в соответствие начальное значение количества феромонов τ_{init}

$$\tau_p^q(1) = \tau_{init}, \quad p = \overline{1, T}, \quad q = \overline{1, K}, \quad (2)$$

где $\tau_p^q(1)$ – значение количества феромонов для p -го термина в пространстве поиска для q -го класса на первой итерации поиска.

Шаг 2. Установить: $t = 1$.

Шаг 3. Установить: $i = 1$.

Шаг 4. Установить: $j = 1$.

Шаг 5. Установить: $k = 1$.

Шаг 6. Выбор термина для добавления в правило j -го агента в пространстве поиска i -го класса.

Шаг 6.1. Для j -го агента на основе правила случайного выбора рассчитывается вероятность включения k -го лингвистического термина в правило, описывающего i -й класс выходного значения

$$P_k^{i,j} = \frac{\eta_k^i \cdot \tau_k^i(t)}{\sum_{p \in R^j} \eta_p^i \cdot \tau_p^i(t)}, \quad (3)$$

где $P_k^{i,j}$ – вероятность добавления k -го термина в правило j -го агента в пространстве поиска для i -го класса; R^j – множество термов, которые могут быть добавлены в правило j -го агента. Формирование данного множества определяет вид правил, которые могут составляться в процессе поиска, то есть предполагается, что правило может включать выражения типа ИЛИ. После добавления термина из данного множества исключается только данный терм, если же предполагается, что правило не может включать выражения типа ИЛИ, то кроме выбранного термина, исключаются и все термы, описывающие данный атрибут.

Шаг 6.2. Проверить условие

$$P_k^{i,j} > rand(1), \quad (4)$$

где $rand(1)$ – случайное число из интервала $[0; 1]$. Если условие выполняется, тогда лингвистический терм k добавляется в правило j -го агента, удаляется из множества возможных термов для данного агента и выполняется переход к шагу 7. В противном случае – переход к шагу 6.3.

Шаг 6.3. Установить $k = k + 1$.

Шаг 6.4. Если были рассмотрены все термы, то установить: $k = 1$.
Переход к шагу 6.1.

Шаг 7. Проверка завершения перемещения j -го агента.

Шаг 7.1. Если множество термов, которые j -й агент может добавить в формируемое правило, пусто, то выполняется переход к шагу 8.

Шаг 7.2. Определяется, сколько экземпляров i -го класса покрывает правило j -го агента.

Шаг 7.2.1. Для экземпляра o , относящегося к классу i , рассчитывается степень соответствия сформированного правила R_j и экземпляра o

$$match(R_j, o) = \min(matchAttr(R_j^1, o^1), \dots, matchAttr(R_j^p, o^p), \dots, matchAttr(R_j^q, o^q)),$$

где $match(R_j, o)$ – степень соответствия между правилом j -го агента R_j и экземпляром o ; $matchAttr(R_j^p, o^p)$ – мера соответствия между p -м атрибутом в правиле R_j и соответствующим атрибутом экземпляра o . Данная мера рассчитывается следующим образом:

$$matchAttr(R_j^p, o^p) = \begin{cases} 1, R_j^p = \emptyset; \\ \max_q (\min(m_q(R_j^p), m_q(o^p))), \forall q = \overline{1, Q^p}, R_j^p \neq \emptyset, \end{cases} \quad (5)$$

где q – отдельный терм, относящийся к области описания атрибута p ; Q^p – количество термов, относящихся к области описания атрибута p .

Шаг 7.2.2. Проверить условие

$$match(R_j, o) \geq inMatchMin, \quad (6)$$

где $inMatchMin$ – заданный параметр, который определяет, какое минимальное значения соответствия является достаточным, чтобы считать, что правило R_j в достаточной степени описывает объект o .

Если условие выполняется, то считается, что данный объект o покрывается правилом R_j .

Шаги 7.2.1 и 7.2.2 выполняются для всех экземпляров, относящихся к классу i , и на основании получаемых данных увеличивается счётчик $cntMatch$, в котором хранится количество экземпляров, покрываемых правилом R_j .

Шаг 7.3. Проверить условие

$$cntMatch \geq inCntMatchMin_i, \quad (7)$$

где $inCntMatchMin_i$ – предельное минимальное количество экземпляров i -го класса, которое должно покрываться правилом.

Если указанное условие выполняется, то считается, что правило покрывает необходимое количество экземпляров, и j -й агент завершил своё перемещение, выполняется переход к шагу 8. В противном случае – выполняется переход к шагу 5.

Шаг 8. Если $j < cntAgents$, то установить: $j = j + 1$ и выполнить переход к шагу 5. В противном случае – переход к шагу 9.

Шаг 9. Если $i < k$, то установить: $i = i + 1$ и выполнить переход к шагу 4. В противном случае – переход к шагу 10.

Шаг 10. Случайным образом формируются базы правил. Создаётся n баз правил, при этом для описания каждого класса выходного значения выбирается одно правило из соответствующего пространства поиска.

Шаг 11. Оценка качества сформированных баз правил. Для оценки качества баз правил используется входная обучающая выборка, для каждого экземпляра которой выбирается правило с самой высокой степенью совпадения, на основании которого определяется расчётный класс, к которому относится данный экземпляр, основываясь на соответствующей базе правил. Основываясь на данных о классе экземпляров, полученных при помощи базы знаний, и классе экземпляров, исходя из заданной обучающей выборки, рассчитывают оценку качества базы правил:

$$Q = \frac{cntNotMatch}{N}, \quad (8)$$

где $cntNotMatch$ – количество экземпляров, для которых класс был определён неверно с помощью заданной базы правил; Q – качество прогнозирования класса экземпляров на основе соответствующей базы правил.

Шаг 12. Проверить условие

$$Q_{high} \geq Q_{threshold}, \quad (9)$$

где Q_{high} – качество прогнозирования базы знаний, которая характеризуется наилучшей точностью прогнозирования; $Q_{threshold}$ – приемлемое качество прогнозирования.

Если указанное условие выполняется, то производится переход к шагу 17, в противном случае – переход к шагу 13.

Шаг 13. Добавление феромонов. Добавление феромонов выполняется с целью повышения приоритетности тех термов, включение которых в правила способствует повышению качеству прогнозирования результирующих баз правил. В связи с этим количество добавляемого коэффициента приоритетности прямо пропорционально качеству прогнозирования базы правила, в которое входит заданное нечёткое правило. При этом добавление феромонов предлагается выполнять только для тех термов, входящих в правила баз нечётких правил, для которых выполняется условие

$$Q_{\Omega} \geq \delta \cdot Q_{high}, \quad (10)$$

где δ – коэффициент, определяющий, насколько близко качество прогнозирования базы правил Q_{Ω} должно приближаться к лучшему качеству прогнозирования Q_{high} , чтобы можно было применять процедуру добавления феромонов для правил, входящих в данную базу правил Ω .

Таким образом, добавление феромонов выполняется для каждого терма, входящего в правило, которое, в свою очередь, входит в базу правил Ω

$$\tau_p^q(t) = \tau_p^q(t) + Q_{\Omega} \cdot \tau_p^q(t), \quad \forall p \in R, \quad \forall R \subset \Omega,$$

где $\tau_p^q(t)$ – количество феромонов для терма p в пространстве поиска для класса q , который определяется с помощью соответствующего правила.

Шаг 14. Испарение феромонов. Для исключения худших термов, то есть таких, которые при включении их в правила, понижают качество прогнозирования с помощью соответствующего правила, применяют процедуру испарения феромонов, которая выполняется в конце каждой итерации и применяется для всех узлов во всех графах поиска.

Испарение феромонов выполняется в соответствии с формулой

$$\tau_p^q(t+1) = \rho \cdot \tau_p^q(t), \quad p = \overline{1, T}, \quad q = \overline{1, K},$$

где ρ – коэффициент испарения, который задаётся при инициализации.

Шаг 15. Если $t < t_{\max}$, тогда установить: $t = t + 1$ и выполнить переход к шагу 16, в противном случае – считается, что выполнено максимально допустимое количество итераций, и выполняется переход к шагу 17.

Шаг 16. Перезапуск агентов. Все данные о перемещениях агентов обновляются, агенты размещаются в случайные точки пространств поиска. Переход к шагу 3.

Шаг 17. Останов.

Таким образом, можно отметить, что основной особенностью предложенного метода является учёт качества базы правил в целом, а не отдельных правил, за счёт чего, в частности, учитывается взаимное влияние правил при прогнозировании на основе соответствующей базы правил. Также существенной особенностью предложенного метода, по сравнению с традиционным методом, является то, что поиск производится одновременно на нескольких графах поиска, что вызвано необходимостью рассмотрения влияния термов на качество прогнозирования разных классов экземпляров.

Предложенный мультиагентный метод программно реализован в среде пакета Matlab 7.0. Для экспериментов использовались тестовые данные, взятые из общедоступных репозиториях [21]. Рассматривалась выборка, содержащая данные об эхокардиограммах пациентов, у которых когда-либо были сердечные приступы. Выборка содержала данные о 132 пациентах, каждое измерение характеризовалось 12 признаками, а также для каждого пациента указано его состояние (жив он или умер).

Разработанный метод сравнивался с каноническим методом эволюционного поиска [4] и методом, основанном на нечётком дереве принятия решений [5]. На основе проведенных экспериментов были получены базы нечётких правил, которые характеризовались следующей точностью классификации пациентов: 83,2%, 78,6% и 85,6% для метода эволюционного поиска, метода с использованием нечёткого дерева принятия решений и предложенного метода с непрямой связью между агентами, соответственно.

Таким образом, можно сделать вывод, что предложенный метод обеспечивает формирование редуцированной базы нечётких правил, которая характеризуется достаточно точными результатами прогнозирования, сокращая при этом временные затраты на прогнозирование.

Выводы. В статье решена актуальная задача объединения и преобразования нечётких правил. Научная новизна работы заключается в том, что предложен мультиагентный метод с непрямой связью между агентами для объединения и преобразования нечётких правил, позволяющий выполнять объединение нечётких правил во входной выборке, сокращая таким образом размер базы правил. Это ускоряет процесс прогнозирования в экспертных системах, использующих преобразованные нечёткие правила, что достигается за счёт моделирования агентов с использованием непряой связи между ними в разных пространствах поиска для отдельных классов экземпляров. В отличие от известных методов объединения и преобразования нечётких правил, предложенный метод в процессе своей работы ориентирован на оценку качества прогнозирования базы правил в целом, а не отдельных нечётких правил, что позволяет учесть взаимовлияния между правилами, за счёт чего достигается более высокая точность прогнозирования редуцированной базы правил.

Практическая ценность работы заключается в разработке программного обеспечения, позволяющего на основе предложенного мультиагентного метода с непряой связью между агентами выполнять преобразование и объединение нечётких правил входной выборки. Получаемая таким образом сокращённая база нечётких правил может быть использована в экспертных системах нечёткого вывода.

Список литературы: 1. *Zadeh L.* Fuzzy sets / *L. Zadeh* // Information and Control. – 1965. – № 8. – P. 338–353. 2. *Mamdani E.H.* An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller / *E.H. Mamdani, S. Assilian* // Int. J. Man-Machine Studies. – 1975. – Vol. 7. – № 1. – P. 1–13. 3. *Bellman R.E.* Decision-Making in Fuzzy Environment / *R.E. Bellman, L.A. Zadeh* // Management Science. – 1970. – № 4. – P. 141–160. 4. *Yuan Y.* Induction of fuzzy decision trees / *Y. Yuan, M. Shaw* // Fuzzy Sets and Systems. – 1995. – № 69. – P. 125–139. 5. *Yuan Y.* A genetic algorithm for generating fuzzy classification rules / *Y. Yuan, H. Zhuang* // Fuzzy Sets and Systems. – 1996. – № 84. – P. 4–19. 6. *Beni G.* Swarm Intelligence / *G. Beni, J. Wang* // Annual Meeting of the Robotics Society: Proceedings of Seventh International Conference. – Tokyo: RSJ Press, 1989. – P. 425–428. 7. *Dorigo M.* Optimization, Learning and Natural Algorithms / *M. Dorigo*. – Milano: Politecnico di Milano, 1992. – 140 p. 8. *Олейник А.А.* Сравнительный анализ методов оптимизации на основе метода муравьиных колоний / *А.А. Олейник* // Комп'ютерне моделювання та інтелектуальні системи: Збірник наукових праць / За ред. Д.М. Пізи, С.О. Субботіна. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2007. – С. 147–159. 9. *Sumpter D.J.T.* Formalising the Link between Worker and Society in Honey Bee Colonies / *D.J. Sumpter, D.S. Broomhead* // Lecture Notes In Computer Science: Proceedings of the First International Workshop on Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation // MABS '98 LNAI, 1998. – P. 95–110. 10. *De Castro L.N.* Artificial Immune Systems. Part I. Basic Theory And Applications / *L.N. De Castro, F.J. Von Zuben*. – Technical Report No. Rt Dca 01/99. – Brazil: Feec/Unicamp, 1999. – 95 p. 11. *Subbotin S.A.* PSO with Control of Velocity Change for Feature Selection / *S.A. Subbotin, A.A. Oleynik* // Inductive Modeling: Proceedings of 2nd International Conference ICIM'2008, 15–19 May 2008. – Kyiv, 2008. – P. 81–83. 12. *Lučić P.* Bee System: Modeling Combinatorial Optimization

Transportation Engineering Problems by Swarm Intelligence / P. Lučić, D. Teodorović // Transportation Analysis: Proceedings of the Triennial Symposium TRISTAN IV. – Sao Miguel: Azores Press, 2001. – P. 441–445. **13.** Passino K.M. Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control / K. M. Passino // IEEE Control System Magazine, 2002. – № 3 (22). – P. 52–67. **14.** Transmission Loss Reduction Based on FACTS and Bacteria Foraging Algorithm / M. Tripathy, S. Mishra, L.L. Lai., Q.P. Zhang // Proceedings of 9th International Conference of Parallel Problem Solving from Nature. – Heidelberg: Springer, 2006. – P. 222–231. **15.** Субботін С.О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: монографія / С.О. Субботін, А.О. Олійник, О.О. Олійник; під заг. ред. С.О. Субботіна. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. – 375 с. **16.** Pedrycz W. Fuzzy Modelling: Paradigms and Practice / W. Pedrycz. – Berlin Springer, 1996. – 416 p. **17.** Terano T. Fuzzy Systems Theory and Its Applications / T. Terano, K. Asai, M. Sugeno. – San Diego: Academic Press, 1992. – 268 p. **18.** Sánchez L. Boosting fuzzy rules in classification problems under single-winner inference / L. Sánchez, J. Otero // International Journal of Intelligent Systems. – 2007. – № 9 (22). – P. 1021-1035. **19.** Dorigo M. The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents / M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Colomi // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1996. – Part B. – № 26 (1). – P. 29–41. **20.** Bullnheimer B. A new rank-based version of the Ant System: A computational study / B. Bullnheimer, R.F. Hartl, C. Strauss // Central European Journal for Operations Research and Economics. – 1999. – № 7 (1). – P. 25–38. **21.** UCI Machine Learning Repository [electronic resource] / Center for Machine Learning and Intelligent Systems. – Access mode: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets.html>.

УДК 004.93

Редукція баз нечітких правил на основі мультиагентного підходу / Олійник О.О., Субботін С.О. // Вісник НТУ "ХП". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХП". – 2009. – № 9. – С. 126–137.

У статті розглянуто актуальну задачу відбору та перетворення баз нечітких правил, які використовуються в експертних системах. Для розв'язку даної задачі запропоновано мультиагентний метод з прямим зв'язком між агентами, що враховує взаємовплив правил при прогнозуванні. Проведено експерименти по розв'язку тестових задач. Отримані результати засвідчили ефективність розробленого методу. Іл.: 1. Бібліогр.: 21 назв.

Ключові слова: база нечітких правил, експертна система, мультиагентний метод.

UDC 004.93

The fuzzy rule base reduction based on multiagent approach / Oleynik A.A., Subbotin S.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – № 43. – P. 126–137.

The actual problem of fuzzy rules induction is considered. The multiagent method with direct connections between agents for this problem is proposed. The developed method takes into account interferences between rules. Experiments on benchmarks are lead. Observed results showed effectiveness of developed method. Figs: 1. Refs: 21 titles.

Key words: fuzzy logic, fuzzy rules base, multiagent method.

Поступила в редакцію 15.09.2009

А.Б. ПЕТРОВСКИЙ, д-р техн. наук, зав. лаб., Институт системного анализа РАН (г. Москва),

Г.В. РОЙЗЕНЗОН, канд. техн. наук, с.н.с., Институт системного анализа РАН (г. Москва),

И.П. ТИХОНОВ, канд. техн. наук, нач. отд., Российский фонд фундаментальных исследований (г. Москва),

А.В. БАЛЫШЕВ, канд. биол. наук, зам. нач. отд., Российский фонд фундаментальных исследований (г. Москва)

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ НАУЧНЫХ ПРОЕКТОВ*

Существует достаточно большое число практических задач принятия решений, в которых требуется разработать интегральные показатели деятельности, например, оценка результативности фундаментальных исследований. В работе предложен новый подход к многокритериальной оценке результативности научных проектов и описаны результаты апробации подхода при экспертизе в Российском фонде фундаментальных исследований. Ил.: 2. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: интегральные показатели деятельности, результативность научных проектов, многокритериальная оценка.

Постановка проблемы. Задачи инновационного и диверсифицированного развития отечественной экономики могут быть успешно решены при условии использования новых технологий, основанных, в том числе, и на научных разработках, имеющих фундаментальный характер. Для достижения этих целей необходимо отобрать научные разработки, представляющие интерес с точки зрения возможности их практического применения. Использование наиболее результативных проектов можно рассматривать как с точки зрения их непосредственного применения на практике (например, патентоспособность или взаимодействие с организациями, в которых предполагается использовать результаты проекта), так и для дальнейшей определенной доработки в случае формирования каких-либо целевых программ (например, программы по высокотемпературной сверхпроводимости [1], программы по нанотехнологиям и т.п.).

Фундаментальные научные исследования также можно трактовать с нескольких позиций. Первый аспект – культурно-образовательный. Результативная реализация проектов позволяет поддерживать (а в ряде случаев и просто сохранять) научные школы, готовить новые

* Работа поддержана программами фундаментальных исследований президиума РАН "Интеллектуальные информационные технологии, математическое моделирование, системный анализ и автоматизация" и ОНИТ РАН "Информационные технологии и методы анализа сложных систем", Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 07-01-00515, 08-01-00247, 08-07-13532, 09-07-00009).

профессиональные научные кадры, привлекать молодежь в науку. Второй аспект – познавательный. Наиболее результативные проекты "генерируют" по-настоящему новые знания, без которых просто невозможно говорить о построении "экономики знаний". И, наконец, третий аспект – экономический. В такой трактовке целесообразна оценка наиболее результативных проектов исходя из возможности получения максимальной отдачи от внедрения новых технологий (например, рост производительности труда или экономия материалов) [2].

Анализ литературы. Значительный опыт в организации и проведении экспертизы целевых фундаментальных исследований и полученных результатов, представляющих интерес с точки зрения возможности их практического применения в федеральных агентствах и ведомствах, накоплен в Российском фонде фундаментальных исследований (РФФИ). Отбор проектов на конкурсной основе с привлечением экспертов проводится в фонде, начиная с 1991 года. В качестве другого примера уместно привести активное развитие в последние годы в России системы венчурных фондов и создание различных технопарков. Проблемам планирования, экспертной оценки и отбора научных исследований посвящено достаточно много работ [1 – 6].

Конкурсный отбор проектов относится к числу слабо структурируемых задач принятия решений. Для фундаментальных исследований вообще, и для проектов РФФИ в частности, характерна высокая степень неопределенности и риска, связанных с получением нового знания. Специфика задачи требует использования естественного языка описания проблемы на всех этапах отбора проектов, как при оценке экспертами, так и при получении объяснений принимаемых решений. Для эффективного использования результатов научных исследований необходимо формализовать понятие "результативность проекта" применительно к целевым фундаментальным исследованиям, выполняемым в интересах федеральных агентств и ведомств, на основе принятой в РФФИ системы критериев.

В соответствии с установленной в РФФИ методикой несколько экспертов оценивают завершающиеся проекты целевых фундаментальных исследований по восьми качественным критериям, имеющим порядковые шкалы оценок с вербальными описаниями, характеризующимися небольшим числом градаций качества (2 – 5). Такой подход позволяет получить от экспертов более достоверную информацию и оперировать профессиональным языком с использованием терминологии, в определенной степени унифицированной для представителей разных областей знаний. Анкета оценки отчета о выполнении исследований состоит из двух больших разделов: оценка полученных результатов проекта и ожидаемые результаты завершающей стадии проекта. Эти аспекты играют существенную роль при формализации понятия "результативность проекта" и позволяют сформировать интегральный показатель результативности.

Существует несколько различных методологических подходов, которые позволяют конструировать интегральные показатели на основании агрегирования признаков, описывающих рассматриваемые объекты [7]. Однако, например, методы, использующие свертку многих критериев с применением весовых коэффициентов [8], не позволяют по агрегированным критериям восстановить исходные данные, т.е. получение объяснений принятых решений фактически невозможно. Кроме того, весьма затруднительно обосновать назначение весов критериев, особенно при наличии нескольких экспертов.

Во многих практических случаях разработку интегральных показателей целесообразно свести к задаче многокритериальной порядковой классификации. Интегральные показатели будут выступать в этом случае в качестве классов решений. Именно такой подход использован для формализации понятия "результативность проекта". Для разделения проектов на несколько упорядоченных классов (групп) можно воспользоваться одним из методов вербального анализа решений, ориентированного на построение классификации многопризнаковых объектов, например, методом ОРКЛАСС [9]. Вместе с тем, при количестве критериев равном 8 и 2 – 5 оценках на шкалах критериев от эксперта потребуются достаточно большие временные затраты для построения полной непротиворечивой порядковой классификации.

Для преодоления указанных трудностей разработан метод ПАКС (Последовательное Агрегирование Классифицируемых Состояний), основанный на последовательном снижении размерности признакового пространства, образованного дискретными качественными (вербальными) признаками [10]. Метод предоставляет в распоряжение лица, принимающего решение (ЛПР), инструментарий, дающий возможности агрегировать большое число исходных характеристик в небольшое число составных критериев, имеющих небольшие шкалы оценок, отражающих предпочтения ЛПР. При построении шкал составных критериев используются разные способы ранжирования и/или классификации многомерных альтернатив исходя из предпочтений ЛПР. **Цель статьи** – описать метод ПАКС.

Метод многокритериальной классификации ПАКС. Изложим основные моменты метода ПАКС. Формальная постановка задачи снижения размерности признакового пространства имеет следующий вид:

$$X_1 \times \dots \times X_m \rightarrow Y_1 \times \dots \times Y_n, n < m,$$

где X_1, \dots, X_m – исходный набор признаков, Y_1, \dots, Y_n – новый набор признаков, m – размерность исходного признакового пространства, n – размерность нового признакового пространства. Каждый из признаков имеет свою собственную шкалу $X_i = \{x_i^1, \dots, x_i^{g_i}\}$, $i = 1, \dots, m$, $Y_j = \{y_j^1, \dots, y_j^{h_j}\}$, $j = 1, \dots, n$ с упорядоченной градацией оценок.

Рассмотрим задачу снижения размерности признакового пространства как задачу многокритериальной классификации, в которой различные комбинации исходных признаков (кортежи оценок) последовательно агрегируются в меньшие наборы новых признаков, имеющих для ЛПР вполне определенный смысл. Итогом является иерархическая система критериев, верхний уровень которой определяется содержанием практической проблемы.

Назовем *составным критерием* интегральный показатель, который определяет выбранное ЛПР свойство вариантов, агрегирующее исходные характеристики. Каждая градация шкалы составного критерия является комбинацией оценок исходных показателей. Процедура агрегирования показателей является многоуровневой иерархической структурой со "слабыми" связями, в которой элемент нижележащего уровня (оценки исходных показателей) подчинен двум и более вершинам вышестоящего уровня (оценкам составных критериев). Переходя шаг за шагом на более высокий уровень иерархии, ЛПР может сконструировать приемлемые для него составные критерии вплоть до одного единственного.

Представим процедуру построения шкал составных критериев в виде однотипных блоков. Блоки содержательно выделяются ЛПР в зависимости от специфики решаемой задачи. Каждый блок классификации i -го уровня иерархии состоит из некоторого набора признаков и одного составного критерия. В качестве объектов классификации выступают все градации оценок на шкалах признаков. Классами решений i -го уровня служат градации оценок на шкале составного критерия.

В блоке классификации $(i+1)$ -го уровня иерархии составные критерии i -го уровня считаются признаками, множество градаций оценок которых представляет собой новые объекты классификации в сокращенном признаковом пространстве, а классами решений будут теперь градации оценок на шкале составного критерия $(i+1)$ -го уровня. Процедура повторяется до тех пор, пока не останется единственный составной критерий верхнего уровня, являющийся искомым интегральным показателем, шкала оценок которого образует упорядоченные классы решений D_1, \dots, D_q . Тем самым устанавливается соответствие между классами решений D_1, \dots, D_q и совокупностью исходных показателей – множеством X_1, \dots, X_m всех возможных комбинаций градаций оценок на шкалах критериев $X_i = \{x_i^1, \dots, x_i^{g_i}\}$, $i = 1, \dots, m$, и находятся границы классов, что позволяет легко построить классификацию реальных альтернатив (вариантов) V_1, \dots, V_p , оцененных по многим критериям K_1, \dots, K_m .

Для формирования шкал оценок по составным критериям ЛПР может воспользоваться несколькими способами из арсенала средств вербального анализа решений. Наиболее простым и легко воспринимаемым ЛПР методом конструирования порядковой шкалы составного критерия является метод стратификации кортежей, в котором используются однотипные (например, с одинаковым числом градаций) наборы порядковых вербальных шкал

исходных показателей. Идея метода стратификации кортежей основана на сечении многомерного дискретного признакового пространства параллельными гиперплоскостями. Каждый слой (страта) состоит из однотипных комбинаций оценок на шкалах критериев X_i , а число таких сечений (оценок) определяется ЛПП из содержательных соображений. Максимально возможное число слоев можно рассчитать по формуле $L = 1 - m + \sum_{i=1}^m g_i$. Каждый слой образуется как комбинация кортежей оценок, сумма которых фиксирована. Число классов $q \leq L$. Более сложные процедуры построения шкал критериев используют методы вербального анализа решений ЗАПРОС и ОРКЛАСС [6], в которых рассматривается множество всех возможных кортежей оценок в признаковом пространстве, образованном декартовым произведением значений оценок на шкалах критериев. В этих случаях число возможных комбинаций оценок (альтернатив) равно $p = \prod_{i=1}^m g_i$.

Новый методологический подход к снижению размерности пространства качественных признаков обладает определенной универсальностью, так как в общем случае можно оперировать как символьной (качественной), так и числовой информацией. Важной особенностью предложенного подхода к снижению размерности признакового пространства является возможность его использования в сочетании с другими методами принятия решений и обработки информации, позволяя представить каждую градацию шкалы составного критерия в виде комбинации оценок базовых показателей.

Построение интегрального показателя результативности научных проектов. Разработанный метод формирования интегрального показателя результативности научных проектов был опробован в рамках используемой в РФФИ процедуры экспертной оценки выполненных проектов целевых фундаментальных исследований. Были исследованы возможные подходы, позволяющие различным образом формализовать понятие "результативность" проекта. Предложено два разных варианта агрегирования исходного множества комбинаций исходных экспертных оценок результатов, полученных по проектам, в промежуточные составные критерии, которые, в свою очередь, агрегировались в интегрированный критерий верхнего уровня. Шкалы критериев каждого уровня иерархии конструировались с помощью различных сочетаний методов, а именно: методом ОРКЛАСС (ОР); методом стратификации кортежей (СК); сначала (на нижнем уровне иерархии) методом стратификации кортежей, потом (на верхнем уровне иерархии) методом ОРКЛАСС (СК+ОР); сначала (на нижнем уровне иерархии) методом ОРКЛАСС, потом (на верхнем уровне иерархии) методом стратификации кортежей (ОР+СК).

Первый вариант формирования иерархической системы критериев опирается на структуру анкеты отчета, в которой выделены два основных

раздела: Оценка полученных результатов проекта и Ожидаемые результаты завершающей стадии проекта. Этим разделам можно сопоставить два составных критерия AK_1 и AK_2 , имеющие порядковые шкалы с четырьмя градациями: $Y_1 = \{0, 1, 2, 3\}$ и $Y_2 = \{0, 1, 2, 3\}$, где значения 0 – высокая, 1 – хорошая, 2 – средняя, 3 – низкая, являются вербальными оценками. Эти градации оценок выступают как классы решений первого уровня для исходных признаков (критериев). В этом случае исходные признаки K_1, K_2, K_3, K_4 попадают в составной критерий AK_1 , а признаки K_5, K_6, K_7, K_8 – в составной критерий AK_2 .

При формировании шкал составных критериев с помощью метода многокритериальной порядковой классификации ОРКЛАСС шкалы Y_1 и Y_2 имеют следующий вид.

Шкала Y_1 включает такие градации оценок (классы решений с границами): $y_1^1 = 0$ (высокая оценка научного уровня полученных результатов) – класс 0 (верхняя граница: 0000; нижняя граница: 1000, 0010, 0101); $y_2^1 = 1$ (хорошая оценка научного уровня полученных результатов) – класс 1 (верхняя граница: 2000, 1100, 1010, 0110, 1001, 0011, 0002; нижняя граница: 0110, 2001, 1101, 1011, 1002, 0102, 0012); $y_3^1 = 2$ (средняя оценка научного уровня полученных результатов) – класс 2 (верхняя граница: 2100, 0200, 2010, 1110, 0111, 2002, 1102, 1012; нижняя граница: 2200, 2111, 2102, 2012, 1112, 0212); $y_4^1 = 3$ (низкая оценка научного уровня полученных результатов) – класс 3 (верхняя граница: 1210, 1201, 2112; нижняя граница: 2212).

Для шкалы составного критерия Y_2 получены такие градации оценок: $y_1^2 = 0$ (высокий уровень ожидаемых результатов) – класс 0 (верхняя граница: 0000; нижняя граница: 0000); $y_2^2 = 1$ (хороший уровень ожидаемых результатов) – класс 1 (верхняя граница: 1000, 0100, 0010, 0001; нижняя граница: 1000, 0100, 0011, 0002); $y_3^2 = 2$ (средний уровень ожидаемых результатов) – класс 2 (верхняя граница: 1100, 1010, 0110, 1001, 0101, 0012; нижняя граница: 1111, 1012, 0112); $y_4^2 = 3$ (низкий уровень ожидаемых результатов) – класс 3 (верхняя граница: 1102; нижняя граница: 1112).

Рассмотрим теперь наборы всех оценок по составным критериям как объекты классификации следующего уровня, где классами решений D_1, \dots, D_5 являются градации оценок шкалы составного критерия верхнего уровня иерархии $Z = \{z_1, z_2, z_3, z_4, z_5\}$. Аналогичным образом, агрегируя показатели AK_1 и AK_2 , имеем: z_1 (наивысший показатель результативности) – класс D_1 (верхняя граница: 00; нижняя граница: 00); z_2 (высокий показатель результативности) – класс D_2 (верхняя граница: 10, 01; нижняя граница: 11); z_3 (средний показатель результативности) – класс D_3 (верхняя граница: 20, 02; нижняя граница: 31, 22, 13); z_4 (низкий показатель результативности) – класс D_4 (верхняя граница: 32, 23; нижняя граница: 32, 23); z_5 (неудовлетворительный показатель результативности) – класс D_5 (верхняя граница: 33; нижняя граница: 33).

Реальные альтернативы, имеющие оценки по исходным критериям, непосредственно относятся при классификации к сформированным классам решений. Отметим, что для построения конечных классов решений D_1, \dots, D_5 потребовалось получить от ЛПР ответы соответственно на 43 и 17 вопросов при формировании шкал Y_1 и Y_2 составных критериев AK_1 и AK_2 и ответы на 12 вопросов при формировании шкалы Z агрегированного критерия, что существенно меньше, чем при использовании других методов многокритериальной порядковой классификации.

Другой возможный вариант формирования иерархической системы критериев состоит во введении трех составных критериев: AK_1 – оценка полученных результатов проекта; AK_2 – ожидаемые результаты завершающей стадии проекта и AK_3 – возможности использования результатов в программах федеральных агентств и ведомств. Составной критерий AK_1 объединяет исходные признаки K_1, K_2 и K_3 ; AK_2 – признаки K_5, K_6 и K_7 ; AK_3 – признаки K_4 и K_8 .

Составные критерии AK_1, AK_2, AK_3 имеют порядковые шкалы с тремя градациями: $Y_1 = \{0, 1, 2\}$; $Y_2 = \{0, 1, 2\}$; $Y_3 = \{0, 1, 2\}$, где значения 0, 1, 2 являются вербальными оценками (высокая, средняя, низкая), определяемыми содержанием соответствующих составных критериев, и выступают как классы решений первого уровня. Для формирования шкал составных критериев использовались метод стратификации кортежей, метод ОРКЛАСС и их комбинации. С геометрической точки зрения метод стратификации кортежей состоит в "нарезке" многомерного параллелепипеда или прямоугольника на несколько групп наборов исходных признаков, число которых зависит от числа признаков, образующих составной критерий.

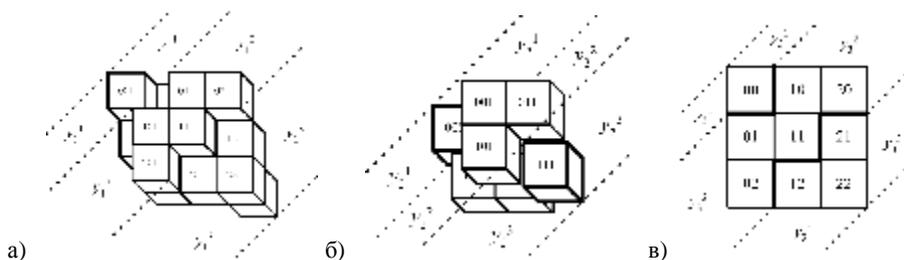


Рис. 1. Схема формирования шкал оценок для составных критериев AK_1, AK_2 и AK_3

Возможные градации оценок для шкалы критерия AK_1 представлены на рис. 1а. К классу 0 (оценка $y_1^1 = 0$) относится следующая комбинация оценок: (000), (001), (010), (100), к классу 2 (оценка $y_1^3 = 2$) – комбинация оценок (121), (211), (221), (220), а к классу 1 (оценка $y_1^2 = 1$) – все остальные комбинации оценок (011), (021), (101), (111), (201), (110), (200), (020), (210), (120).

Возможные градации оценок для шкалы критерия AK_2 представлены на рис. 1б. Класс 0 (оценка $y_2^1 = 0$) образует комбинация всех лучших оценок (000), класс 2 (оценка $y_2^3 = 2$) – комбинация всех худших оценок (111) и класс 1 (оценка $y_2^2 = 1$) – все остальные комбинации оценок (001), (011), (101), (100), (010), (110).

Возможные градации оценок для шкалы критерия AK_3 представлены на рис. 1в. Класс 0 (оценка $y_3^1 = 0$) составляют все лучшие оценки (00); класс 1 (оценка $y_3^2 = 1$) – комбинации оценок (01), (10), (02), (11), (20); класс 2 (оценка $y_3^3 = 2$) – комбинации оценок (12), (21), (22).

Аналогичным образом, агрегируя показатели AK_1, AK_2, AK_3 , имеем: класс D_1 (оценка z^1) состоит из всех лучших оценок (000); класс D_2 (оценка z^2) – из комбинаций оценок (100), (010), (001), (002), (101), (011), (200), (110), (020); класс D_3 (оценка z^3) – из комбинаций оценок (102), (012), (201), (111), (021), (210), (120); класс D_4 (оценка z^4) – из комбинаций оценок (202), (112), (022), (211), (121), (220), (212), (122), (221); класс D_5 (оценка z^5) – из всех худших оценок (222). Градации оценок для шкалы критерия $Z = \{z^1, z^2, z^3, z^4, z^5\}$ составного критерия верхнего уровня иерархии представлены на рис. 2.

При формировании шкал составных критериев с помощью метода ОРКЛАСС для шкалы Y_1 были получены следующие градации оценок (классы решений с границами): $y_1^1 = 0$ – класс 0 (верхняя граница: 000; нижняя граница: 100, 010, 001); $y_1^2 = 1$ – класс 1 (верхняя граница: 200, 110, 020, 101, 011; нижняя граница: 210, 120, 201, 111, 021); $y_1^3 = 2$ – класс 2 (верхняя граница: 220, 211, 121; нижняя граница: 221). Для шкал Y_2 и Y_3 составных критериев AK_2 и AK_3 получены такие градации оценок: $y_2^1 = 0$ – класс 0 (верхняя граница: 000; нижняя граница: 001); $y_2^2 = 1$ – класс 1 (верхняя граница: 100, 010; нижняя граница: 101, 011); $y_2^3 = 2$ – класс 2 (верхняя граница: 110; нижняя граница: 111); $y_3^1 = 0$ – класс 0 (верхняя граница: 00; нижняя граница: 00); $y_3^2 = 1$ – класс 1 (верхняя граница: 10, 01; нижняя граница: 20, 11, 02); $y_3^3 = 2$ – класс 2 (верхняя граница: 21, 12; нижняя граница: 22).

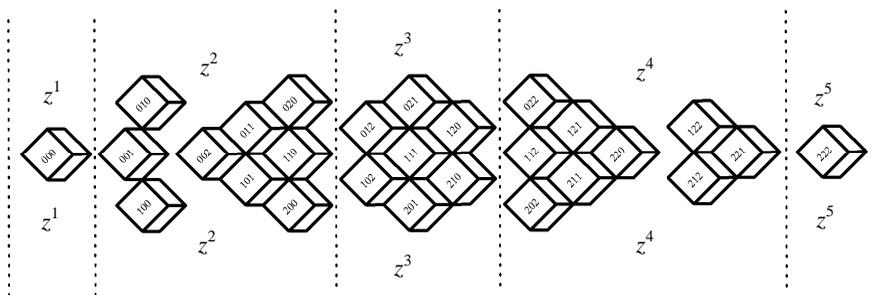


Рис. 2. Схема формирования шкалы оценок для составного критерия верхнего уровня иерархии

Рассматривая наборы всех оценок по составным критериям как объекты классификации следующего второго уровня, где классами решений D_1, \dots, D_5 являются градации оценок шкалы $Z = \{z^1, z^2, z^3, z^4, z^5\}$ составного критерия верхнего уровня иерархии, и агрегируя показатели AK_1, AK_2, AK_3 , получим для шкалы Z такие оценки: z^1 – класс D_1 (верхняя граница: 000; нижняя граница: 000); z^2 – класс D_2 (верхняя граница: 100, 010, 001; нижняя граница: 110, 101); z^3 – класс D_3 (верхняя граница: 200, 020, 011, 002; нижняя граница: 211, 121, 202, 112, 022); z^4 – класс D_4 (верхняя граница: 220, 212, 122; нижняя граница: 221, 212, 122); z^5 – класс D_5 (верхняя граница: 222; нижняя граница: 222).

Таким образом, реальные альтернативы, имеющие оценки по исходным критериям, непосредственно относятся при классификации к сформированным классам решений. Отметим, что для построения конечных классов решений D_1, \dots, D_5 потребовалось получить от ЛПР ответы на следующие числа вопросов: при формировании шкал Y_1, Y_2, Y_3 составных критериев AK_1, AK_2, AK_3 – соответственно на 16, 6 и 7 вопросов, при формировании шкалы Z агрегированного критерия – на 22 вопроса. Это существенно меньше, чем при использовании других методов многокритериальной порядковой классификации.

Апробация разработанной методики экспертного анализа результативности целевых фундаментальных исследований была проведена на массиве данных экспертных оценок отчетов по проектам, выполненным в интересах Федерального агентства по промышленности в 2005 – 2006 годах. Анализ результатов оценки результативности показал следующее: наивысший показатель получили соответственно по I варианту 5 проектов, а по II – 6 проектов; высокий показатель – 54 и 26 проектов; средний показатель – 9 и 46 проектов. Таким образом, I вариант агрегирования оценок по критериям дает более высокий интегральный показатель результативности, чем II вариант. В целом по двум вариантам интегральный показатель результативности совпадает в 25 случаях из 78 (39 проектов оценивались двумя экспертами). В остальных случаях интегральный показатель результативности отличался не более чем на одну градацию, что может рассматриваться как свидетельство достаточно высокой устойчивости результатов классификации альтернатив относительно исходных данных и выбранных способов построения шкал составных критериев на всех уровнях иерархии.

При построении интегрального показателя результативности проекта предпочтение целесообразно отдать второму варианту формирования иерархической системы критериев. Это обусловлено несколькими аспектами. Во-первых, второй вариант при оценке результативности выполнения проектов РФФИ делает акцент на возможности их практического использования. Во-вторых, при агрегировании показателей с использованием метода многокритериальной порядковой классификации требуется задать меньшее число вопросов ЛПР и тем самым дополнительно сэкономить его время. При агрегировании показателей с использованием метода

стратификации кортежей от ЛПР необходимо получить минимум информации. Фактически ЛПР должно задать число составных критериев и количество градаций на шкалах.

Выводы. Предложенный методологический подход многокритериальной оценки результативности научных проектов может быть успешно применен в различных областях, где необходимо получить интегральную оценку деятельности на основе исходной слабо структурируемой качественной информации. Практически невозможно априори назначить количественные шкалы оценок, сопоставив качественным факторам какие-либо числа так, чтобы они "правильно" выражали плохо формализуемые свойства объектов и одинаково понимались разными людьми. Тем более, числовые оценки неприменимы для измерения неординарных показателей, таких, например, как участие в выполнении проекта молодых ученых или междисциплинарный характер проекта.

Важной особенностью разработанного подхода является возможность сформировать разные наборы промежуточных составных критериев и воспользоваться разными способами конструирования их шкал. Сопоставление получаемых результатов для разных вариантов классификации и иерархических систем критериев позволяет сравнить их между собой для выбора как наиболее предпочтительной системы, так и оценки качества сделанного выбора. Подход дает возможность обосновать принятое решение и получить ощутимую экономию времени и трудозатрат ЛПР.

Результаты апробации подтвердили эффективность предложенного подхода. Были выявлены проекты целевых фундаментальных исследований, имеющие высокую результативность, что обеспечивает расширение сферы практического применения результатов законченных работ. Подход, который может найти свое применение при оценке результативности инициативных и иных проектов (с учетом их специфики), выполняемых при поддержке РФФИ, а также других Федеральных агентств, ведомств, что позволит повысить эффективность использования результатов фундаментальных исследований.

Список литературы: 1. *Ларичев О.И.* Опыт планирования фундаментальных исследований на конкурсной основе / *О.И. Ларичев, А.С. Прохоров, А.Б. Петровский, М.Ю. Стернин, Г.И. Шепелев* // Вестник АН СССР. – 1989. – № 7. – С. 51–61. 2. *Ларичев О.И.* Российская фундаментальная наука в третьем тысячелетии / *О.И. Ларичев, В.А. Минин, А.Б. Петровский, Г.И. Шепелев* // Вестник Российской академии наук. – 2001. – Т. 71. – № 1. – С. 13–18. 3. *Ларичев О.И.* Человеко-машинная процедура планирования научных исследований и разработок / *О.И. Ларичев, Л.С. Гнеденко, Ю.А. Зуев, Ю.В. Чуев, И.П. Тихонов* // Вопросы информационной технологии. Сборник трудов ВНИИСИ / Под ред. Д. С. Черешкина. – М.: ВНИИСИ, 1983. – № 6. – С. 86–95. 4. *Лопухин М.М.* ПАТТЕРН – метод планирования и прогнозирования научных работ / *М.М. Лопухин.* – М.: Советское радио, 1971. – 160 с. 5. *Петровский А.Б.* Система поддержки принятия решений для конкурсного отбора научных проектов / *А.Б. Петровский, Г.И. Шепелев* // Проблемы и методы принятия уникальных и повторяющихся решений. Сборник трудов / Под ред. С.В. Емельянова, О.И. Ларичева. – М.: ВНИИСИ, 1990. – № 10. – С. 25–31. 6. *Филитов В.А.* Проблемы выбора при перспективном планировании научных исследований и разработок / *В.А. Филитов, О.И. Ларичев* // Труды III Всесоюзного симпозиума по планированию и

управлению НИР / Под ред. К.Л. Горфана, Л.Э. Миндели. – М.: ЦЭМИ, 1976. – С. 36–42.
7. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин // Под ред. С.А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с. 8. Кини Р.Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р.Л. Кини, Х. Райфа. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с. 9. Ларичев О.И. Вербальный анализ решений / О.И. Ларичев // Под ред. А.Б. Петровского. – М.: Наука, 2006. – 181 с. 10. Петровский А.Б. Интерактивная процедура снижения размерности признакового пространства в задачах многокритериальной классификации / А.Б. Петровский, Г.В. Ройзензон // Поддержка принятия решений: Труды Института системного анализа Российской академии наук / Под ред. А.Б. Петровского. – М.: Едиториал УРСС, 2008. – Т. 35. – С. 43–53.

УДК 007.52

Багатокритерійний підхід до оцінки результативності наукових проєктів / Петровський А.Б., Ройзензон Г.В., Тихонов І.П., Балишев А.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 43. – С. 138 – 148.

Існує чимале число практичних завдань ухвалення рішень, в яких потрібно розробити інтегральні показники діяльності, наприклад, оцінка результативності фундаментальних досліджень. У роботі запропонований новий підхід до багатокритерійної оцінки результативності наукових проєктів і описані результати апробації підходу при експертизі в Російському фонді фундаментальних досліджень. Ил.: 2. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: інтегральні показники діяльності, результативність наукових проєктів, багатокритерійна оцінка.

UDC 007.52

Multiple criteria approach to R&D project efficiency / Petrovsky A.B., Royzenzon G.V., Tikhonov I.P., Balyshev A.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 43. – P. 138 – 148.

There is a large enough number of practical tasks of making decision, in which it is required to develop integral performance indicators, for example, estimation of effectiveness of fundamental researches. The new going is in-process offered near the multicriterion estimation of effectiveness of scientific projects and the results of approbation of approach are described at examination in the Russian fund of fundamental researches. Figs: 2. Refs: 10 titles.

Keywords integral performance indicators, effectiveness of scientific projects, multicriterion estimation.

Поступила в редакцию 23.10.2009

И.Р. ПОПОВ, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
И.Н. ПОПОВ, зав. лаб. ТСО ХГАДИ (г. Харьков)

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИМПУЛЬСНЫХ МОДУЛЯТОРОВ, ДИСКРЕТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ЛАПЛАСА, ФУРЬЕ

Доказано, что для получения правильных математических моделей решетчатых сигналов, необходимо применять дельта-функцию Дирака с учётом её особенностей; получены правильные математические модели импульсных модуляторов, формулы дискретных преобразований Лапласа, Фурье; полученные результаты применимы для детерминированных и случайных сигналов. Библиогр.: 12 назв.

Ключевые слова: импульсные модуляторы, математические модели решетчатых сигналов, дискретные преобразования Лапласа, Фурье.

Постановка проблемы и анализ литературы. Дискретизация и экстраполяция являются важной составной частью в технике преобразования сигналов, этому вопросу посвящено достаточно большое число работ, например [1 – 9], однако их математические модели как и формулы дискретных преобразований Лапласа, Фурье, содержат ошибки, которые показаны в этой статье. Например, в [1 – 9] изложены ошибочные математические модели решетчатых функций и экстраполяторов импульсных модуляторов, соответственно формулы дискретных преобразований Лапласа, Фурье, z-преобразований. В [10 – 12] частично получены их обоснованные математические модели как для детерминированных, так и для случайных сигналов.

Цель статьи – показать методические и количественные ошибки, допущенные при определении математических моделей решетчатых функций и экстраполяторов импульсных модуляторов, формул дискретных преобразований Лапласа, Фурье, например, в [1 – 9].

Основная часть. При преобразовании непрерывных сигналов $x(t)$ в импульсную последовательность $y(t)$ предполагаем, что сигнал $x(t)$ определён и непрерывен в каждой точке. Величина интервала T квантования по времени и способы размещения дискретных выборок $x^*(t)$ на каждом T в соответствии с теорией интерполирования влияют на точность приближающей функции $x_{\Delta}(t)$, записанной в виде объединения полиномов нулевого порядка

$$x_{\Delta}(t) = \sum_{n=0}^{\infty} x[nT][1(t-nT) - 1(t-T-nT)]$$

или

$$x_{\Delta}(t) = \sum_{n=0}^{\infty} x[\tau_n][1(t-nT) - 1(t-T-nT)],$$

где $x[nT]$, $x[\tau_n]$ – дискретные выборки соответственно в моменты nT и внутри интервала в моменты τ_n , к сигналу $x(t)$. В соответствии с точностью приближения импульсные модуляторы делятся по родам. Рассмотрим математические модели импульсных модуляторов с амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ) при дискретизации в тактовые nT моменты времени.

В литературе по дискретным системам можно выделить два вида дискретизирующих сигналов, применяемых для записи решетчатых функций. Например, в [1, 3, 4, 9 – 12] применяют смещённую дельта-функцию Дирака, определяемую следующими свойствами:

$$\delta(t - nt) = \begin{cases} \infty, & t = nt, \\ 0, & t \neq nt, \end{cases} \quad (1)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t - nt) dt = 1. \quad (2)$$

Решетчатую функцию $x^*(t)$ от непрерывного сигнала $x(t) \neq 0$ при $t \geq 0$ в [1, 3, 4, 9] записывают в виде:

$$x^*(t) = x(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nt) = \sum_{n=0}^{\infty} x[nT] \delta(t - nt) \neq x[nT]. \quad (3)$$

В этой записи конечную величину дискретной выборки $x[nT]$ умножают на бесконечную величину дельта-функции и по сравнению с $x(t)$ нарушена размерность в c^{-1} за счёт размерности дельта-функции.

Как известно, последовательность дельта-функций Дирака можно представить рядом Фурье:

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nt) = T^{-1} \sum_{r=-\infty}^{\infty} e^{jr w_0 t}, \quad (4)$$

где $w_0 = 2\pi T^{-1}$; $e^{jr w_0 t}$ – безразмерная функция, следовательно, размерность этой последовательности – c^{-1} .

Чтобы эта последовательность стала безразмерной и единичной, необходимо левую и правую части (4) умножить на T , т.е.

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nt) T = \sum_{r=-\infty}^{\infty} e^{jr w_0 t} = \sum_{r=-\infty}^{\infty} \cos r w_0 t + j \sum_{r=-\infty}^{\infty} \sin r w_0 t. \quad (5)$$

Выражение (5) в моменты $t = nT$ (моменты существования $\delta(t-nT)$) равно 1, т.к. имеет $\cos rn2\pi = 1$, $\sin rn2\pi = 0$ при любом n, r .

Таким образом, вместо (3) правильная запись решетчатой функции от непрерывного сигнала $x(t) \neq 0$ при $t \geq 0$ имеет вид [10, 12]:

$$x^*(t) = x(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nt)T = \sum_{n=0}^{\infty} x[nT]\delta(t - nt)T = x[nT], \quad (6)$$

в которой размерность $x^*(t)$ совпадает с размерностью $x(t)$ и имеет значение $x(t)$ в моменты $t = nT$. Заметим также, что в этой записи $\lim_{T \rightarrow 0} x^*(t)$, в отличие от

(3) в [1 – 9], стремится к исходной непрерывной функции $x(t)$, т.е.

$$\lim_{T \rightarrow 0} x^*(t) = \lim_{T \rightarrow 0} \sum_{n=0}^{\infty} x[nT]\delta(t - nT)T = \int_0^{\infty} x(\tau)\delta(t - \tau)d\tau = x(t). \quad (7)$$

Таким образом, выражение (6) решетчатой функции отвечает условиям билинейности преобразования, что подтверждает его истинность, поскольку о восстановлении непрерывного сигнала (экстраполяции) можно говорить как о пределе, стремящемся к непрерывному сигналу, что и подтверждается выражением (7).

Правильную запись решетчатой функции $x^*(t)$ в виде (6) можно также получить из соотношений линейного единичного интегрального преобразования, так называемое, фильтрующее свойство дельта-функции Дирака, которое следует из свойств (1), (2) дельта-функции $\delta(t - nT)$

$$\begin{aligned} \int_0^{\infty} x(t)\delta(t - nT)dt &= \int_0^{\infty} x[nT]\delta(t - nT)dt = \\ &= \lim_{T \rightarrow 0} \sum_{n=0}^{\infty} x[nT]\delta(t - nT)T = x[nT], \end{aligned} \quad (8)$$

исходя из того, что непрерывное время t квантовано на интервалы T , т.е. $t = nT$ и в этом случае от dt необходимо перейти к конечным разностям (прямым или обратным), от интеграла к интегральной сумме как ее пределу.

Спектральное представление решетчатой функции $x^*(t)$ в соответствии с (3) и (4) имеет вид [1, 3, 4, 9]

$$x^*(t) = x(t)T^{-1} \sum_{r=-\infty}^{\infty} e^{jr\omega_0 t}. \quad (9)$$

А в соответствии с (5) и (6) [10, 12]

$$x^*(t) = x(t) \sum_{r=-\infty}^{\infty} e^{jr\omega_0 t}. \quad (10)$$

Для непрерывного сигнала $x(t) \neq 0$ при $0 < t < \infty$ преобразования Лапласа и Фурье соответственно имеют вид:

$$X(p) = \int_0^{\infty} x(t)e^{-pt} dt, \quad (11)$$

$$X(jw) = \int_0^{\infty} x(t)e^{-jw t} dt, \quad (12)$$

где изображения $X(p)$ и $X(jw)$ изменяют размерность по сравнению с оригиналом $x(t)$ на секунду за счёт dt .

Формулы обратных преобразований, например, Фурье,

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} X(jw)e^{jw t} dw \quad (13)$$

позволяют получить правильную размерность сигнала $x(t)$ за счёт противоположных размерностей $X(jw)$ и dw .

Применение преобразования Лапласа (11) и Фурье (12) к дискретному сигналу $x^*(t)$ в виде (3) дают формулы соответственно дискретных преобразований Лапласа и Фурье в [1, 3, 4, 9]:

$$X^*(p) = \int_0^{\infty} x^*(t)e^{-pt} dt = \sum_{n=0}^{\infty} x[nT]e^{-pnT} = X(e^{pT}), \quad (14)$$

где $\int_0^{\infty} \delta(t-nT)e^{-pt} dt = e^{-pnT}$ – в соответствии с фильтрующими свойствами дельта-функции $\delta(t-nT)$; аналогично получим

$$X^*(jw) = \sum_{n=0}^{\infty} x[nT]e^{-jwnT} = X(e^{jwT}). \quad (15)$$

В (14) и (15) размерности дискретных изображений $X^*(p)$ и $X^*(jw)$ такие же как и размерности $x[nT]$. В этих случаях [1, 3, 4, 9] в формулах обратных преобразований, например, Фурье, для восстановления правильной размерности $x[nT]$ надо вводить множитель T для компенсации размерности dw , т.е.

$$x[nT] = \frac{T}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{T}}^{\frac{\pi}{T}} X^*(jw)e^{jwnT} dw. \quad (16)$$

Применение преобразований Лапласа (11) и Фурье (12) к дискретному сигналу $x^*(t)$ в виде (6) дают формулы соответственно дискретных преобразований Лапласа и Фурье [10, 11, 12]:

$$\begin{aligned}
X^*(p) &= \int_0^{\infty} x^*(t) e^{-pt} dt = \int_0^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} x[nT] \delta(t-nT) T e^{-pt} dt = \\
&= \sum_{n=0}^{\infty} x[nT] T \int_0^{\infty} \delta(t-nT) e^{-pt} dt = \sum_{n=0}^{\infty} x[nT] e^{-pnT} T = X(e^{pT}),
\end{aligned} \tag{17}$$

аналогично

$$X^*(j\omega) = \sum_{n=0}^{\infty} x[nT] e^{-j\omega nT} = X(e^{j\omega T}). \tag{18}$$

В (17) и (18) размерности дискретных изображений $X^*(p)$ и $X^*(j\omega)$ по сравнению с размерностью $x[nT]$ отличаются на сек за счет множителя T . В этих случаях [10, 11, 12] формулы обратных преобразований, например Фурье, аналогичны формуле (13), т.е.

$$x[nT] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{T}}^{\frac{\pi}{T}} X^*(j\omega) e^{j\omega nT} d\omega, \tag{19}$$

позволяют получить произвольную размерность сигнала $x[nT]$ за счет противоположных размерностей $X^*(j\omega)$ и $d\omega$.

Применение преобразований Лапласа (11) и Фурье (12) к дискретному сигналу $x^*(t)$ в виде (8) дают формулы дискретных преобразований соответственно Лапласа (20) и Фурье (21) [1, 3, 4, 9]:

$$X^*(p) = \int_0^{\infty} x(t) T^{-1} \sum_{r=-\infty}^{\infty} e^{jr\omega_0 t} e^{-pt} dt = T^{-1} \sum_{r=-\infty}^{\infty} X[p + r\omega_0] = X(e^{pT}), \tag{20}$$

$$X^*(j\omega) = \int_0^{\infty} x(t) T^{-1} \sum_{r=-\infty}^{\infty} e^{jr\omega_0 t} e^{-j\omega t} dt = T^{-1} \sum_{r=-\infty}^{\infty} X[j(\omega + r\omega_0)]. \tag{21}$$

Применение преобразований Лапласа (11) и Фурье (12) к дискретному сигналу $x^*(t)$ в виде (10) дают формулы дискретных преобразований соответственно Лапласа (22) и Фурье (23) [10, 11, 12]:

$$\begin{aligned}
X^*(p) &= \int_0^{\infty} x(t) \sum_{r=-\infty}^{\infty} e^{jr\omega_0 t} e^{-pt} dt = \sum_{r=-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} x(t) e^{-(p-r\omega_0)t} dt = \\
&= \sum_{r=-\infty}^{\infty} X[p - r\omega_0] = \sum_{r=-\infty}^{\infty} X[p + r\omega_0] = X(e^{pT}),
\end{aligned} \tag{22}$$

$$X^*(j\omega) = \int_0^{\infty} x(t) \sum_{r=-\infty}^{\infty} e^{jr\omega_0 t} e^{-j\omega t} dt = \sum_{r=-\infty}^{\infty} X[j(\omega - r\omega_0)] = X(e^{j\omega T}). \quad (23)$$

Формулы (20 – 23) дискретных преобразований Лапласа и Фурье показывают в явном виде их периодичность с периодом ω_0 по сравнению с непрерывными преобразованиями $X(p)$ и $X(j\omega)$. При этом составляющие рядов (20) – (23) при $r \neq 0$ называются транспонированными. Основное значение формул (22), (23) не столько в том, что они дают дополнительный путь для вычисления $X^*(p)$ и $X^*(j\omega)$, сколько в наглядном истолковании явлений стробоскопического эффекта, происходящих в импульсных модуляторах. Но формулы (22), (23) в [10, 12], в отличие от аналогичных (20), (21) в [1, 3, 4, 9], не искажают эти явления (модуль) в $\frac{1}{T}$ раз, что соответствует истине физических процессов.

При втором виде дискретизирующего сигнала, применяемого, например, в [2, 5, 6, 7] для записи решетчатой функции, используется так называемая "единичная дельта-функция", которая определяется следующим образом:

$$\delta^*(t - nT) = \begin{cases} 1, & t = nT, \\ 0, & t \neq nT. \end{cases} \quad (24)$$

На первый взгляд, в соответствии с этим свойством, при записи решетчатой функции получается, что

$$x^*(t) = x(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta^*(t - nT) = \sum_{n=0}^{\infty} x[nT] \delta^*(t - nT) = x[nT], \quad (25)$$

т.е. здесь величина и размерность $x^*(t)$ по сравнению с $x(t)$ в моменты nT не изменяется. Однако предел этой последовательности импульсов при $T \rightarrow 0$ не стремится к исходной непрерывной функции $x(t)$ как в (7) [10, 12]. Из (25) невозможно получить, например, дискретное преобразование Лапласа, хотя бы в виде, применяемом в [1 – 9] в отличие от [10, 12]:

$$\begin{aligned} X^*(p) &= \int_0^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} x[nT] \delta^*(t - nT) e^{-pt} dt = \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} x[nT] t^{-pnT} \int_0^{\infty} \delta^*(t - nT) dt \neq \sum_{n=0}^{\infty} x[nT] e^{-pnT}, \end{aligned} \quad (26)$$

так как $\int_0^{\infty} \delta^*(t - nT) dt \neq 1$.

Таким образом, такой вид дискретизирующего сигнала для записи решетчатой функции является неприемлемым.

Рассмотрим методику получения математических моделей формирующих звеньев (ФЗ) (экстраполяторов) импульсных модуляторов с амплитудно-импульсной модуляцией первого рода, которые можно получить двумя способами, аналогичными способам получения математических моделей непрерывных звеньев. На вход формирующего звена поступает сигнал $x^*(t)$, представленный равенством (6), а его дискретное преобразование Лапласа равенством (17). Выходной сигнал имеет вид:

$$y(t) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n [1(t-nT) - 1(t-\tau_u - nT)], \quad (27)$$

где A_n , $0 < \tau_u \leq T$ – соответственно амплитуда и длительность прямоугольного импульса на nT интервале.

Преобразование Лапласа от (27) равно:

$$Y(p) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n e^{-pnT} (1 - e^{-\tau_u p}) / p. \quad (28)$$

Передаточную функцию формирующего звена $K_{\text{ФЗ}}(p)$ получим как отношение изображений (28) к (17)

$$K_{\text{ФЗ}}(p) = \frac{Y(p)}{X^*(p)} = \frac{A_n}{Tx[nT]} (1 - e^{-\tau_u p}) / p = K_u \frac{1 - e^{-\tau_u p}}{\tau_u p}, \quad (29)$$

где $\frac{A_n \gamma}{\gamma T x[nT]} = \frac{y_{\text{ср}}}{\tau_u x[nT]} = \frac{K_u}{\tau_u}$; $y_{\text{ср}} = A_n \gamma$; $\tau_u = \gamma T$; $0 < \gamma \leq 1$; $K_u = y_{\text{ср}} / x[nT]$

– статический коэффициент преобразования импульсного модулятора, определяемый как отношение среднего значения $y_{\text{ср}}$ выходного импульсного сигнала $y(t)$ ко входному сигналу $x[nT]$ в статическом режиме; $y_{\text{ср}} = K_u x[nT]$ является более полной статической характеристикой импульсного модулятора по сравнению со статической модуляционной характеристикой $A_n = K_A x[nT]$, которая не учитывает изменение длительности импульсов τ_u , кроме того, именно $y_{\text{ср}}$ является истинным выходным сигналом в статическом режиме, что так же подтверждает принципиальную правильность применения K_u в качестве статического коэффициента импульсного модулятора; статические модуляционные характеристики ввиду положительности модулируемых параметров импульсов искусственно порождают нелинейность типа "модуль". Соотношение K_u и K_A выражается зависимостью:

$$K_u = \frac{y_{\text{ср}}}{x[nT]} = \frac{A_n}{x[nT]} = \gamma K_A. \quad (30)$$

Выходной сигнал $y(t)$ (27) на каждом nT является реакцией на модулированные дельта-функции (6) и его можно записать через дискретный интеграл свёртки

$$y(t) = \sum_{n=0}^{\infty} x[nT]K_{\phi_3}(t-nT)T. \quad (31)$$

Так как левые части (27) и (31) равны, то приравниваем их правые части, откуда получаем выражение весовой функции $K_{\phi_3}(t)$ на каждом интервале T

$$K_{\phi_3}(t) = \frac{A_n}{Tx[nT]}[1(t)-1(t-\tau_u)] = \frac{K_u}{\tau_u}[1(t)-1(t-\tau_u)]. \quad (32)$$

Если $A_n = x[nT]$ и $\tau_u = T$, что реализуется в экстраполяторе (фиксаторе) нулевого порядка (ЭОП), то $K_u = K_A = 1$ и

$$K_{\phi_3}(t) = [1(t)-1(t-T)]/T. \quad (33)$$

Преобразуя по Лапласу весовую функцию (32), получим передаточную функцию (29) и, как частный случай, от (33) получим передаточную функцию экстраполятора нулевого порядка, т.е.

$$K_{\phi_3}(p) = K_{\phi_3}(p) = (1 - e^{-Tp})/Tp. \quad (34)$$

В отличие, например, от [1 – 9] полученные весовые и передаточные функции имеют правильные размерности и методику их получения.

Частотные характеристики формирующих звеньев запишем из передаточных функций (29) и (34) при замене $p = jw$. Из выражения (29), т.е. при $0 < \tau < T$ амплитудно-фазо-частотная характеристика имеет вид

$$\begin{aligned} K_{\phi_3}(jw) &= \frac{K_u(1 - e^{-jw\tau})}{jw\tau_u} = \frac{K_u \sin \frac{w\tau_u}{2} (\cos \frac{w\tau_u}{2} - j \sin \frac{w\tau_u}{2})}{\frac{w\tau_u}{2}} = \\ &= \frac{K_u \sin \frac{w\tau_u}{2}}{\frac{w\tau_u}{2}} e^{-j \frac{w\tau_u}{2}} = K_{\phi_3}(w) e^{j\phi_{\phi_3}(w)}, \end{aligned} \quad (35)$$

где

$$K_{\phi_3}(w) = \frac{K_u \sin \frac{w\tau_u}{2}}{\frac{w\tau_u}{2}} \quad (36)$$

– амплитудно-частотная характеристика формирующего звена при $0 < \tau_u < T$; соответственно

$$\phi_{\phi_3}(w) = -\frac{w\tau_u}{2} \quad (37)$$

– фазо-частотная характеристика.

Из выражения (34), т.е. в экстраполяторе нулевого порядка

$$K_{\varepsilon 0n}(j\omega) = (1 - e^{-j\omega T}) / j\omega T = K_{\varepsilon 0n}(\omega) e^{j\varphi_{\varepsilon 0n}(\omega)}, \quad (38)$$

где

$$K_{\varepsilon 0n}(\omega) = \frac{\sin \frac{\omega T}{2}}{\frac{\omega T}{2}}, \quad (39)$$

$$\varphi_{\varepsilon 0n}(\omega) = -\frac{\omega T}{2}. \quad (40)$$

Из выражения (36) видно, что статический коэффициент преобразования ФЗ (при $\omega = 0$) равен K_u , а для ЭОП из (39) статический коэффициент равен 1, а не T , как это следует из [1 – 9]. Так как реально $T \ll 1$, то ясно как сильно искажает истину эта ошибка. Из (35), (37), (38), (40) видно, что фазо-частотная характеристика не является периодической функцией ω , как это изображено, например, в [3, 8], а аналогична звену чистого запаздывания, т.е. на низких частотах ($\omega \rightarrow 0$) формирующие звенья (экстраполяторы) подобны звену чистого запаздывания, т.е. из (35)

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} K_{\text{фз}}(j\omega) = \lim_{\omega \rightarrow 0} K_u \frac{\sin \frac{\omega \tau_u}{2}}{\frac{\omega \tau_u}{2}} e^{-j \frac{\omega \tau_u}{2}} = K_u e^{-j \frac{\omega \tau_u}{2}}$$

из (38)

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} K_{\varepsilon 0n}(j\omega) = \lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{\sin \frac{\omega T}{2}}{\frac{\omega T}{2}} e^{-j \frac{\omega T}{2}} = e^{-j \frac{\omega T}{2}} \neq \frac{T}{1 + j\omega T},$$

как это утверждается в [4, 8].

Рассмотренные ошибки математических моделей дискретных детерминированных сигналов имеют место и при случайных сигналах при определении спектральной плотности $S_x^*(\omega)$ как прямого двухстороннего дискретного преобразования Фурье от решетчатой корреляционной функции $R_x[mT]$

$$S_x^*(\omega) = T \sum_{m=-\infty}^{\infty} R_x[mT] e^{-j\omega mT}$$

и в формуле определения дискретной корреляционной функции как обратного преобразования Фурье по спектральной плотности $S_x^*(\omega)$ [10, 11]

$$R_x[mT] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{T}}^{\frac{\pi}{T}} S_x^*(w) e^{jwmT} dw.$$

Выводы. Из проведенного анализа следует, что в качестве дискретизирующей функции при записи решетчатых функций необходимо применять дельта-функцию Дирака со свойствами (1), (2), введенными Дираком; правильная запись решетчатой функции не нарушает размерности и значений дискретных выборок непрерывного сигнала, как это следует из [1 – 9]; предложена правильная методика определения математических моделей формирующих звеньев модуляторов импульсов, что приводит к восстановлению правильных размерностей и значений их весовых, передаточных, амплитудных и фазо-частотных характеристик; доказаны правильные формулы дискретных прямых и обратных преобразований Лапласа, Фурье, показывающие необходимость изменения таблиц соответствующих преобразований, а также соответствие дискретных преобразований физическим процессам стробоскопического эффекта.

Список литературы: 1. Джурри Э. Импульсные системы автоматического регулирования / Э. Джурри. – М.: Физматгиз, 1963. – 456 с. 2. Деруссо П. Пространство состояний в теории управления / П. Деруссо, Р. Рой, Ч. Клоуз. – М.: Наука, 1970. – 620 с. 3. Нетушил А.В. Теория автоматического управления / Под ред. А.В. Нетушила. – М.: Высшая школа, 1976. – 400 с. 4. Изерман Р. Цифровые системы управления / Р. Изерман. – М.: Мир, 1984. – 541 с. 5. Бесекерский В.А. Цифровые автоматические системы / В.А. Бесекерский. – М.: Наука, 1976. – 576 с. 6. Рабинер Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер, Б. Гоулд. – М.: Мир, 1978. – 848 с. 7. Гольденберг Л.М. Цифровая обработка сигналов / Л.М. Гольденберг. – М.: Радио и связь, 1985. – 312 с. 8. Острём К. Системы управления с ЭВМ / К. Острём, Б. Виттенмарк. – М.: Мир, 1987. – 480 с. 9. Александров С.С. Теория автоматического керування / С.С. Александров, С.П. Козлов, Б.І. Кузнецов. – Харків: НТУ "ХПИ", 2002. – 490 с. 10. Попов Н.Р. О формулах дискретного преобразования Лапласа, Фурье, z-преобразования и их применения / Н.Р. Попов, И.Н. Попов // Радиотехника, 2000. – Вып. 116. – С. 28–33. 11. Попов Н.Р. О формулах спектрального плотности и корреляционной функции решетчатого случайного процесса / Н.Р. Попов, И.Н. Попов, Е.А. Ярмола // Вестник НТУ "ХПИ". – 2006. – Вып. 9. – С. 111–117. 12. Попов Н.Р. Математические модели решетчатых функций и экстраполяторов / Н.Р. Попов, И.Н. Попов, Е.А. Ярмола // Автоматика – 2008, доклад на XV международной конференции. – С. 454–457.

Статья представлена д.т.н. проф. НТУ "ХПИ" Дербуновичем Л.В.

УДК 621.376.2+62.92

Математичні моделі імпульсних модуляторів, дискретних перетворювань Лапласа, Фурье / Попов М. Р., Попов І. М. // Вісник НТУ "ХПИ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2009. – № 43. – С. 149 – 159.

Доведено, що заради одержування правильних моделей решітчастих сигналів, необхідно застосування дельта-функції Дірака з урахуванням її особливості; здобути правильні математичні моделі імпульсних модуляторів, формули дискретних перетворювань Лапласа, Фурье; отримані результати застосовуються для детермінованих і випадкових сигналів. Бібліогр. 12 назв.

Ключові слова: імпульсні модулятори, математичні моделі решітчастих сигналів, дискретні перетворення Лапласа, Фур'є.

UDC 621.376.2+62.92

Mathematical models of pulse modulator, discrete transformations by Laplas and Fourier / N.R. Popov, I.N. Popov // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 43. – P. 149 – 159.

To get the mathematical models of latticed signals need to use delta-function of Dirac with take into account it features was prove; write mathematical models of latticed signals and formulas of discrete transformations by Laplas and Fourier was got; results use for determined and casual signals. Refs.: 12 titles.

Key words: pulse modulators, mathematical models of latticed functions of sygnals, discrete transformations by Laplas and Fourier

Поступила в редакцію 23.10.2009

Е.И. ПРОХОРЕНКО, канд. техн. наук, доц. БелГУ (г. Белгород, Россия),
А.А. ЧЕРНОМОРЕЦ, канд. техн. наук, доц. БелГУ (г. Белгород, Россия),
А.В. ЭСАУЛЕНКО, БелГУ (г. Белгород, Россия)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СЖАТИЯ РЕЧЕВЫХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУБПОЛОСНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Рассмотрена новая технология сжатия речевых данных с использованием субполосного преобразования, разработан и применен алгоритм сжатия речевых данных с использованием субполосного преобразования с учетом отличительных особенностей речевых данных (значительное количество пауз в сигнале, а также сосредоточение энергии сигнала в относительно узких частотных интервалах). Ил.: 4. Табл.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: сжатие речевых данных, субполосное преобразование, паузы в сигнале.

Постановка проблемы. На сегодняшний день актуальной задачей является создание и развитие новых информационных технологий, которые позволили бы ускорить процесс обмена информацией в обществе. Существенную долю этого обмена составляют речевые данные. Кроме того, зачастую возникает необходимость в хранении речевых данных на жестких носителях, например при записи аудиоконференций, выступлений лекторов, театральных постановок, радиоархивов и т.п. В настоящее время пользователями для сжатия речи, в основном, используются кодеки, предназначенные для сжатия звуковых данных, которые не учитывают специфические особенности речевых сигналов, такие как значительное количество пауз в сигнале, сосредоточение энергии сигнала в относительно узких частотных интервалах и так далее.

Таким образом, одной из важных задач реализации в информационно-телекоммуникационных системах речевого обмена является создание эффективных методов сжатия полученных на этапе регистрации речевых данных с возможностью дальнейшего воспроизведения исходных речевых сообщений с приемлемым качеством на выходе системы передачи информации.

Анализ литературы. Анализ работ многих авторов, посвященных данной тематике, например [1 – 5], показывает, что на сегодняшний день наиболее часто в литературе рассматривается метод сжатия речевых данных, основанный на использовании КИХ-фильтров. Недостатком такого подхода является наличие эффекта элайзинга, то есть наложения частот, и как следствие, ухудшение качества воспроизводимой речи.

Метод оптимального субполосного преобразования [6 – 10], позволяющий избежать недостатков КИХ-фильтрации, учитывает особенности речевого сигнала и позволяет осуществить избирательную обработку составляющих

сигнала, энергия которых сосредоточена в заданных частотных интервалах. Метод субполосного преобразования на основе КИХ-фильтрации получает все большее распространение в алгоритмах цифровой обработки речи.

Цель статьи – исследование и практическое применение метода оптимального субполосного преобразования для сжатия речевых данных.

Уменьшение объемов битовых представлений речевых сигналов основано на методе субполосного преобразования.

Процедура прореживания выходных последовательностей КИХ-фильтров не является оптимальной в смысле минимума погрешностей аппроксимации спектров исходных векторов в выбранных частотных диапазонах, что приводит к увеличению погрешностей восстановления данных по квантованным значениям и, как следствие, к ухудшению качества воспроизводимой речи. Поэтому целесообразно использовать метод обратимого субполосного преобразования, оптимального в смысле минимума погрешностей аппроксимации спектров исходного вектора в выбранных частотных диапазонах [1 – 4, 6].

Сущность субполосного преобразования состоит в том, что для отрезков сигнала вычисляется вектор $\vec{y} = (y_1, y_2, \dots, y_R)$, состоящий из подвекторов $\vec{y}_r = (y_{1r}, y_{2r}, \dots, y_{Jr})$, которые отражают частотные свойства исходного сигнала в некотором частотном интервале. При этом в данном случае ось частот разбивается на R равновеликих частотных интервалов:

$$V_r = [-v_r, -v_{r-1}) \cup [v_{r-1}, v_r), \quad v_{r-1} < v_r \leq \pi; \quad v_0 = 0; \quad v_r = \pi; \quad r = 1, \dots, R.$$

Субполосное преобразование осуществляется по формуле:

$$\vec{y} = AA^T \vec{x}, \tag{1}$$

где AA^T – блочная матрица вида:

$$AA^T = \begin{bmatrix} \sqrt{L_{11}} Q_{11}^T \\ \dots \\ \sqrt{L_{1R}} Q_{1R}^T \end{bmatrix},$$

где $Q_{1r} = \{q_1^r, q_2^r, \dots, q_J^r\}$ – матрица собственных векторов матрицы A_r , $L_{1r} = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_J)$ – вектор собственных чисел, J – количество собственных чисел матрицы A_r .

Матрица A_r вычисляется как $A_r = \{a_{ik}^r\}$, $i, k = 1, \dots, N$;

$$a_{ik}^r = \begin{cases} \frac{\sin[\nu_r(i-k)] - \sin[\nu_{r-1}(i-k)]}{\pi(i-k)}, & \text{если } i \neq k, \\ \frac{\nu_r - \nu_{r-1}}{\pi}, & \text{если } i = k. \end{cases}$$

Если в качестве вектора исходных значений \mathbf{x} используется отрезок речевого сигнала длительностью N , тогда вектор субполосного преобразования вычисляется по формуле (1).

С использованием полученных значений подвекторов субполосного преобразования вычисляется распределение энергии сигнала по заданным частотным интервалам (рис. 1):

$$P_r = \sum_{i=1}^J (y_{ir})^2, \quad r = 1, \dots, R. \quad (2)$$

Полученные значения энергии упорядочиваются по возрастанию (рис. 2), при этом сохраняются номера частотных интервалов. Выбираются значения энергий для тех частотных интервалов, в которых сосредоточена некоторая доля энергии, например, 95%.

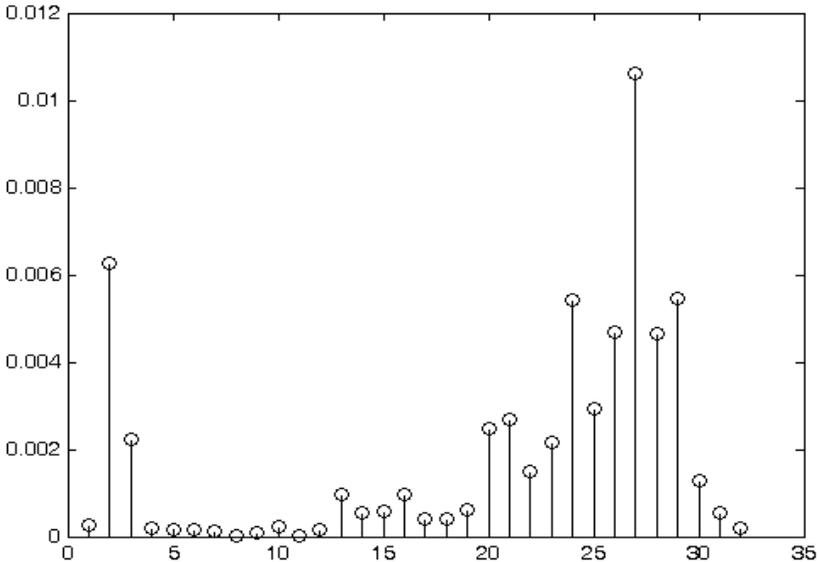


Рис. 1. Распределение энергии, сосредоточенной в $R = 32$ частотных интервалах ($N = 256$)

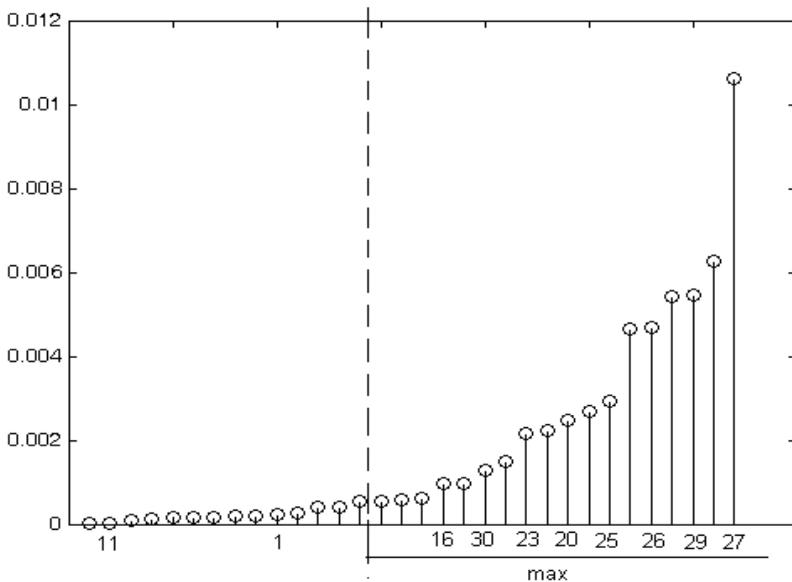


Рис. 2. Распределение энергии по интервалам ($R = 32, N = 256$) при сортировке по возрастанию

Значения подвекторов субполосного преобразования квантуются по уровню и записываются в информационный блок совместно со служебной информацией, содержащей номера частотных интервалов.

Алгоритм сжатия представлен на рис. 3.

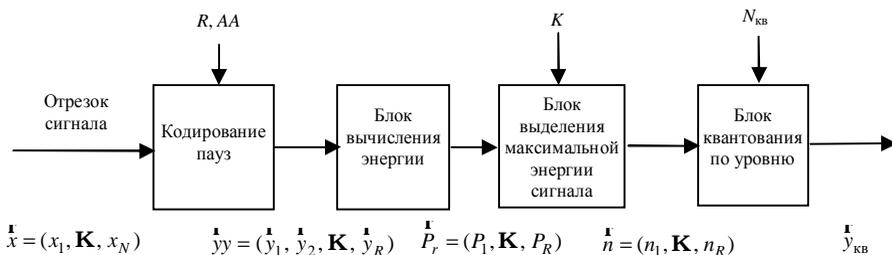


Рис. 3. Функциональная схема системы сжатия речевых данных на основе оптимального субполосного преобразования

Для восстановления сигнала применяют алгоритм, который может быть описан функциональной схемой, представленной на рис. 4.

Из информационного блока осуществляется считывание квантованных значений векторов субполосного преобразования и их восстановление.

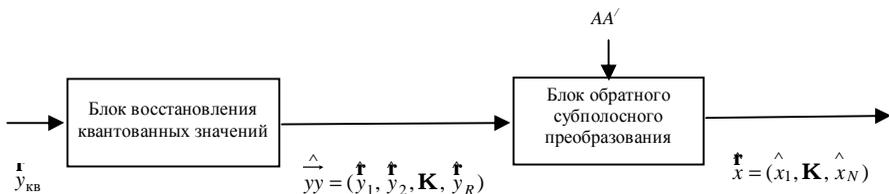


Рис. 4. Функциональная схема системы восстановления речевых данных на основе оптимального субполосного преобразования

Обратное субполосное преобразование осуществляется по формуле:

$$\hat{\mathbf{x}} = AA' \hat{\mathbf{y}}. \quad (3)$$

Для определения параметров субполосного преобразования – длины анализируемого отрезка N , количества частотных интервалов R было проведено большое количество вычислительных экспериментов. В качестве предварительной обработки были обнаружены и закодированы паузы. Таким образом процедуре сжатия подвергается собственно звуковой сигнал.

В ходе экспериментов для различных значений длин отрезков речевых данных $N = 64, 128, 256, 512$ отсчетов, диапазон частот разбивается на $R = 8, 16, 32$ интервалов.

Некоторые результаты приведены в таблице, в которой используются следующие обозначения:

N – длина отрезков речевых данных; K – степень сжатия за счет субполосного преобразования, которая определяется по формуле:

$$K = V_1/V_2, \quad (4)$$

где V_1 – объем исходного файла; V_2 – объем сжатого файла.

Таблица

Степень сжатия речевых данных при различных N

N	K (при $R = 8$)	K (при $R = 16$)	K (при $R = 32$)
64	1,52	1,18	1,22
128	1,81	1,71	1,54
256	1,97	2,38	2,64
512	2,09	2,48	2,80

Необходимо отметить, что в таблице приведены результаты сжатия речевых данных только за счет субполосного преобразования, без учета сжатия за счет удаления пауз и квантования сигнала. Таким образом, на основе полученных результатов можно говорить о высокой эффективности применения данного подхода к сжатию данных, т.к. он позволяет существенно сократить объем речевых данных при их передаче и хранении, при сохранении относительно высокого качества воспроизведения восстановленного сигнала.

При воспроизведении восстановленных звуковых файлов сохраняется качество на уровне телефонного (разборчивость речи, узнаваемость голоса, сохранение тембра голоса).

Выводы. В данной работе представлен алгоритм сжатия речевых данных с использованием субполосного преобразования с учетом отличительных особенностей речевых данных. В результате работы алгоритма достигается сжатие данных в 1,5 – 3 раза в зависимости от выбора длины анализируемого отрезка N и количества частотных интервалов R , при сохранении качества воспроизведения восстановленных данных.

Разработанный алгоритм сжатия речевых данных с использованием субполосного преобразования можно применять для сжатия речевых данных, для их передачи по каналам связи и хранения в ЭВМ. Практическое применение алгоритма сжатия речевых данных с использованием субполосного преобразования позволит ускорить процесс обмена информацией в обществе, а также уменьшить объем памяти, необходимой для хранения речевых данных.

Список литературы: 1. *Сэлмон М.* Сжатие данных, изображений и звука / *М. Сэлмон.* – М.: Техносфера, 2006. – 368 с. 2. *Михайлов В.Г.* Измерение параметров речи / *В.Г. Михайлов.* – М.: Радио и связь, 1987. – 168 с. 3. *Сергиенко А.Б.* Цифровая обработка сигналов / *А.Б. Сергиенко.* – СПб.: Питер, 2005. – 182 с. 4. *Шелухин О.И.* Цифровая обработка и передача речи / *О.И. Шелухин, Н.Ф. Лукьянцев.* – М.: Радио и связь, 2000. – 208 с. 5. *Орищенко В.И.* Сжатие данных в системах сбора и передачи информации / *В.И. Орищенко, В.Г. Санников, В.А. Свириденко;* под ред. В.А. Свириденко. – М.: Радио и связь, 1985. – 184 с. 6. *Жиликов Е.Г.* Методы обработки речевых данных в информационно-телекоммуникационных системах на основе частотных представлений: монография / *Е.Г. Жиликов, С.П. Белов, Е.И. Прохоренко.* – Белгород: Изд-во БелГУ, 2007. – 136 с. 7. *Жиликов Е.Г.* О субполосном преобразовании звуковых сигналов / *Е.Г. Жиликов, С.П. Белов, Е.И. Прохоренко* // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. – М., 2006. – Выпуск VIII-1. – С. 167–169. – (Серия: цифровая обработка сигналов и ее применение). 8. *Жиликов Е.Г.* Частотный анализ речевых сигналов / *Е.Г. Жиликов* // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – Белгород, 2006. – № 2 (31). – Вып. 3. – С. 201–208. 9. *Жиликов Е.Г.* О сжатии речевых сигналов / *Е.Г. Жиликов, С.П. Белов* // Вестник НТУ "Харьковский политехнический институт". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2005. – № 56. – С. 32–40. 10. *Прохоренко Е.И.* Метод обнаружения пауз в речевых сигналах / *Е.И. Прохоренко* // Вестник Московской академии рынка труда и информационных технологий. – М., 2006. – № 4 (26). – С.13–20.

Статья представлена д.т.н. проф. БелГУ Жиликовым Е.Г.

УДК 621.391

Розробка алгоритму стиснення мовних даних з використанням субсмугового перетворення / Прохоренко Е.І., Черноморец А.А., Есауленко А.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 43. – С. 160 – 166.

Розглянута нова технологія стиснення мовних даних з використанням субсмугового перетворення, розроблений і застосований алгоритм стиснення мовних даних з використанням субсмугового перетворення з урахуванням відмітних особливостей мовних даних (значна кількість пауз в сигналі, а також зосередження енергії сигналу в щодо вузьких частотних інтервалах). Іл.: 4. Табл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: стиснення мовних даних, субсмугове перетворення, паузи в сигналі.

UDC 621.391

Development of the algorithm of the speech data compression with use of subband transformation / Prokhorenko E.I., Chernomoretc A.A., Esaulenko A.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – № 43. – P. 160 – 166.

Is considered new technology of the speech data compression with the use of subband transformation, designed and applied algorithm of the speech data compression with the use of subband transformation with provision of discriminating speech data particularities (the great a number of the pauses in the signal, as well as concentration of the signal energy in comparatively narrow frequency interval). Figs.: 4. Table: 1. Refs.: 10 titles.

Key words: speech data compression, subband transformation, pauses in signal.

Поступила в редакцію 10.10.2009

В.В. РОМАНЮК, канд. техн. наук, доц. ХНУ (м. Хмельницький)

МАТЛАВ-СЕСІЯ У ПРАКТИЧНІЙ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗВ'ЯЗКУ ДИСКРЕТНОЇ БЕЗШУМНОЇ ДУЕЛІ З НЕЛІНІЙНИМИ ФУНКЦІЯМИ ВЛУЧНОСТІ

Означено дискретну безшумну дуель з кососиметричним ядром на кінцевій узагальненій підмножині одиничного квадрату з нелінійним масштабом, де функції влучності гравців покладено узагальнено нелінійними. Представлено програми для MATLAB-сесії у практичній реалізації розв'язку означеної дуелі.

Ключові слова: безшумна дуель, MATLAB, практична реалізація розв'язку.

Постановка проблеми. Антагоністичні ігри у формі безшумних дуелей є математичними моделями прийняття оптимальних рішень у багатьох соціально-економічних та біо-екологічних системах [1]. Вони можуть бути використані навіть у технічних системах при практичній реалізації стохастичного параметра, що задається на інтервалі ненульової міри з невідомим імовірнісним розподілом. Зазвичай безшумну дуель задають її ядром

$$K(x, y) = h_1(x) - h_2(y) + h_1(x)h_2(y)\text{sign}[h_2(y) - h_1(x)] \quad (1)$$

на одиничному квадраті

$$X \times Y = [0; 1] \times [0; 1] \quad (2)$$

при $x \in X$ та $y \in Y$, де $h_1(x)$ та $h_2(y)$ є монотонно неспадними функціями влучності першого і другого гравців відповідно, для яких виконуються

$$h_1(0) = 0, \quad h_1(1) = 1, \quad h_2(0) = 0, \quad h_2(1) = 1. \quad (3)$$

Але такий спосіб опису дуелі є не завжди доцільним, адже він має місце лише у граничному переході, коли гравець володіє безліччю варіантів своїх можливих дій. Тут не враховується також те, що важливість окремих альтернатив (чистих стратегій) з плином часу зростає. Крім того, континуальний опис дуелі ускладнює процес знаходження розв'язку.

Аналіз літератури. Питаннями дискретизації дуелей займались більше зарубіжні вчені [2, 3]. Деякі вузькі класи дуелей розв'язуються або, по крайній мірі, розглядаються у [4, 5]. Дуелі, де з часом щільність стратегій дуелянта збільшується, вивчені слабко [6]. Тим більше, що при їх дослідженні функції влучності гравців зазвичай покладаються лінійними, без узагальнення [7, 8].

Мета статті. Необхідно дискретизувати ядро (1) на квадраті (2) так, щоб важливість виділених чистих стратегій з плином часу зростала, причому функції влучності братимуться узагальнено монотонно неспадними з умовами

(3). Отримана дискретна дуель має бути розв'язана з вказівкою того, як практично реалізувати цей розв'язок, що має бути представлено у формі MATLAB-сесії.

Дискретизація дуелі. Без втрати загальності, покладатимемо

$$h_1(x) = x^\beta, \quad h_2(y) = y^\beta, \quad \beta > 0. \quad (4)$$

Нехай імовірність d_j є відстанню між двома сусідніми стратегіями гравця, де $d_j \notin \{0, 1\}$ та $j = \overline{1, N-2}$ при кількості N усіх його чистих стратегій. Тоді

$$\begin{aligned} & [d_1 \quad d_2 \quad \mathbf{K} \quad d_{N-3} \quad d_{N-2}] \in \\ & \in \left\{ \mathbf{D} \in \mathbf{R}^{N-2} \mid d_j \in (0; 1) \forall j = \overline{1, N-2}, d_j \geq d_{j+1} \forall j = \overline{1, N-3} \right\} \mathbf{I} \\ & \mathbf{I} \left\{ \mathbf{D} \in \mathbf{R}^{N-2} \mid 1 - \sum_{j=1}^{N-2} d_j \leq d_{N-2} \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

є вектором відстаней у даній грі. Згідно з цим дискретизовані множини чистих стратегій першого

$$X_{\mathbf{D}} = \{x_k\}_{k=1}^N = \{0, 1\} \mathbf{U} \left\{ \sum_{j=1}^{k-1} d_j \right\}_{k=2}^{N-1} \quad (6)$$

та другого

$$Y_{\mathbf{D}} = \{y_k\}_{k=1}^N = \{0, 1\} \mathbf{U} \left\{ \sum_{j=1}^{k-1} d_j \right\}_{k=2}^{N-1} \quad (7)$$

гравців визначають дискретну безшумну дуель з нелінійними функціями влучності (4), котрі задаються на підмножині

$$\begin{aligned} X_{\mathbf{D}} \times Y_{\mathbf{D}} &= \{x_k\}_{k=1}^N \times \{y_l\}_{l=1}^N = \left\{ \left[[x_k \quad y_l] \right]_{l=1}^N \right\}_{k=1}^N = \\ &= \left\{ \left\{ 0, 1 \right\} \mathbf{U} \left\{ \sum_{j=1}^{k-1} d_j \right\}_{k=2}^{N-1} \right\} \times \left\{ \left\{ 0, 1 \right\} \mathbf{U} \left\{ \sum_{i=1}^{l-1} d_i \right\}_{l=2}^{N-1} \right\} \end{aligned} \quad (8)$$

одичного квадрата (2).

MATLAB-сесія. Для отримання розв'язку означеної таким способом дискретної безшумної дуелі слід представити значення її ядра як елементи $N \times N$ -матриці

$$g_{ij} = K(x_i, y_j) = h_1(x_i) - h_2(y_j) + h_1(x_i)h_2(y_j) \operatorname{sign} [h_2(y_j) - h_1(x_i)] =$$

$$= x_i^\beta - y_j^\beta + x_i^\beta y_j^\beta \text{sign}(y_j^\beta - x_i^\beta), \quad i = \overline{1, N}, \quad j = \overline{1, N}, \quad (9)$$

де, очевидно, що “крайні” чисті стратегії обох гравців $x_1 = y_1 = 0$ та $x_N = y_N = 1$, а

$$x_i = \sum_{k=1}^{i-1} 2^{-k} \quad \text{при } i = \overline{2, N-1}, \quad (10)$$

$$y_j = \sum_{k=1}^{j-1} 2^{-k} \quad \text{при } j = \overline{2, N-1}. \quad (11)$$

У MATLAB легко побудувати модуль для представлення (5) – (11) й отримання розв’язку у формі вектора $\mathbf{P} \in \mathbb{R}^N$ оптимальних імовірностей вибору чистих стратегій на (6) і (7).

Реалізувати розв’язок безшумної дуелі можна за допомогою спеціального модуля (рис. 1), котрий враховує кількість передбачуваних розіграшів дуелі G . Тоді MATLAB-сесія полягатиме в отриманні вектора $\mathbf{P} \in \mathbb{R}^N$ і його підстановці у модуль "orp2_realtime_player1" з відомим числом G (рис. 2).

```

1 function [Popt_f1] = orp2_realtime_player1(PayoffMatrix, G, Soft_Correction, u_display, u_payoff, Pucalstrategy_display)
2 % arguments
3 u_display=0;
4 u_payoff=0;
5 Pucalstrategy_display=0;
6 end
7 if u_display==1
8     u_payoff=0;
9 end
10 [Gopt, Gpay, Ulow1, Up1, UE1] = orp2PayoffMatrix;
11 Pucalstrategy_number(1,u1) = orp2PayoffMatrix(1,u1); Pucalstrategy_number(2,u2) = orp2PayoffMatrix(2,u2);
12 Pucalstrategy_number(3,u3) = orp2PayoffMatrix(3,u3);
13 if G==0
14     disp(' This matrix game is solved in pure strategies ');
15     return;
16 end
17 %opt=Ulow1*Ulow1Matrix*Ulow1; format long
18
19 % get the first player behavior
20 % u_display==1
21 disp('1 - It is the first player');
22 if u_payoff==1
23     pause
24 end
25 end
26 %opt=1-Ulow1*Ulow1;
27 %opt=opt;
28 %opt=opt+sig*beta*opt/(1+beta);
29
30 % First Player Best Response Number (1) to (1)
31 % Initially setting the pure strategy
32 % Ulow1=orp2PayoffMatrix(1,u1); Pucalstrategy_number(1) = 1;
33 while Ulow1 < Ulow1+beta;
34

```

Рис. 1. Код програми "orp2_realtime_player1" для отримання рекомендацій щодо дій у дуелі

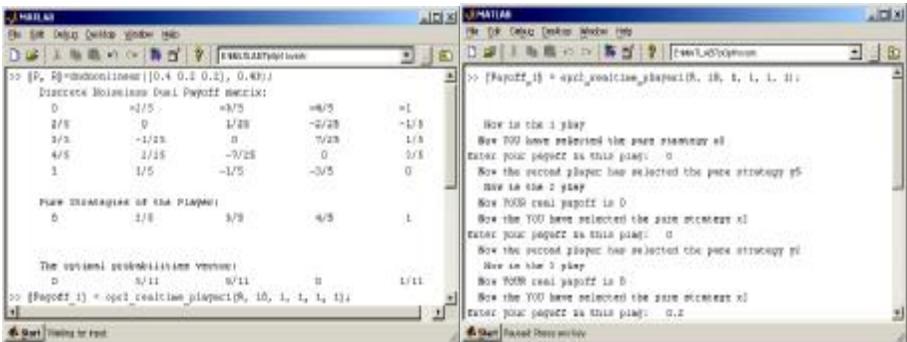


Рис. 2. Приклад коректного уведення даних для MATLAB-сесії

Висновок. Запропонована MATLAB-сесія може виявитись корисним засобом для прийняття рішення в умовах конфліктних явищ, де мова може йти про вибір хвилини, години, дня тижня або місяця, номеру тижня у календарному році, а також інших ізольованих відліків часу, у, зокрема, задачах з одночасним виходом на ринок двох фірм-конкурентів [8].

Список літератури: **1.** Петросян Л.А. Теория игр: Учеб. пособие для ун-тов / Л.А. Петросян, Н.А. Зенкевич, Е.А. Семина. – М.: Высшая школа, Книжный дом "Университет", 1998. – 304 с. **2.** Teraoka Y. A single bullet duel with uncertain information available to the duelists / Y. Teraoka // Bull. Math. Statist. – 1979. – № 18. – P. 69 – 80. **3.** Оуэн Г. Теория игр / Г. Оуэн. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 216 с. **4.** Teraoka Y. A two-person game of timing with random arrival time of the object / Y. Teraoka // Math. Japonica. – 1979. – № 24. – P. 427 – 438. **5.** Воробьёв Н.Н. Теория игр для экономистов-кибернетиков / Н.Н. Воробьёв. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 272 с. **6.** Baston V.J. A non-zero-sum war of attrition / V.J. Baston, A.Y. Garnavov // ZOR-Mathematical Methods and Models of Operation Research. – 1997. – № 45. – P. 197 – 211. **7.** Hamers H. A silent duel over a cake / H. Hamers // ZOR-Mathematical Methods and Models of Operation Research. – 1993. – № 37. – P. 119 – 127. **8.** Романюк В.В. Моделирование выхода на рынок двух конкурирующих предприятий с помощью игровой бесшумной дуэли в MATLAB 7.0.1 / В.В. Романюк // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2009. – № 3. – Т. 2. – С. 233 – 238.

Статья представлена д.т.н. проф. Катеринкук И.С.

УДК 519.832.3

MATLAB-сесія в практичеській реалізації рішення дискретної бесшумної дуэлі с нелінійними функціями меткості / Романюк В. В. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2009. – № 43. – С. 167 – 171.

Определено дискретную бесшумную дуэль с кососимметрическим ядром на конечном обобщённом подмножестве единичного квадрата с нелинейным масштабом, где функции меткости игроков положены обобщённо нелинейными. Представлены программы для MATLAB-сесии в практичеській реалізації рішення определённой дуэли. Ил.: 2. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: бесшумная дуэль, MATLAB, практичеськая реалізация решения.

UDC 519.832.3

MATLAB-session in practical realization of the solution of the discrete noiseless duel with nonlinear accuracy functions / Romanuke V. V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 43. – P. 167 – 171.

Determined the discrete noiseless duel with the skewsymmetric kernel on the finite subset of the unit square with the nonlinear scale, where the accuracy functions had been laid generally nonlinear. Presented the programs for MATLAB-session in the practical realization of the determined duel solution. Figs.: 2. Refs.: 8 titles.

Key words: noiseless duel, MATLAB, practical realization of the solution.

Поступила в редакцию 19.11.2009

А.Н. РЫСОВАНЬИЙ, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
В.В. ГОГОТОВ, аспирант НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

СРАВНЕНИЕ ДВУХ ГЕНЕРАТОРОВ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ПО МОДУЛЮ 3 ПО МАКСИМАЛЬНОЙ ДЛИНЕ ФОРМИРУЕМОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Рассмотрена возможность построения генератора псевдослучайных последовательностей (ПСП) по модулю 3 на базе нескольких генераторов псевдослучайных последовательностей по модулю 2. Получена формула, позволяющая рассчитать эффективность генератора ПСП по модулю 3 с использованием блока сложения по модулю 3 по отношению к генератору ПСП по модулю 3, который построен с использованием двух генераторов по модулю 2 по максимальной длине формируемой последовательности. Результаты исследования позволят разработать способ построения генераторов ПСП по большему модулю. Ил.: 2. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: генератор псевдослучайных последовательностей, эффективность, блок сложения, длина формируемой последовательности.

Постановка проблемы и анализ литературы. Качество операций генерации случайных последовательностей определяется, в первую очередь, качеством используемых генераторов псевдослучайных последовательностей (ПСП). Именно от свойств генераторов ПСП зависит надежность процесса сбора, обработки, хранения и передачи информации [1].

Для выбора основных характеристик генератора, по которым можно было бы судить о его применимости, необходимо провести анализ генераторов с различной архитектурой построения, рассмотреть влияние архитектуры генератора на максимальную длину формируемой последовательности. В связи с чем необходимы способы исследования характеристик генераторов псевдослучайных последовательностей и сравнения между собой различных генераторов. Также требуются количественные критерии, по которым можно было бы сравнить несколько генераторов ПСП. Таким критерием, например, может быть максимальная длина формируемой последовательности.

В отечественной и зарубежной литературе основное внимание при формировании псевдослучайных чисел уделено генераторам псевдослучайных последовательностей, построенным на основе регистра сдвига с линейной обратной связью (с сумматорами по модулю два), причем в большинстве работ рассматриваются последовательности максимальной длины [2 – 3].

При разработке программных средств генерации ПСП возникает проблема, которая связана с отсутствием инструментальных средств для статического исследования формируемых последовательностей. Более того, этим исследованиям уделялось мало внимание. За последние несколько лет ситуация кардинально изменилась, специалисты признали значимость статистического тестирования. Об этом свидетельствуют многочисленные

факты. В [4 – 8] рассмотрены свойства и особенности последовательностей максимальной длины, показан подход к построению генераторов псевдослучайных последовательностей, получения матриц состояний. Национальный Институт Стандартов и Технологий США (НИСТ) выпустил многостраничное руководство [9] по статическому тестированию генераторов ПСП. Однако [10] "значительная часть установленных здесь фактов – не доказанные теоремы, а эмпирические наблюдения, ожидающие смелых исследователей".

Существует утверждение о том, что генератор псевдослучайных последовательностей по модулю 3 возможно построить на базе нескольких генераторов псевдослучайных последовательностей по модулю 2 с сохранением всех свойств и характеристик, которые будут соответствовать генератору ПСП по модулю 3 с использованием блока сложения по модулю 3. Данное утверждение можно подтвердить или опровергнуть, проведя исследование формируемых генераторами ПСП, а также сравнить максимальную длину формируемой генераторами последовательности в обоих случаях.

Целью статьи является сравнение двух генераторов псевдослучайных последовательностей по максимальной длине формируемой последовательности: генератора по модулю 3 с использованием блока сложения по модулю 3 и генератора по модулю 3, который построен с использованием двух генераторов по модулю 2.

Основная часть. Для построения нелинейного генератора ПСП с использованием блока сложения по модулю 3 в схеме вместо традиционного блока сложения по модулю 2 используется блок сложения по модулю 3.

Математическая запись полиномов для регистров сдвига имеет вид: $P(x) = a_0x^n \oplus_k a_1x^{n-1} \oplus_k \dots \oplus_k a_n$, где при $k = 2$ выполняется сложение по $mod 2$. Если коэффициент при нулевой степени аргумента $a_n = 1$, то такой полином называется характеристическим. Для нелинейных регистров сдвига с обратными связями для конечного поля Галуа $GF(3)$ $a_n = a_0 \in \{1, 2\}$, $a_i \in \{0, 1, 2\}$ при $(i \neq n, 0)$. Таким образом, нелинейные регистры сдвига с обратными связями могут и не быть характеристическими.

Функциональная схема генератора ПСП с использованием блока сложения по модулю 3 с полиномом $P(x) = x^4 \oplus_3 x^3 \oplus_3 1$ приведена на рис. 1. Методика построения генераторов ПСП с использованием блока сложения по модулю 3 описана в [4 – 8].

Число состояний l для такого генератора будет определяться выражением:

$$l = p^m - 1 \tag{1}$$

Таким образом, для генератора ПСП с использованием блока сложения по модулю 3 с полиномом $P(x) = x^4 \oplus_3 x^3 \oplus_3 1$ максимальная длина формируемой последовательности равна $l = 3^4 - 1 = 80$.

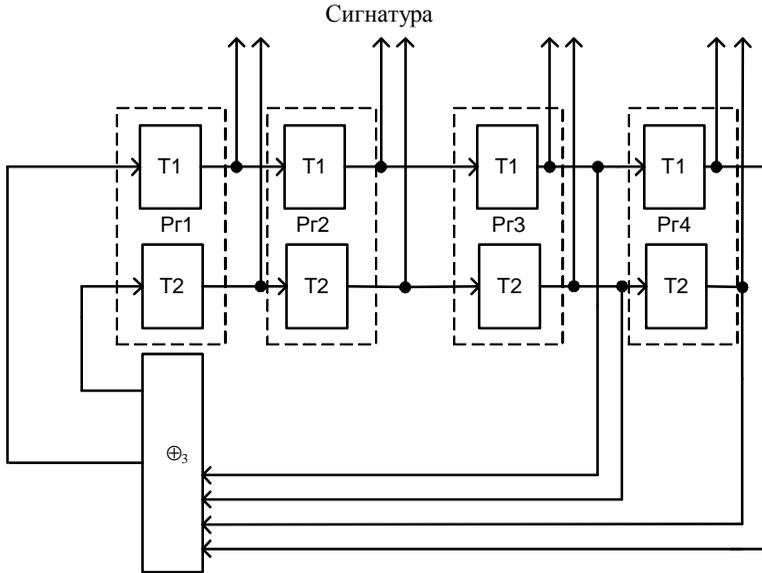


Рис. 1. Функциональная схема генератора псевдослучайных последовательностей с использованием блока сложения по модулю 3 с $P(x) = x^4 \oplus_3 x^3 \oplus_3 1$

Работа генератора ПСП с использованием блока сложения по модулю 3 описывается с помощью матрицы состояний, которая для схемы рис. 1 имеет следующий вид:

$$h = \begin{pmatrix} 10011012110021020122101011112220112120002002202122001201021120202222111022121000 \\ 01001101211002102012210101111222011212000200220212200120102112020222211102212100 \\ 00100110121100210201221010111122201121200020022021220012010211202022221110221210 \\ 00010011012110021020122101011112220112120002002202122001201021120202222111022121 \end{pmatrix}$$

Функциональная схема генератора ПСП по модулю 3, который построен с использованием двух генераторов по модулю 2 с полиномом $P(x) = x^4 \oplus_2 x^3 \oplus_2 1$ приведена на рис. 2.

Для получения матрицы состояний, которая будет соответствовать матрице состояний генератора ПСП по модулю 3 с использованием блока сложения по модулю 3, в коммутаторе начальных характеристик

псевдослучайных последовательностей задается начальное состояние триггеров второй очереди с помощью реализации функции сдвига.

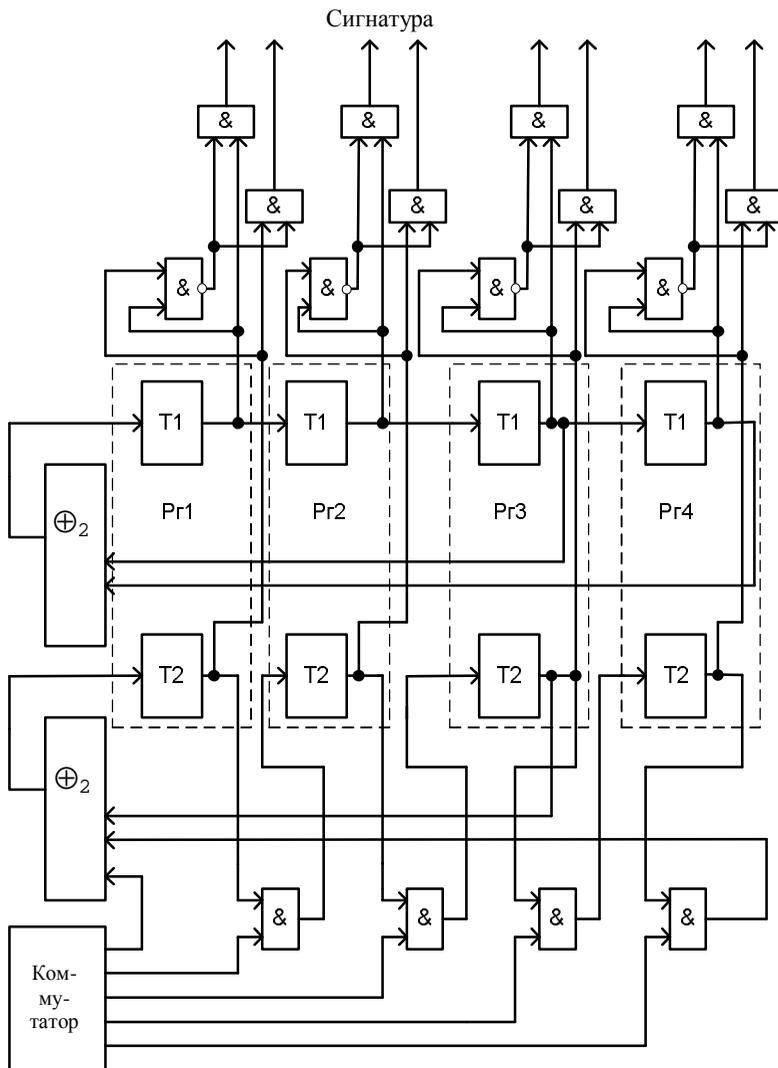


Рис. 2. Функциональная схема генератора псевдослучайных последовательностей по модулю 3, который построен с использованием двух генераторов по модулю 2 с $P(x) = x^4 \oplus_2 x^3 \oplus_2 1$

Снятие данных с соответствующих выходов первой и второй очереди триггеров в результате сформирует новую матрицу состояний, которая будет соответствовать частичной матрице состояний генератора с использованием блока сложения по модулю 3. Формирование элемента новой матрицы будет определяться выражением

$$h_3[i, j] = [h_2[i, j], h_1[shl(h_2[i, j], k)]] \quad (2)$$

где h_3 – новая матрица состояний для генератора ПСП по модулю 3, который построен с использованием двух генераторов по модулю 2; i, j – индексы элемента матрицы; h_2 и h_1 – матрицы состояний генератора ПСП по модулю 2; k – показывает на сколько позиций матрица h_1 сдвинута по отношению к матрице h_2 .

Следует отметить, что для h_3 нулевое (0000...), единичное (1111...) и двоичное (2222...) состояние будет являться запрещенным, поскольку на выходах первой или второй очереди триггеров по модулю 2 не сможет сформироваться нулевое состояние.

Число состояний l для такого генератора будет определяться выражением:

$$l = p^m - 3. \quad (3)$$

Таким образом, для генератора ПСП по модулю 3, который построен с использованием двух генераторов по модулю 2 с полиномом $P(x) = x^4 \oplus_2 x^3 \oplus_2 1$ максимальная длина формируемой последовательности равна $l = 3^4 - 3 = 78$.

Принимая во внимание (1) и (2), получим формулу для расчета эффективности генератора ПСП по модулю 3 с использованием блока сложения по модулю 3 по отношению к генератору ПСП по модулю 3, который построен с использованием двух генераторов по модулю 2 по максимальной длине формируемой последовательности:

$$S = \frac{p^m - 1}{p^m - 3}. \quad (4)$$

Работа генератора ПСП по модулю 3, который построен с использованием двух генераторов по модулю 2, описывается с помощью матриц состояний, которые для схемы рис. 2 имеют следующий вид:

$$h_3^{k=1} = \begin{pmatrix} 102012120001002 \\ 210201212000100 \\ 021020121200010 \\ 002102012120001 \end{pmatrix}; \quad h_3^{k=2} = \begin{pmatrix} 122100020011020 \\ 012210002001102 \\ 201221000200110 \\ 020122100020011 \end{pmatrix}; \quad h_3^{k=3} = \begin{pmatrix} 020012020111200 \\ 002001202011120 \\ 000200120201112 \\ 200020012020111 \end{pmatrix};$$

$$h_3^{k=4} = \begin{pmatrix} 002102021110001 \\ 200210202111000 \\ 020021020211100 \\ 002002102021110 \end{pmatrix}; \quad h_3^{k=5} = \begin{pmatrix} 120002001101022 \\ 212000200110102 \\ 221200020011010 \\ 022120002001101 \end{pmatrix}; \quad h_3^{k=6} = \begin{pmatrix} 002002101011220 \\ 000200210101122 \\ 200020021010112 \\ 220002002101011 \end{pmatrix};$$

$$h_3^{k=7} = \begin{pmatrix} 122000100110202 \\ 212200010011010 \\ 021220001001101 \\ 202122000100110 \end{pmatrix}; \quad h_3^{k=8} = \begin{pmatrix} 022010121100020 \\ 002201012110001 \\ 200220101211000 \\ 020022010121100 \end{pmatrix}; \quad h_3^{k=9} = \begin{pmatrix} 022110001001202 \\ 202211000100120 \\ 020221100010012 \\ 202022110001001 \end{pmatrix};$$

$$h_3^{k=10} = \begin{pmatrix} 020112100010022 \\ 202011210001002 \\ 220201121000100 \\ 022020112100010 \end{pmatrix}; \quad h_3^{k=11} = \begin{pmatrix} 000100120101222 \\ 200010012010122 \\ 220001001201012 \\ 222000100120101 \end{pmatrix}; \quad h_3^{k=12} = \begin{pmatrix} 100010021010222 \\ 210001002101022 \\ 221000100210102 \\ 222100010021010 \end{pmatrix};$$

$$h_3^{k=13} = \begin{pmatrix} 102112000100220 \\ 010211200010022 \\ 201021120001002 \\ 220102112000100 \end{pmatrix}; \quad h_3^{k=14} = \begin{pmatrix} 120102121000200 \\ 012010212100020 \\ 001201021210002 \\ 200120102121000 \end{pmatrix}.$$

Выводы. Получен генератор псевдослучайных последовательностей по модулю 3 на базе двух генераторов псевдослучайных последовательностей по модулю 2. В результате исследования было установлено, что максимальная длина формируемой последовательности для такого генератора всегда будет на две последовательности меньше по сравнению с генератором ПСП по модулю 3 с использованием блока сложения по модулю 3. Полученная формула (4) позволяет рассчитать эффективность генератора ПСП по модулю 3 с использованием блока сложения по модулю 3 по отношению к генератору ПСП по модулю 3, который построен с использованием двух генераторов по модулю 2 по максимальной длине формируемой последовательности. Результаты исследования позволят разработать способ построения генераторов псевдослучайных последовательностей по большему модулю.

Список литературы: 1. Иванов М.А. Теория, применение и оценка генераторов псевдослучайных последовательностей / М.А. Иванов, И.В. Чузунков. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003. – 240 с. 2. Зензин О.С. Стандарт криптографической защиты XXI века – АЕС. Теория конечных полей / О.С. Зензин, М.А. Иванов. Под ред. М.А. Иванова. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2002. 3. Питерсон У. Коды, исправляющие ошибки / У. Питерсон, Э. Уэлдон. – М.: Мир, 1976. 4. Рысованый А.Н. Выбор полиномов для нелинейных регистров сдвига с обратными связями по критерию формирования последовательности максимальной длины / А.Н. Рысованый, В.В. Гозотов // Системы управління, навігації та зв'язку. – К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління. – 2007. – Вип.1. – С. 77 – 79. 5. Рысованый А.Н. Методика построения нелинейного генератора псевдослучайных последовательностей с использованием блока сложения по модулю 3 / А.Н. Рысованый, В.В. Гозотов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. – Вип. № 5-6. – С. 21 – 25. 6. Рысованый А.Н. Выбор полиномов с $DEGP(x) = 5$

для сигнатурних аналізаторів в поле Галуа $GF(3)$ по критерію формування послідователності максимальної довжини / *А.Н. Рысований, В.В. Гоготов* // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2007. – Вип. 2 (14). – С. 126 – 128. **7.** *Рысований А.Н.* Выбор полиномов для сигнатурных анализаторов в поле Галуа $GF(3)$ по критерию сложности технической реализации / *А.Н. Рысований, В.В. Гоготов* // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2007. – № 19. – С. 172 – 176. **8.** *Гоготов В.В.* Определение периодической структуры последовательности, порождаемой многочленом с минимальным элементом разложения / *В.В. Гоготов*. // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 13. – С. 33 – 38. **9.** A statistical test suite for random and pseudorandom number generators for cryptographic applications. NIST Special Publications 800-22, 2001. **10.** *Арнольд В.И.* Динамика и статика полей Галуа. Курс лекций / *В.И. Арнольд*. – М.: Мехмат МГУ. – 2004. <http://ftp.mccme.ru/>

УДК 004.272.43

Порівняння двох генераторів псевдовипадкових послідовностей по модулю 3 по максимальній довжині формованої послідовності / Рисований О.М., Гоготов В.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 43. – С. 172 – 178.

Розглянута можливість побудови генератора псевдовипадкових послідовностей (ПВП) по модулю 3 на базі декількох генераторів псевдовипадкових послідовностей по модулю 2. Отримана формула, що дозволяє розрахувати ефективність генератора ПВП по модулю 3 з використанням блоку складання по модулю 3 по відношенню до генератора ПВП по модулю 3, який побудований з використанням двох генераторів по модулю 2 по максимальній довжині формованої послідовності. Результати дослідження дозволять розробити спосіб побудови генераторів ПВП по більшому модулю. Іл.: 2. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: генератор псевдовипадкових послідовностей, ефективність, блок складання, довжина формованої послідовності.

UDC 004.272.43

The comparison of two generators of pseudorandom sequences on the module 3 on the maximum length of the formed sequence / Risavaniy A.M., Gogotov V.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – № 43. – P. 172 – 178.

The possibility of construction of pseudorandom sequence generator on the module 3 is considered on the base of several generators of (PRS) on the module 2. We got the formula allowing to calculate the efficiency of generator of pseudorandom sequences on the module 3 with the use of block of addition on the module 3 in relation to the generator of pseudorandom sequences on the module 3, which is built with the use of two generators on the module 2 on the maximum length of the formed sequence. The results of the research will allow to develop the method of construction of generators of PRS sequences on the greater module. Figs: 2. Refs: 10 sources.

Key words: a generator of pseudorandom sequences, efficiency, block of addition, the length of the formed sequence.

Поступила в редакцію 18.09.2009

В.И. СУХОПУКОВ, д-р мед. наук, проф., рук. отдела нейropsихокибернетики ГУ "Институт неврологии, психиатрии и наркологии АМН Украины" (ИНПиН АМНУ) (г. Харьков),

И.А. СЕРБИНЕНКО, канд. мед. наук, в. н. с. ГУ ИНПиН АМНУ (г. Харьков),

Ю.В. БОВТ, канд. мед. наук, в. н. с. ГУ ИНПиН АМНУ (г. Харьков),

А.Н. КОРСУНОВ, с. н. с. ГУ ИНПиН АМНУ (г. Харьков),

Л.П. ЗАБРОДИНА, м. н. с. ГУ ИНПиН АМНУ (г. Харьков)

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ МЕЖПОЛУШАРНЫХ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ МОЗГА ЧЕЛОВЕКА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ВЛИЯНИЙ

Разработанный авторами метод компьютерного анализа биоэлектрической активности мозга для выявления изменений межполушарных взаимоотношений применялся у практически здоровых людей и у больных энцефалопатией. Выделен критерий оценки этих изменений – коэффициент симметрии. Представлены результаты анализа изменений коэффициента симметрии у практически здоровых и больных энцефалопатией при разной степени возмущенности геомагнитного поля. Рекомендовано применять данный метод для прогнозирования декомпенсации у практически здоровых и больных энцефалопатией при изменении гелиогеофизических влияний. Табл.: 1. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: межполушарные взаимоотношения, биоэлектрическая активность, коэффициент симметрии, геомагнитное поле.

Постановка проблемы и анализ литературы. В последние годы выполнено большое количество работ по выявлению зависимости между здоровьем человека и изменениями гелиогеофизических влияний. Данные о смертности, сердечно-сосудистых, нервных, онкологических и других заболеваниях, а также сведения о росте количестве госпитализаций в психиатрические больницы послужили основой для исследования связи этих явлений с изменениями солнечной и геомагнитной активности [1 – 3]. В ряде исследований показано, что существует значительная корреляция между степенью выраженности патологических проявлений и сильными геомагнитными возмущениями, так называемыми геомагнитными бурями. Показано, что не менее 75% всех магнитных бурь независимо от интенсивности вызывают резкое увеличение числа госпитализаций больных с сердечно-сосудистыми, цереброваскулярными, дыхательными и другими заболеваниями. Установлено, что в периоды магнитных бурь число обострений острых нарушений мозгового кровообращения увеличивается в 2 раза, а инфарктов миокарда – в 2,5 раза [4 – 6]. В наших предыдущих работах показано, что у больных энцефалопатией разного генеза в периоды резких изменений гелиогеофизических влияний нарастала выраженность непсихотических психических нарушений, что, в свою очередь, влияло на

механизмы декомпенсации этих больных [7]. Исходя из вышесказанного поиск адекватных критериев оценки изменений функционального состояния мозга у практически здоровых и больных энцефалопатией разного генеза под воздействием негативных факторов окружающей среды не утратил свою актуальность. Известно [8], что любая деятельность реализуется через динамическое взаимодействие правого и левого полушарий мозга. При различных внешних воздействиях происходит изменение межполушарных взаимоотношений мозга, а особенности этих взаимоотношений могут играть существенную роль в изменении функционального состояния мозга человека.

Цель работы. Разработка критерия диагностики изменений функционального состояния с применением метода компьютерного анализа биоэлектрической активности мозга для изучения межполушарных взаимоотношений у практически здоровых и у больных энцефалопатией разного генеза при изменении степени возмущенности геомагнитного поля.

Материалы исследования. В исследовании участвовали 15 практически здоровых (группа сравнения) и 19 больных энцефалопатией разного генеза (основная группа), принимавших курс лечения в клинике ГУ "Институт неврологии, психиатрии и наркологии АМН Украины". Все обследованные были в возрасте от 25 до 50 лет. Запись электроэнцефалограммы (ЭЭГ) проводилась на энцефалографе EEG 16S "Medicor" (Венгрия); наложение электродов – по международной схеме "10-20". ЭЭГ регистрировали ежедневно, в одно и тоже время суток в течение 15 минут. Комплексное исследование проводилось в течение 7 дней. Для оценки межполушарных взаимоотношений был предложен способ выявления наличия либо отсутствия межполушарной симметрии электрической активности головного мозга. Отличительной особенностью данного способа является то, что в одном показателе объединены отличия электрической активности от симметричных областей правого и левого полушарий мозга по фазе, частоте и амплитуде сигнала. Подробно данный метод описан в нашей предыдущей работе [9]. Вычисление коэффициента симметрии ($K_{\text{сим}}$) проводилось по 10 секундным эпохам симметричных отведений ЭЭГ (фронтальных, теменных, височных и затылочных отведений правого и левого полушарий мозга).

Результаты исследования анализировались в динамике. Проводился параллельный анализ изменений коэффициента симметрии и индекса степени возмущенности геомагнитного поля (ГМП). Основным показателем был избран K -индекс – это квазилогарифмический (увеличивается на единицу при увеличении возмущенности приблизительно в 2 раза) индекс, который вычисляется по данным конкретной обсерватории за 3-х часовый интервал времени. Планетарный индекс K_p вычисляется как среднее значение K -индексов, определяемых на 13 геомагнитных обсерваториях, расположенных между 44° и 60° северной и южной геомагнитной широты. K_p -индекс изменяется в пределах от 0 до 9 баллов с точностью до 1/3.

Качественно состояние геомагнитного поля в зависимости от K_p -индекса характеризуется следующим образом: K_p от 0 до 2,0 – спокойное ГМП; K_p от 2,3 до 3,6 – слабо возмущенное ГМП; K_p от 4 до 5,3 – возмущенное ГМП; K_p от 5,6 до 7,0 – магнитная буря; K_p больше 7,0 – большая магнитная буря. В период проводимых нами исследований степень возмущенности ГМП не достигала уровня магнитной бури. При выполнении данной работы использовались обзоры и прогнозы солнечной активности и геомагнитной обстановки, составленные по материалам службы Солнца Боулдер, США, центра сбора и обработки солнечных индексов, Брюссель, Бельгия, обсерватории ИЗМИРАН, Троицк, Россия.

В результате проведенного компьютерного анализа ЭЭГ в контрольной группе (практически здоровы) за весь период наблюдения регистрировались низкие значения коэффициента симметрии (от 1,2 ед. до 1,5 ед.). На фоне спокойной геомагнитной обстановки ($K_p = 0,66$) отмечалось некоторое увеличение коэффициента симметрии в затылочных отведениях ЭЭГ. По мере нарастания уровня возмущенности ГМП ($K_p = 3,3$) прослеживалось некоторое усиление симметричности электрических процессов в передних отделах мозга. А на фоне сильно возмущенного ГМП ($K_p = 4,6$), хотя и не достигающего уровня магнитной бури, коэффициент симметрии несколько возрастал как во фронтальных, так и в затылочных отведениях ЭЭГ, при этом его значения в теменно-височных отведениях практически не изменялись (см. табл.).

Таблица

Показатели коэффициента симметрии в группе практически здоровых и больных энцефалопатией при разных значениях K_p -индекса

Отведения ЭЭГ	Степень возмущенности геомагнитного поля (значения K_p)					
	$K_p = 0,66$ (спокойное ГМП)		$K_p = 3,3$ (слабо возмущенное ГМП)		$K_p = 4,6$ (сильно возмущенное ГМП)	
	Группа здоровых	Группа больных	Группа здоровых	Группа больных	Группа здоровых	Группа больных
Фронтальные отведения	1,39±0,13	2,6±0,21	1,45±0,12	3,02±0,30	1,48±0,11	2,28±0,29
Теменные отведения	1,37±0,12	1,81±0,21	1,33±0,13	2,27±0,26	1,36±0,13	3,61±0,35
Височные отведения	1,38±0,12	1,84±0,24	1,24±0,11	1,71±0,21	1,40±0,13	1,95±0,21
Затылочные отведения	1,41±0,13	2,47±0,30	1,33±0,13	1,95±0,24	1,45±0,14	3,54±0,28

Отличительной особенностью основной группы (больные энцефалопатией разного генеза) были более высокие значения коэффициента симметрии (от 1,7 ед. до 3,6 ед.). При слабом уровне возмущенности геомагнитного поля у больных энцефалопатией отмечалось усиление симметричности электрической активности мозга во фронтально-теменных

отведениях, а на фоне сильно возмущенного геомагнитного поля шло увеличение коэффициента симметрии во всех исследуемых отведениях ЭЭГ (см. табл.).

Выводы. Результаты исследования показали адекватность использования коэффициента симметрии с компьютерным анализом ЭЭГ для оценки изменений межполушарных взаимоотношений мозга при изменениях геомагнитной обстановки. Высокие значения коэффициента симметрии в дни повышенной геомагнитной активности у больных энцефалопатией могут свидетельствовать о снижении уровня функциональной активности мозга, что может привести к срыву механизмов регуляции с последующей декомпенсацией. Данный метод может быть использован для диагностики чувствительности к воздействию геомагнитных влияний у практически здоровых и больных с энцефалопатией.

Список литературы: 1. Агаджанян Н.А. Среда обитания и реактивность организма / Н.А. Агаджанян, И.И. Макарова. – Тверь, 2001. – 176 с. 2. Реакция организма человека на факторы, связанные с вариациями солнечной активности / И.В. Дмитриева, В.Н. Обридко, М.В. Рагульская, А.Е. Резников, О.В. Хабарова // Биофизика. – 2001. – Т. 46. – Вып. 5 – С. 940-945. 3. Медико-биологические эффекты геомагнитных возмущений / Н.А. Агаджанян, В.Н. Ораевский, И.И. Макарова, Х.Д. Канониди. – М.: "Тривант", 2001. – 136 с. 4. Гичев Ю.П. Влияние электромагнитных полей на здоровье человека / Ю.П. Гичев, Ю.Ю. Гичев. – Новосибирск, 1999. – 92 с. 5. Рожественская Е.Д. Существует ли зависимость характера течения сердечно-сосудистых заболеваний от колебаний солнечной активности и геомагнитных воздействий? / Е.Д. Рожественская // Уральский кардиологический журнал. – 2001. – № 1. – С. 3-9. 6. Влияние природных геомагнитных полей на церебральный электрогенез неврологических хворих / В.И. Сухоруков, Л.П. Бакуменко, Ю.В. Бовт, О.С. Кутиков, И.М. Никишкова, Л.П. Забродина, Т.С. Бабкина // Сб. статей VIII Международной конференции по квантовой медицине. – Донецк, 2003. – С. 192-195. 7. Вивчення типів реагування на метеофактори у хворих з психоневрологічною патологією / О.М. Біневська, Ю.В. Бовт, Л.П. Забродіна, А.М. Кожина, О.М. Корсунов, В.В. Циганенко // Укр. вісник психоневрології. – Харків. – 2002. – Т. 10. – Вип. 1 (30), додаток. – С. 26-27. 8. Функциональные асимметрии у человека и животных: влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения миллиметрового диапазона / Е.Н. Чуян, Н.А. Темуриянц, В.А. Пономарева, Н.В. Чирский. – Симферополь, 2004. – 440 с. 9. Компьютерный анализ изменений межполушарных взаимодействий мозга человека при воздействии искусственных магнитных сигналов сверхнизкой частоты / В.И. Сухоруков, Ю.В. Бовт, Л.П. Забродина, Ю.И. Волощук, О.И. Харченко // Вестник НТУ "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2008. – № 24. – С. 174-177.

УДК 616.831-08:616.85-039:612.014.447

Комп'ютерний аналіз міжпівкульових взаємодій мозку людини при зміні геліогеофізичних впливів / Сухоруков В.І., Сербіненко І.А., Бовт Ю.В., Корсунов А.Н., Забродіна Л.П. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 43. – С. 179 – 183.

Розроблений авторами метод комп'ютерного аналізу біоелектричної активності мозку для виявлення змін міжпівкульових взаємодій застосовувався у практично здорових людей і у хворих енцефалопатією. Виділено критерій оцінки цих змін – коефіцієнт симетрії. Представлено результати аналізу змін коефіцієнта симетрії у практично здорових і хворих енцефалопатією при різному ступені збуреності геомагнітного поля. Рекомендовано застосовувати даний метод для прогнозування декомпенсації у практично здорових і хворих енцефалопатією при зміні геліогеофізичних впливів. Табл.: 1. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: міжпівкульові взаємодії, біоелектрична активність, коефіцієнт симетрії, геомагнітне поле.

UDC 616.831-08:616.85-039:612.014.447

The computer analysis interhemisphere relations in human brain when change heliumgeophysical influences / Suhorukov V.I., Serbinenko I.A., Bovt YU.V., Korsunov A.N., Zabrodina L.P. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 43. – P. 179 – 183.

The designed author method computer analysis bioelectrically to activities of the brain for revealing the change interhemisphere relations was used beside practically sound people and beside sick encephalitis. The chosen standard of judgement of these change – a factor to symmetries. The Presented results of the analysis of the change the factor to symmetries beside practically sound and sick encephalitis at miscellaneous degree indignation geomagnetic field. It Is Recommended to use the given method for forecasting decompensation beside practically sound and sick encephalitis when change heliumgeophysical influences. Table: 1. Refs: 9 titles.

Key words: interhemisphere relations, bioelectrically to activities, factor to symmetries, geomagnetic field.

Поступила в редакцію 19.10.2009

С.Ф. ТЕЛЕНИК, д-р техн. наук, зав. каф. НТУУ "КПІ" (м. Київ),
І.Ю. ГРИШИН, канд. техн. наук, доц. РВНЗ "КГУ" (м. Ялта)

МЕТОД ОПТИМАЛЬНОГО ПОСЛІДОВНОГО ПЛАНУВАННЯ ВИМІРІВ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЇ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ В РЕЖИМІ СУПРОВОДЖЕННЯ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

У роботі розроблений метод квазіоптимального управління багатофункціональною радіолокаційною системою в режимі супроводження космічних об'єктів. Метод заснований на виводах і результатах аналізу раніше розробленого методу оптимального управління. Розглянуті випадки зображення моделі траєкторії поліномами другого і першого порядку. Для кожного випадку отримані вирази для формування управляючих дій. Лл.: 3. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: метод оптимального управління, багатофункціональна радіолокаційна система, режим супроводження космічних об'єктів, планування вимірів, поліном.

Постановка проблеми. Відомі методи оптимального управління радіолокаційною системою в режимі супроводження об'єктів [1 – 3]. Проте вони відрізняються значною складністю, високими вимогами до обчислювальних ресурсів для їх реалізації, неможливістю використання в системах управління реального часу. Тому необхідно розробити метод управління, що вимагає істотно менших обчислювальних витрат, який може бути реалізований в заданому часовому циклі системи управління реального часу.

Аналіз літератури. Відомий метод оптимального управління радіолокаційною системою в режимі супроводження [1], який досить детально досліджений в роботах [2, 3]. Для його розробки застосований математичний апарат принципу максимуму в матричній формі [4]. У вказаних роботах показана перевага методу оптимального управління відносно існуючих підходів до управління радіолокаційними системами в режимі супроводження. Недоліком даного методу є неможливість отримати аналітичне вирішення унаслідок нелінійності об'єкту управління. Розв'язання знаходиться методом послідовних наближень [5] і вимагає значних обчислювальних витрат, що не дозволяє застосувати його в системах управління реального часу. Слід зазначити, що результати, отримані в ході дослідження оптимальних методів, не противоречат выводам теорії планування експерименту [6], а доповнюють і розширюють її. Також слід врахувати ту обставину, що в кожному циклі потрібно вирішувати задачу бінарного лінійного програмування великої розмірності, для вирішення якої може бути застосований метод [7], проте він вимагає ще доопрацювання для можливого практичного використання. Дані обставини показують практичну неможливість використання оптимальних методів в системах управління реального часу.

Мета статті – запропонувати метод управління багатофункціональною радіолокаційною системою (МФ РЛС) в режимі супроводження космічних об'єктів, що практично реалізується в системах управління реального часу.

Вихідні передумови. Аналіз результатів функціонування оптимального алгоритму управління енергетичними ресурсами МФ РЛС в режимі супроводження, синтезованого і детально дослідженого в роботах [1 – 3], дозволив розробити запропонований метод оптимального послідовного планування вимірів.

Траєкторії руху космічних об'єктів (КО) відносяться до класу детермінованих функцій часу і параметрів. Параметри траєкторії руху КО і їх перші похідні оцінюються за результатами радіолокаційних спостережень, другі похідні визначаються безпосередньо з рівняння руху, а вищі похідні – визначаються шляхом послідовного диференціювання рівнянь руху [8]. У радіолокаційних системах для представлення траєкторії руху КО користуються поліномами другого степеня (квадратична траєкторія), а на обмеженому інтервалі спостереження поліномами першого степеня (лінійна траєкторія) [9].

Використовуючи метод, розглянутий в [2, 3] для квадратичного і лінійного зображення траєкторій КО, отримані оптимальні плани проведення вимірів. Аналіз цих планів дозволив виявити оптимальну структуру управління радіолокаційними спостереженнями.

Для квадратичного та лінійного зображення траєкторії КО, оптимальне управління вимірами має структуру, представлену відповідно на рис. 1 і рис. 2.

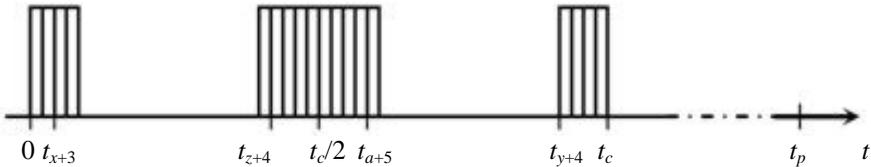


Рис. 1. Розподіл вимірів при квадратичній моделі траєкторії

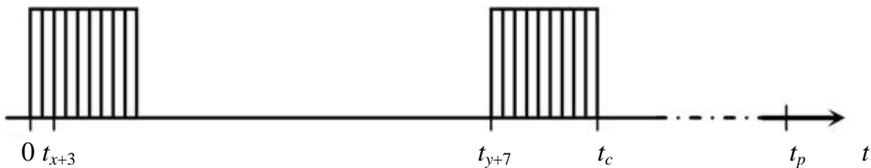


Рис.2. Розподіл вимірів при лінійній моделі траєкторії

З рис. 1 видно, що виміри групуються на кінцях інтервалу супроводження і біля його середини. З рис. 2 видно, що в разі використання лінійної моделі зображення траєкторії виміри групуються на кінцях інтервалу супроводження.

Виявлені закономірності є основою запропонованого методу.

Математична постановка задачі. Необхідно мінімізувати помилки оцінювання параметрів траєкторій всіх супроводжуваних КО на заданому рубежі [3]. Помилки оцінювання параметрів траєкторій КО задаються кореляційними матрицями $\Psi_i(t)$, $i = 1, \dots, N$, де N – кількість супроводжуваних КО. Припустимо, що $\Psi_i(t_k/t_p)$ – величина приросту помилки по положенню у момент часу t_p (заданому рубежі), при призначенні в момент t_k зондування в напрямі i -го КО. Відповідно до [10] вираз для $\Psi_i(t_k/t_p)$ має вигляд

$$\Psi_i(t_k/t_p) = \Psi_i(t_p)\Phi^T(t_k - t_p)H^T [H\Phi(t_k - t_p)\Psi_i(t_p)\Phi^T(t_k - t_p)H^T + R_i]^{-1} H\Phi(t_k - t_p)\Psi_i(t_p), \quad (1)$$

де $\Psi_i(t_p) = \Phi(t_p)\Psi_i(0)\Phi^T(t_p)$;

$$\Phi(t_p) = \begin{Bmatrix} 1 & t_p \\ 0 & 1 \end{Bmatrix} \text{ – оператор екстраполяції на момент часу } t_p;$$

$$\Psi_i(0) = \begin{Bmatrix} \sigma_{u_0}^2 & K_{u\&} \\ K_{u\&} & \sigma_{\dot{u}_0}^2 \end{Bmatrix} \text{ – кореляційна матриця помилок оцінювання}$$

параметрів траєкторії i -го КО у момент $t_k = 0$; де $\sigma_{u_0}^2, \sigma_{\dot{u}_0}^2$ – дисперсії помилок оцінок координати і швидкості відповідно; $K_{u\&}$ – кореляційний момент;

$H = \begin{Bmatrix} 1 & 0 \end{Bmatrix}$ – лінійний оператор відповідності оцінюваних параметрів і вимірюваних координат;

$$R_i = \begin{Bmatrix} s_{u_1}^2 & 0 & 0 \\ 0 & s_{u_2}^2 & 0 \\ 0 & 0 & s_{u_3}^2 \end{Bmatrix} \text{ – кореляційна матриця помилок вимірів параметрів}$$

i -го КО. Тут $s_{u_1}^2, s_{u_2}^2, s_{u_3}^2$ – дисперсії помилок виміру відповідних координат

КО. Дана матриця у випадку, що розглядається в статті, вироджується в дисперсію помилки виміру координати, тобто $R_i = \|\mathbf{s}_u^2\|$.

Кореляційна матриця помилок оцінювання положення i -го КО у момент часу t_p , з урахуванням того, що зондування проводиться в момент t_k , визначається наступною рекурентною процедурою

$$\Psi_i(t_p) = \Psi_i(t_p) - \Delta\Psi_i(t_p)\Phi^T(t_k/t_p). \quad (2)$$

Для вирішення завдання мінімізації помилок оцінювання положення всіх КО, супроводжуваних на рубежі, необхідно зазадати [2, 3]

$$\sum_{i=1}^N Sp[\Psi_i(t_p)] \Rightarrow \inf_{\langle u \rangle}, \quad (3)$$

при тих же обмеженнях, що і в [3].

Розробка методу. Використовуючи вираз (2), розв'язання задачі (3) може бути отримане у вигляді послідовної процедури, що вимагає на кожному кроці вибирати той, у якого

$$\max_i \left\{ Sp \left[H\Psi_i(t_k/t_p) \right] \right\}. \quad (4)$$

Враховуючи структуру оптимального вирішення, кожен крок пошуку складається з декількох моментів часу. Для квадратичного зображення траєкторії руху КО таких моментів чотири (t_x, t_y, t_z, t_a) . Вони показані на рис. 1. Для лінійного (рис. 2) – два (t_x, t_y) . На першому кроці $t_x = 0$, $t_y = t_c - \Delta T$, $t_z = t_c/2 - \Delta T$, $t_a = t_c/2$, де ΔT – задана дискретність вимірювань. На кожному кроці для цих моментів часу по кожному об'єкту формуються:

а) квадратичне зображення траєкторії КО $\Delta\Psi_i(t_x/t_p)$, $\Delta\Psi_i(t_y/t_p)$, $\Delta\Psi_i(t_z/t_p)$, $\Delta\Psi_i(t_a/t_p)$;

б) лінійне зображення траєкторії КО $\Delta\Psi_i(t_x/t_p)$, $\Delta\Psi_i(t_y/t_p)$.

Введемо позначення:

$$\Delta\phi_i(t_x) = Sp[H\Psi_i(t_x/t_p)H^T],$$

$$\Delta\phi_i(t_y) = Sp[H\Psi_i(t_y/t_p)H^T],$$

$$\Delta\varphi_i(t_z) = Sp[H\Psi_i(t_z/t_p)H^T],$$

$$\Delta\varphi_i(t_a) = Sp[H\Psi_i(t_a/t_p)H^T].$$

З сукупності значень $\Delta\varphi_i$, на кожному кроці, проводиться вибір максимального, яке визначить номер КО і момент його зондування:

а) квадратичне зображення траєкторії КО

$$u_i(t_k) = \begin{cases} 1, & \Delta\varphi_i^*(t_k) = \max_i [\Delta\varphi_i(t_x), \Delta\varphi_i(t_y), \Delta\varphi_i(t_z), \Delta\varphi_i(t_a)], \\ 0, & \text{для всіх остальных } i. \end{cases} \quad (5)$$

б) лінійне зображення траєкторії КО

$$u_i(t_k) = \begin{cases} 1, & \Delta\varphi_i^*(t_k) = \max_i [\Delta\varphi_i(t_x), \Delta\varphi_i(t_y)], \\ 0, & \text{для всіх інших } i. \end{cases} \quad (6)$$

Вибором моменту часу виміру на попередньому кроці визначаються моменти часу на наступний крок:

а) квадратичне зображення траєкторії КО

$$(t_{x+1}, t_{y+1}, t_{z+1}, t_{a+1}) = \begin{cases} (t_x + \Delta T, t_y, t_z, t_a), & \text{если } t_k = t_x, \\ (t_x, t_y - \Delta T, t_z, t_a), & \text{если } t_k = t_y, \\ (t_x, t_y, t_z - \Delta T, t_a), & \text{если } t_k = t_z, \\ (t_x, t_y, t_z, t_a + \Delta T), & \text{если } t_k = t_a; \end{cases} \quad (7)$$

б) лінійне зображення траєкторії КО

$$(t_{x+1}, t_{y+1}) = \begin{cases} (t_x + \Delta T, t_y), & \text{если } t_k = t_x, \\ (t_x, t_y - \Delta T), & \text{если } t_k = t_y. \end{cases} \quad (8)$$

Процес продовжується, поки не буде вичерпаний весь ресурс, виділений на режим супроводження.

Результати моделювання. Шляхом математичного моделювання досліджувалася робота оптимального методу планування вимірів [3], розробленого на основі принципу максимуму Понтрягіна (метод 1), і запропонованого в даній статті (метод 2). Результати порівняльного аналізу цих методів приведені на рис. 3.

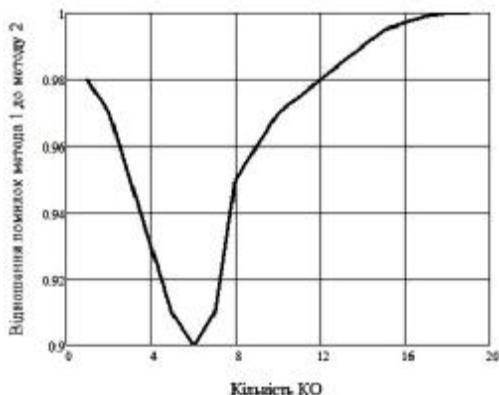


Рис. 3. Порівняння помилкових характеристик методів 1 і 2

Висновки. В результаті виконаної роботи розроблений метод послідовного планування вимірів МФ РЛС, який при чималій кількості супроводжуваних КО не поступається оптимальному методу, проте вимагає істотно менших обчислювальних ресурсів і може знайти застосування в системах управління реального часу.

Список літератури: 1. Гришин, І.Ю. Оптимизация управления многопозиционным радиолокационным комплексом / І.Ю. Гришин, М.К. Можар, В.І. Есин // Тезиси докладов 2-й Всесоюзной научно-технической конференции. – Туапсе, 1991. – С. 48–49. 2. Гришин І.Ю. Проблеми управління зенітними ракетними комплексами / І.Ю. Гришин, М.К. Можар, В.М. Решетник // Наука и оборона. – 1994. – Вып. 3. – С. 27–32. 3. Гришин І.Ю. Метод оптимального распределения энергетических ресурсов многопозиционного радиолокационного комплекса при сопровождении воздушных объектов / І.Ю. Гришин // V International Conference “Strategy of Quality in Industry and Education”, June 6 – 13, 2009, Varna, Bulgaria, Proceedings, Vol. II. – International Scientific Journal Acta Universitatis Pontica Euxinus, Special number. – P. 532–534. 4. Athans M. The matrix minimum principle. Massachusetts Institute of Technology Electronic Systems Laboratory Report ESL-R-317, Cambridge, Massachusetts, 1967. – 19 p. 5. Крылов И.А. Алгоритм метода последовательных приближений для задач оптимального управления / И.А. Крылов, Ф.Л. Черноусько // Журн. вычислит. мат. и мат. физ. – 1972. – Т. 12. – № 1. – С. 14–34. 6. Математическая теория планирования эксперимента. Серия: Справочная математическая библиотека. Под ред. С.М. Ермакова. – М.: Наука, 1983. – 392 с. 7. Grishin I. Linear programming: a new polynomial-time algorithm / I. Grishin, G. Potapov // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – № 1 (107). – 2007. – С. 113–119. 8. Саврасов Ю.С. Методы определения орбит космических объектов / Ю.С. Саврасов. – М.: Машиностроение, 1981. – 174 с. 9. Саврасов Ю.С. Алгоритмы и программы в радиолокации / Ю.С. Саврасов. – М.: Радио и связь, 1985. – 216 с. 10. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации / С.З. Кузьмин. – М.: Радио и связь, 1986. – 352 с.

УДК 681.518.25

Метод оптимального последовательного планирования измерений многофункциональной радиолокационной системы в режиме сопровождения космических объектов / Гришин І.Ю. // Вестник НТУ “ХПИ”. Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2009. – № 43. – С. 184 – 190.

В работе разработан метод квазиоптимального управления многофункциональной радиолокационной системой в режиме сопровождения космических объектов. Метод основан на выводах и результатах анализа ранее разработанного метода оптимального управления. Рассмотрены случаи представления модели траектории полиномами второго и первого порядка. Для каждого случая получены выражения для формирования управляющих воздействий. Ил.: 3. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: метод оптимального управления, многофункциональная радиолокационная система, режим сопровождения космических объектов, планирование измерений, полином.

UDC 681.518.25

Method of measurements optimum consecutive planning of the multipurpose radar-tracking system in the mode of space objects support / Grishin I.J. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 43. – P. 184 – 190.

In paper the method of quasioptimum control by the multifunctional radar-tracking system in a mode of space objects support is developed. The method is grounded on outputs and results of the analysis before the developed method of optimum control. Cases of representation of trajectory model are considered by polynomials of the second and first order. For each case expressions for creation of control actions are received. Figs: 3. Refs: 10 titles.

Keywords: method of optimum management, multifunction radio-location system, mode of accompaniment of space objects, planning measurings, polynomial.

Поступила в редакцию 10.09.2009

Н.В. ШАРОНОВА, д-р техн. наук, проф., зав. каф. НТУ "ХПИ"
(г. Харьков),
В.А. ТАРЛОВСКИЙ, ст. преп. ХЭПИ (г. Херсон),
Н.Ф. ХАЙРОВА, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

МЕТОД ПЕРСОНИФИКАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КОРПОРАТИВНОГО РЕСУРСА КОМПАНИИ

Проведен анализ существующих проблем представления знаний в современных корпоративных информационных системах. Показана возможность использования математического аппарата алгебры конечных предикатов для моделирования интеллектуальных активов компании. Предложено использование метода компараторной идентификации для разбиения модели знаний предметной области на изменяемые области деятельности менеджера. Библиогр.: 14 назв.

Ключевые слова: представление знаний, алгебра конечных предикатов, интеллектуальные активы компании, компараторная идентификация.

Постановка проблемы. В связи с лавинообразным ростом объема информации, влияющей на качество принятия решения менеджментом различного уровня, все больше организаций проявляют интерес к программам класса Knowledge Management System (KMS), обеспечивающим интегрированный подход к доступу и использованию информационных ресурсов организации. Из общего ресурсного потока организации, к которому в общем случае относятся структурированные базы данных, текстовая информация и неявные знания, программы KMS выделяют и управляют именно ценными знаниями (интеллектуальными активами) компании.

К интеллектуальным активам компании (ИА) относятся явные знания, обладающие определенным уровнем ценности для компании, т.е. качественная семантическая информация, выраженная знаковой формой и зафиксированная на любом материальном носителе. Для выявления явных знаний из неструктурированной информации, накапливающейся в разных формах и в разных хранилищах, наряду с известными методами полнотекстового поиска применяются аналитические технологии, поддерживающие нечеткий поиск, запросы на естественном языке, автоматическую кластеризацию результатов, а так же автоматическое аннотирование и реферирование.

На сегодняшний день, для реального управления запасами неструктурированных знаний на предприятии, накапливающихся в разных формах и в разных хранилищах, и их использования для принятия верных управленческих решений, менеджеру необходимо локализовать область своей деятельности персональной информационной зоной. Согласно аналитическим исследованиям, проведенным крупнейшей компанией Gartner [1], успех внедрения систем управления знаниями в крупных организациях будет недостаточным, и с 30-процентной вероятностью приведет к

"информационному потоку", при не достаточно четком разграничении рабочей области каждого менеджера или аналитика компании.

Анализ литературы. O'Brien I.A. [2] предложил следующее определение "базы знаний" в корпоративной информационной системе: "Хорошо структурированные, рассмотренные в многообразии взаимосвязей данные о свойствах сущностей предметной области и об отношениях между ними". Для представления знаний традиционно используется четыре типа моделей [3, 4, 5]: продукционная модель; формально-логическая модель; фреймовая модель; и семантико-сетевая модель. Основные задачи, которые выходят сегодня на передний план при разработке модели представления знаний современной корпоративной информационной системы:

- лингвистические ресурсы системы должны обладать возможностью расширяемости, позволяющей пользователям дополнять и расширять модель конкретной предметной области [6];

- возможностью персонализации работы, сохранения и обмена знаниями аналитиков и экспертов организации в виде персональных интеллектуальных ресурсов [7];

- возможность работы менеджеров в персональных информационных зонах, проведения исследований по отдельным сферам интересов [6, 7];

- возможность динамической классификации, меняющаяся в процессе получения документов текстовой информации [8].

Для решения вышеперечисленных задач необходимо использовать функциональные системы менеджмента, ядром которых станут интегрированные интеллектуальные информационные системы, включающие элементы искусственного интеллекта [9, 10], основанные на методах и средствах теории интеллекта [11, 12, 13].

Цель статьи. Используя средства теории интеллекта, разработать метод, позволяющий локализовать область работы менеджера корпорации индивидуальной информационной зоной, выделяя персональный интеллектуальный ресурс. Использование данного метода позволит разрабатывать и внедрять интегральные системы корпоративного менеджмента, позволяющие разбивать работу менеджеров на отдельные сферы интересов, а также оперативно изменять персональные информационные зоны менеджеров среднего звена корпорации.

Математический аппарат алгебры конечных предикатов. Обозначим некий универсум U , под которым будем понимать все возможные текстовые документы, поступающие менеджеру на обработку (справки, выписки, отчеты, распоряжения, решения и т.д.), понятия и объекты анализа рассматриваемой предметной области, специализированные словари, тезаурусы, отображающие специфику данной предметной области и т.д.

Из элементов универсума образуются подмножества $M_{1i}, M_{2i}, \dots, M_{mi}$ в соответствии с конкретной задачей обработки информации корпоративной информационной системой. На декартовых произведениях $M_{1i} \times M_{2i} \times \dots \times M_{mi}$ определяются предикаты P_j , характеризующие работу системы, выполняя ту или иную интеллектуальную обработку информационных потоков.

Предикатом P , заданным на U , называется любая функция $\varepsilon = P(x_1, x_2, \dots, x_n)$, отображающая множество U , в множество $\Sigma = \{0, 1\}$. Переменные x_1, x_2, \dots, x_n , называются предметными, а их значения предметами. Если множество U конечно, как при моделировании информационной системы корпорации, то и предикат P конечный [14].

Базисными предикатами для алгебры предикатов будут предикаты вида:

$$\begin{aligned} x_i^a &= 1, \text{ если } x_i = a, \\ x_i^a &= 0, \text{ если } x_i \neq a, \quad (1 \leq i \leq n), \end{aligned} \quad (1)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$; a – любой элемент универсума. Предикат вида (1) называется предикатом узнавания предмета a по переменной x_i . Если универсум конечен и состоит из m элементов, всего имеется $m \times n$ различных базисных элементов. Алгебра предикатов полна в том смысле, что любой ее предикат можно представить в виде суперпозиции базисных операций, примененных к базисным элементам. На языке алгебры конечных предикатов могут быть описаны любые конечные отношения, поэтому любой другой математический аппарат, предназначенный для описания произвольных конечных отношений, в логическом смысле, обязательно будет эквивалентен алгебре конечных предикатов [12].

Описание используемого метода. Определим на множестве элементов информационной системы $M = (D, T)$, где D – множество документов, поступающих на вход системы, а T – множество терминологических понятий, определяющих персонафицированные области деятельности менеджеров, универсума U , отображение $d \in D \rightarrow T$. Тогда для любого подмножества $D_k \subseteq D$ можно задать бинарное отношение неразличимости:

$$\text{int}(D_k) = \{(x, y) \in U \times U | (\forall d \in D_k) d(x) = d(y)\}. \quad (2)$$

Если $(x, y) \in \text{int } D_k$, то объекты x и y являются неразличимыми по отношению ко всем элементам множества D_k . На универсуме U можно ввести бинарное отношение неразличимости R . Отношение R эквивалентно отношению толерантности, являющегося экспликацией сходства или неразличимости. Отношение является отношением толерантности, если оно рефлексивно и симметрично [12].

Отношение R показывает толерантность обрабатываемой менеджером информации, представленной в текстовых документах, относительно интеллектуального ресурса менеджера, представленного в терминологических понятиях имеющегося словаря. Данное отношение позволяет выполнять

операции не с отдельными элементами универсума, а с кластерами толерантных элементов.

Полученные нами приближенные множества документов, содержащих информацию, поступающую в систему для обработки, и терминологических понятий, соответствующих области знаний менеджеров компании, можно описать средствами алгебры логики предикатов.

Введем на декартовом произведении $D \times D$ универсума U предикат соответствия документов персонифицированному интеллектуальному ресурсу k -менеджера. Действительно, если $G_2(t_1^k, t_2^k) = 1$, то $P(d, t_1^k) = P(d, t_2^k)$ для любого документа из области знаний менеджера:

$$G_1(d_1, d_2) = \forall t^k \in T^k (P(d_1, t^k) \sim P(d_2, t^k)). \quad (3)$$

Введем на декартовом произведении $T^k \times T^k$ универсума U предикат соответствия терминологических понятий персонифицированному интеллектуальному ресурсу k -менеджера:

$$G_2(t_1^k, t_2^k) = \forall d \in D (P(d, t_1^k) \sim P(d, t_2^k)). \quad (4)$$

Предикаты G_1 и G_2 , определяемые выражениями (3) и (4) рефлексивны, транзитивны и симметричны, из чего следует, что они являются предикатами эквивалентности и однозначно определяются предикатом P . Предикат $G_1(d_1, d_2)$ (1) можно использовать для объективного определения отношения двух любых документов (в данном исследовании текстовых документов) d_1 и d_2 , принадлежащих множеству D , к одной области знаний менеджера. Если, $G_1(d_1, d_2) = 1$, то при любом терминологическом понятии t^k множества T^k : $P(d_1, t^k) = P(d_2, t^k)$. Т.е. информация данных документов, выражаемая терминологическими понятиями из множества T^k , позволяет отнести их к области знаний k -менеджера. В противном случае, если $G_1(d_1, d_2) = 0$, то найдется такое терминологическое понятие $t^k \in T^k$, для которого $P(d_1, t^k) \neq P(d_2, t^k)$. В этом случае документы нельзя отнести к области знаний одного менеджера.

Предикат $G_2(t_1^k, t_2^k)$ можно использовать для определения соответствия любых двух терминологических понятий, принадлежащих множеству T^k , к терминологическим понятиям персонифицированного интеллектуального ресурса одного менеджера. Действительно, если $G_2(t_1^k, t_2^k) = 1$, то $P(d, t_1^k) = P(d, t_2^k)$ для любого документа $d \in D$. То есть терминологические понятия t_1^k и t_2^k либо одновременно относятся к области знаний менеджера, либо не относятся. Иначе говоря, во множестве документов D нет такого документа $d \in D$, который бы и относился и не относился к области знаний k -го менеджера, выражаемой терминологическими понятиями $t^k \in T^k$. Если же $G_2(t_1^k, t_2^k) = 0$, то найдется такой документ $d \in D$, для которого $P(d, t_1^k) \neq P(d, t_2^k)$. Т.е. либо документ d включает знания, выражаемые терминологическим понятием t_1^k и не включает знания, выражаемые

терминологическим понятием t_2^k , либо наоборот документ d , включает знания, выражаемые терминологическим понятием t_2^k и не включает знания, выражаемые терминологическим понятием t_1^k . В обоих случаях терминологические понятия t_1^k и t_2^k будут относиться к персонифицированному интеллектуальному ресурсу разных менеджеров.

Ясно, что документы, входящие в полученные классы эквивалентности не могут быть тождественными по смыслу безотносительно к терминологическим понятиям, отображающим область знаний того или иного менеджера, они являются эквивалентными относительно персонифицированной области знаний менеджера.

Используя предикат (4), можно определить разбиение ψ_1 множества D на слои, при котором все документы, относящиеся к одному слою, будут относиться к области знаний одного менеджера. Любые же документы, взятые из разных слоев разбиения, будут содержать информацию, относящуюся к области знаний различных менеджеров.

Предикат (3) позволяет определить разбиение ψ_2 множества терминологических понятий T на слои персонифицированных интеллектуальных ресурсов менеджеров корпорации. Любые два терминологических понятия, взятые из одного слоя разбиения, будут относиться к интеллектуальному ресурсу одного менеджера, а любые два документа, взятые из разных слоев разбиения ψ_2 , будут относиться к интеллектуальным ресурсам различных менеджеров.

Классу ϑ_c всех документов, $d \in D$, относящихся к области знаний одного менеджера, включающей документ $c \in D$, соответствует предикат:

$$\vartheta_c(d) = G_1(d, a). \quad (5)$$

Классу Λ_b всех терминологических понятий $t^k \in T$, относящихся к персонифицированному интеллектуальному ресурсу k -менеджера, включающему терминологическое понятие $b \in T$, будет соответствовать предикат:

$$\Lambda_b(t) = G_2(b, t). \quad (6)$$

Учитывая зависимости (5) и (6), получаем следующие формулы:

$$\vartheta_c(d) = \forall t \in T (P(d, t) \sim P(c, t)), \quad (7)$$

$$\Lambda_b(t) = \forall d \in D (P(d, t) \sim P(d, b)). \quad (8)$$

Формулы (7), (8) выражают разбиение документов, поступающих на обработку, и терминологических понятий, относящихся к области интеллектуальных активов менеджеров корпораций, на классы

эквивалентности через предикат персонифицированного интеллектуального ресурса компании, однозначно определяемый классификатором.

Выводы. Таким образом, использование математического аппарата алгебры конечных предикатов и, в частности, метода компараторной идентификации, позволяет автоматически разбивать область знаний корпоративной информационной системы на персональные информационные зоны. Кроме того, учитывая динамизм внешней по отношению к бизнесу среды и возможность последующей аппаратной реализации данного метода, его использование в базе знаний предметной области корпоративной информационной системы позволит обеспечить менеджмент среднего звена возможностью эффективной работы с информацией, с более релевантными и обоснованными подходами при принятии решений.

Список литературы. 1. http://www.knowledge-portal.com/knowledge_management_technologies/gartner_group_perspective.htm [Электронный ресурс]. 2. *O'Brien I.A.* Management Information Systems: A Managerial End User Perspective / *I.A. O'Brien*. – Boston: IRVIN, 1990. – 650 p. 3. *Уотермен Д.* Руководство по экспертным системам / *Д. Уотермен*. – М.: Мир, 1989. – 388 с. 4. *Белоголов Г.Г.* Компьютерная лингвистика и перспективные компьютерные технологии / *Г.Г. Белоголов, Ю.П. Калинин, А.А. Хорошилов*. – М.: "Русский мир", 2004. – 248 с. 5. *Дубровин А.Д.* Интеллектуальные информационные системы: Учеб. пособие. Ч.1 / *А.Д. Дубровин*. – М.: МГУКИ, 2008. – 232 с. 6. *Бажин И.И.* Информационные системы менеджмента / *И.И. Бажин*. – М.: ГУ – ВШЭ, 2002. – 688 с. 7. *Гаскаров Д.В.* Интеллектуальные информационные системы / *Д.В. Гаскаров*. – М.: ФГУП "Издательство Высшая школа", 2003. – 464 с. 8. *Семенов Н.А.* Интеллектуальные информационные системы / *Н.А. Семенов*. – Тверь: Издательство ТГТУ, 2004. – 168 с. 9. *Business Process Reengineering: The Oracle Perspective.* ORACLE CONSULTING, 1994. 10. *Hammer M.* Reengineering the Corporation. A Manifesto for Business Revolutions / *M. Hammer, J. Champy*. – HarperBusiness, 1993. 11. *Шабанов-Кушнарченко Ю.П.* Компараторная идентификация лингвистических объектов: Монография / *Ю.П. Шабанов-Кушнарченко, Н.В. Шаронова*. – К.: ИСДО, 1993. – 116 с. 12. *Бондаренко М.Ф.* Теория интеллекта. Учебник / *М.Ф. Бондаренко, Ю.П. Шабанов-Кушнарченко*. – Харьков: Изд-во СМІТ, 2007. – 576 с. 13. *Шаронова Н.В.* Использование метода компараторной идентификации для разбиения семантического пространства предметной области знание-ориентированных систем / *Н.В. Шаронова, Н.Ф. Хайрова* // Вестн. Херсон. гос. техн. ун-та. – Херсон, 2007 – № 4 (27). – С. 39–42. 14. *Булкин В.И.* Использование метода декомпозиции бинарных предикатов при формализации интеллектуальной деятельности / *В.И. Булкин, Н.Ф. Хайрова, Н.В. Шаронова* // Вестн. Херсон. гос. техн. ун-та. – Херсон, 2005. – № 1. – С. 78–82.

УДК 519.767

Метод персоніфікації інтелектуального корпоративного ресурсу компаній / Шаронова Н.В., Тарловський В.А., Хайрова Н.Ф. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 43. – С. 191 – 197.

Проведений аналіз існуючих проблем представлення знань в сучасних корпоративних інформаційних системах. Показана можливість використання математичного апарату алгебри кінцевих предикатів для моделювання інтелектуальних активів компаній. Запропоновано використання методу компараторної ідентифікації для розбиття моделі знань наочної області в змінній області діяльності менеджера. Бібліогр.: 14 назв.

Ключові слова: представлення знань, алгебра кінцевих предикатів, інтелектуальні активи компаній, компараторна ідентифікація.

UDC 519.767

Method of personification of the company intellectual corporate resource / Sharonova N., Tarlovsky V., Khairova N. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 43. – P. 191 – 197.

In these article the analysis of existing problems of knowledge representation in modern corporate information systems is carried out. Possibility of use of a mathematical apparatus of algebra of finite predicates for modelling of company intellectual assets of the company is shown. The method of comparative identification is used for splitting of data domain knowledge model into dynamic changeable spheres of a manager activity. Refs: 14 titles.

Key words: knowledge representation, algebra of finite predicates, intellectual assets of the company, comparative identification.

Поступила в редакцию 10.09.2009

Содержание

Бойченко К.Ю.

Некумулятивное преобразование признаков в системах оптического текстурного распознавания 3

Борисенко А.Н., Лавриненко О.В., Обод П.С.

Имитационное моделирование циклических процессов в цилиндропоршневой группе и механизме газораспределения дизель-генератора ... 10

Букатова И.Л.

Эффективные корпоративные стратегии управления и целостно-эволюционные средства 18

Бурицев М.В., Поворознюк А.И.

Синтез комбинированного решающего правила в задаче медицинской диагностики 27

Василенко О.В., Мовенко Е.Д.

Моделирование инвертора тока, работающего на индукционную установку 34

Гамаюн И.П., Иванченко А.В.

Проблема выявления полезных знаний при реализации программных проектов 42

Дмитриенко В.Д., Поворознюк О.А.

Биотехническая система диагностики и лечебных мероприятий в дерматологии 53

Долотов А.І.

Гібридна система обчислювального інтелекту, що самонавчається, на основі спайк-нейронної мережі 62

Жиляков Е.Г., Черноморец А.А., Заливин А.Н.

О повышении четкости контуров на космоснимках земной поверхности 68

Жиляков Е.Г., Прохоренко Е.И., Болдышев А.В., Эсауленко А.В.

Сжатие речевых данных как средство обеспечения скрытности речевых сообщений 75

Жиляков Е.Г., Фирсова А.А.

Об анализе и синтезе речевых сигналов в IP-телефонии 84

Кондратенко Ю.П., Коробко А.В., Кондратенко Г.В., Швец Э.А.

Синтез компьютерной системы распределенного термометрирования для автоматизации задач диагностики тепловых двигателей 92

Кучеренко Е.И., Глушенкова И.С.

О методах, моделях и критериях принятия решений в пространственно-распределенных объектах 102

Любчик Л.М., Дорофеев Ю.И. Математическая модель управляемой сети поставок	108
Нефёдов Л.И., Бабенко Е.П., Филь Н.Ю., Губин Ю.Л. Математическая модель планирования работ при управлении проектами ликвидации последствий чрезвычайных природных ситуаций на магистральных автомобильных дорогах	115
Нефедов Л.И., Шевченко М.В., Василенко О.В. Модель планирования оценки контролируемых показателей в территориально-распределенной системе мониторинга транспорта газа ..	120
Олейник А.А., Субботин С. Редукция баз нечётких правил на основе мультиагентного подхода	126
Петровский А.Б., Ройзензон Г.В., Тихонов И.П., Бальшеев А.В. Многокритериальный подход к оценке результативности научных проектов	138
Попов Н.Р., Попов И.Н. Математические модели импульсных модуляторов, дискретных преобразований Лапласа, Фурье	149
Прохоренко Е.И., Черноморец А.А., Эсауленко А.В. Разработка алгоритма сжатия речевых данных с использованием субполосного преобразования	160
Романюк В.В. MATLAB-сесія у практичній реалізації розв'язку дискретної безшумної дуелі з нелінійними функціями влучності	167
Рысованый А.Н., Гоготов В.В. Сравнение двух генераторов псевдослучайных последовательностей по модулю 3 по максимальной длине формируемой последовательности	172
Сухоруков В.И., Сербиненко И.А., Бовт Ю.В., Корсунов А.Н., Забродина Л.П. Компьютерный анализ межполушарных взаимоотношений мозга человека при изменении гелиогеофизических влияний	179
Теленик С.Ф., Грїшин І.Ю. Метод оптимального послїдовного планування вимїрів багатофункціональної радіолокаційної системи в режимі супроводження космічних об'єктів	184
Шаронова Н.В., Тарловский В.А., Хайрова Н.Ф. Метод персонификации интеллектуального корпоративного ресурса компании	191

НАУКОВЕ ВИДАННЯ
ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

*Збірник наукових праць
Тематичний випуск
Інформатика і моделювання
Випуск 43*

Науковий редактор д.т.н. Дмитрієнко В.Д.
Технічний редактор к.т.н. Леонов С.Ю.
Відповідальний за випуск Луньова В.М.

Обл.вид. № 173-09

Підп. до друку 28.12.2009 р. Формат 60x84 1/16. Папір Copy Paper.
Друк-ризографія. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 9,8.
Облік. вид. арк. 10,0. Наклад 300 прим.
Ціна договірна

НТУ "ХПІ", 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Видавничий центр НТУ "ХПІ"
Свідоцтво ДК № 116 від 10.07.2000 р.

Типографія "Современная печать"
61024 Україна, г. Харків, ул. Лермонтовская, 27

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»



1885

XIII

