

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

Сбірник наукових праць

Серія

"Інформатика та моделювання", № 18

38'2012

Видання засновано Національним технічним університетом "Харківський політехнічний інститут" у 2001 році

КООРДИНАЦІЙНА РАДА:

Председатель

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

Секретарь координационного совета

К.О. Горбунов, канд. техн. наук, доц.

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.

Є.І. Сокол, чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф.;

Є.Є. Олександров, д-р техн. наук, проф.

А.В. Бойко, д-р техн. наук, проф.

М.Д. Годлевский, д-р техн. наук, проф.

А.І. Грабченко, д-р техн. наук, проф.

В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.

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

І.Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.

В.В. Єпіфанов, канд. техн. наук, проф.

Ю.І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.

П.О. Качанов, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.

С.І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.

В.М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.

В.І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.

Г.В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.

В.С. Лупіков, д-р техн. наук, проф.

О.К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.

В.І. Ніколаєнко, канд. іст. наук, проф.

В.О. Пуляєв, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.

Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.

Ю.В. Тимофеев, д-р техн. наук, проф.

М.А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Відповідальний редактор:

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

Відповідальний секретар:

С.Ю. Леонов, канд. техн. наук, доц.

А.Г. Гурін, д-р техн. наук, проф.

Л.В. Дербунович, д-р техн. наук, проф.

Є.Г. Жиликов, д-р техн. наук, проф.

П.О. Качанов, д-р техн. наук, проф.

М.І. Корсунов, д-р техн. наук, проф.

Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.

І.І. Обод, д-р техн. наук, проф.

О.І. Овчаренко, д-р техн. наук, проф.

О.А. Серков, д-р техн. наук, проф.

Адреса редколлегии: 61002, Харків,
вул. Фрунзе, 21, НТУ "ХПІ",
кафедра ОТП, тел. (057)-707-61-65

Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. — Харків: НТУ "ХПІ", 2012. — № 38. — 204 с.

**Державне видання
Свідectво Держкомітету з інформаційної політики України
КВ № 5256 від 2 липня 2001 року**

Збірник виходить українською та російською мовами.

Вісник Національного технічного університету "ХПІ" внесено до "Переліку 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 26 травня 2010 р. № 1 – 05/4. (Бюлетень ВАК України № 6, 2010 р., стор. 3, № 20).

**Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ "ХПІ"
Протокол № 7 від 6 липня 2012 р.**

ISSN 2079-0031

© Національний технічний університет "ХПІ", 2012

К.Е. БАЙДА, магистр, НТУ "ХПИ", Харьков,
Д.Б. ЕЛЬЧАНИНОВ, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харьков

АДАПТАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ К АВТОМАТИЗАЦИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС- ПРОЦЕССОВ

В терминах методологии IDEF0 описаны основные понятия генетических алгоритмов (ген, генотип, популяция, целевая функция, операторы отбора, скрещивания, мутации и редукции, критерии остановки). Приведен пример автоматического решения задачи моделирования бизнес-процесса с заданными характеристиками. Описан проект соответствующей программной системы. Ил.: 4. Табл.: 1. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: IDEF0, генетические алгоритмы, автоматизация моделирования, бизнес-процессы.

Постановка проблемы. Сегодня актуальным и перспективным с научной и практической точек зрения является решение проблемы автоматического синтеза системы с требуемым поведением из заданных компонентов. Объектно-ориентированное программирование: заданы входные данные, которые программа должна преобразовать в выходные результаты по определенным правилам; требуется автоматически синтезировать программу из определенных библиотечных программных компонентов. Синтез электронных систем: заданы входные сигналы, которые система должна преобразовать в выходные по определенным правилам; надо автоматически синтезировать электронную систему с требуемым поведением из определенного набора электронных компонентов. Проектирование бизнес-процессов: заданы входные ресурсы, которые бизнес-процесс должен преобразовать в выходные результаты по определенным правилам; надо автоматически спроектировать соответствующий бизнес-процесс из определенного набора элементарных бизнес-процессов. Существующие программные системы не способны в автоматическом режиме решать эти проблемы.

Анализ литературы. Продукты IBM Rational автоматизируют процесс разработки программного обеспечения, но диаграммы UML архитекторы создают вручную [1]. Среда Active-HDL компании Aldec автоматизирует процесс проектирования логических интегральных схем, но структурные схемы проектировщики создают вручную [2]. Инструмент AllFusion Process Modeler автоматизирует функциональное моделирование бизнес-процессов, но графические изображения

аналитики создают вручную [3]. Для решения задачи автоматического конфигурирования электронного устройства, состоящего из триггеров, использовались генетические алгоритмы (ГА) и сети Петри [4]. Для решения задачи автоматического моделирования бизнес-процесса с многослойной структурой использовалась теория паттернов [5]. Проблемы конструирования человек решает путем выбора определенных элементов из некоторого пространства и их комбинирования по определенным правилам. Чтобы освободить человека от этих рутинных операций, в системах проектирования используются экспертные подсистемы, по определенным алгоритмам формирующие допустимые решения и предлагающие их человеку для выбора наилучших решений и дальнейшего усовершенствования [6]. Сегодня де-факто стандартом моделирования бизнеса является методология IDEF0, объединяющая в себе возможности декомпозиции процесса на подпроцессы до любого уровня детализации с отображением на каждом уровне входов и выходов подпроцессов, исполнителей и правил их выполнения [7]. Основная цель моделирования бизнес-процесса – постоянное усовершенствование: выполнить его сегодня лучше, чем вчера, а завтра – лучше, чем сегодня. Аналогично работают ГА, ориентирующиеся на усовершенствование существующего решения, а не на поиск лучшего, которого вообще может не существовать [8]. ГА являются стратегией, которую нужно адаптировать к определенной предметной области [9].

Цель статьи. Адаптация генетических алгоритмов к решению задачи автоматизации моделирования бизнес-процессов.

Описание основных понятий генетических алгоритмов в терминах методологии IDEF0. Согласно методологии IDEF0, контекстная диаграмма некоторого бизнес-процесса P и его декомпозиция на процессы P_1 и P_2 может иметь следующий вид (рис. 1).

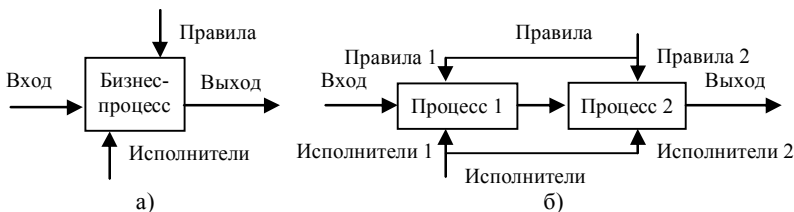


Рис. 1. Диаграммы бизнес-процесса: а) контекстная; б) декомпозиция

Может существовать несколько версий реализации процессов. Так, процессы P_1 и P_2 могут состоять из процессов, показанных на рис. 2.

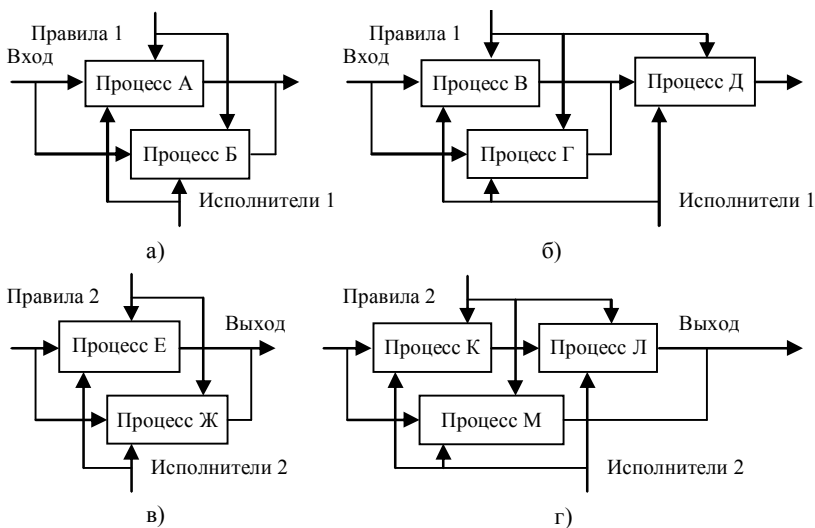


Рис. 2. Варианты реализации процессов: а) $P_{1,1}$; б) $P_{1,2}$; в) $P_{2,1}$; г) $P_{2,2}$

В терминах ГА варианты $P_{1,1}$, $P_{1,2}$, $P_{2,1}$ и $P_{2,2}$ реализации процессов P_1 и P_2 являются генами. Может быть несколько версий реализации бизнес-процесса: на рис. 3 процесс P_1 имеет реализацию $P_{1,1}$, а $P_2 - P_{2,1}$.

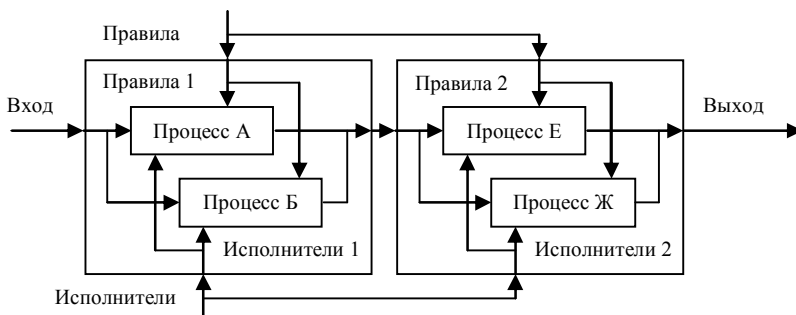


Рис. 3. Вариант реализации бизнес-процесса

В терминах ГА вариант реализации бизнес-процесса является генотипом – вектором $(P_{1,1}; P_{2,1})$. Рассмотрим другой вариант реализации бизнес-процесса: P_1 имеет реализацию $P_{1,2}$, а $P_2 - P_{2,2}$. Эти варианты составляют популяцию $T = \{G_1 = (P_{1,1}; P_{2,1}); G_2 = (P_{1,2}; P_{2,2})\}$.

Для сравнения вариантов реализации используется целевая функция, основанная на двух критериях: количество процессов, составляющих бизнес-процесс, и количество связей между ними. Если одна реализация имеет меньшее количество процессов, а другая – меньшее количество связей, нужно учитывать, какой из этих двух критериев или тип связи важнее для данного бизнес-процесса.

Оператор отбора сравнивает варианты с помощью целевой функции. Если на вход оператора отбора подать два генотипа, то в результате он упорядочит их соответственно значению целевой функции. Например, если на вход оператора V отбора подать G_1 и G_2 , то он упорядочит их так:

$$V(G_1; G_2) = G_1 > G_2,$$

где знак ">" обозначает лучший генотип.

Оператор скрещивания выполняет обмен генами между генотипами. Например, если на вход оператора S скрещивания подать G_1 и G_2 , то он изменит их на G_3 и G_4 следующим образом:

$$S(G_1; G_2) = (G_3 = (P_{1,1}; P_{2,2}); G_4 = (P_{1,2}; P_{2,1})).$$

Оператор мутации производит замену гена в генотипе. Если на вход оператора M мутации подать G_1 , то он заменит его на G_4 : $M(G_1) = G_4$.

Оператор редукции удаляет слабые генотипы из популяции, которая выросла в результате пополнения потомками. Например, если на вход оператора R редукции подать популяцию T , которая была пополнена генотипами G_3 и G_4 , то он уменьшит ее:

$$R(T \cup \{G_3; G_4\}) = R(\{G_1; G_2; G_3; G_4\}) = \{G_1; G_3\}.$$

После выполнения оператора редукции ГА можно запускать с начала. Критерием останова работы ГА может быть: появление генотипа, который соответствует варианту реализации с определенным количеством процессов и связей между ними; появление генотипа, который отличается от желаемого определенным количеством лишних процессов и связей между ними; заранее заданное количество циклов, при достижении которого он прекращает свою работу.

Пример решения задачи моделирования бизнес-процесса. Пусть необходимо построить модель бизнес-процесса, диаграммы которого представлены на рис. 1, из элементов, которые показаны на рис. 2. При условии, чтобы в результате бизнес-процесс состоял из процессов, количество которых не превосходит 4. Случайным образом сгенерируем генотипы G_3 и G_4 . Применим к этим генотипам оператор скрещивания, обратный к оператору S . Получаем "потомков" G_1 и G_2 . Применим к

расширенной популяции оператор редукции R . В результате получим популяцию $\{G_1; G_3\}$. G_1 соответствует критерию останковки алгоритма.

Проект системы автоматического моделирования бизнес-процессов. Актер – бизнес-аналитик. Прецеденты описаны в таблице. Диаграмма прецедентов системы показана на рис. 4.

Таблица

Название и описание прецедентов	
Название	Описание
Авторизация	Реализует авторизацию пользователя (актера).
Моделирование бизнес-процесса	Реализует процесс автоматической конструкции модели конкретного бизнес-процесса.
Работа с хранилищем	Позволяет пользователю просматривать, редактировать, удалять варианты реализации бизнес-процессов, находящихся в специальном хранилище на сервере, а также загружать новые варианты.
Выбор из хранилища	Производит поиск в хранилище подходящих вариантов реализации бизнес-процессов и формирует исходную популяцию вариантов реализации.
Отбор	Сортирует популяцию вариантов реализации бизнес-процессов от лучшего к худшему.
Скрещивание	Производит обмен составными частями вариантов реализации бизнес-процессов.
Мутация	Производит "мутацию" варианта реализации за счет замены случайно выбранного его элемента.
Редукция	Производит удаление худших вариантов реализации бизнес-процесса.

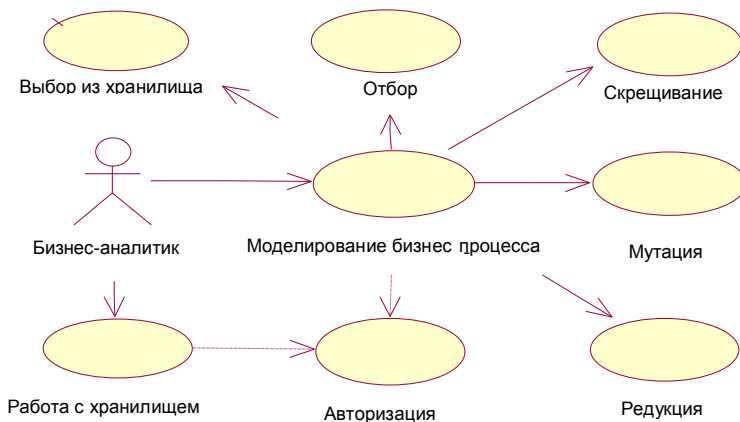


Рис. 4. Диаграмма прецедентов

Выводы. Генетические алгоритмы адаптированы к решению задачи автоматизации моделирования бизнес-процессов. Приведен пример автоматического решения задачи моделирования бизнес-процесса с заданными характеристиками. Представлен проект соответствующей программной системы. Перспективным является исследование особенностей программной реализации предложенного подхода.

Список литературы: 1. Кватрани Т. Визуальное моделирование с помощью IBM Rational Software Architect и UML / Т. Кватрани, Д. Палистрант. – КУДИЦ-Пресс, 2007. – 192 с. 2. Active-HDL / Aldec Inc. — Режим доступа: <http://www.aldec.com/Products/default.aspx>. 3. Дубейковский В.И. Эффективное моделирование с AllFusion Process Modeler / В.И. Дубейковский. – Диалог-МИФИ, 2007. – 384 с. 4. Петросов Д.А. Математическая модель формирования конфигурации вычислительной техники на основе триггеров / Д.А. Петросов // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2009. – № 3. – С. 139 – 143. 5. Синтез и анализ систем в свете подхода "Узел-Функция-Объект" / С.И. Маторин, Д.Б. Ельчанинов, С.В. Зиньков, В.С. Маторин // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. – 2006. – № 8. – С. 10 – 16. 6. Джексон П. Введение в экспертные системы / П. Джексон. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 624 с. 7. Черемных С.В. Структурный анализ систем: IDEF-технологии / С.В. Черемных, И.О. Семенов, В.С. Ручкин. – Финансы и статистика, 2001. – 208 с. 8. Люгер Д.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Д.Ф. Люгер. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 864 с. 9. Гладков Л.А. Генетические алгоритмы / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик. – Физматлит, 2010. – 368 с.

Статью представил д.т.н., проф. НТУ "ХПИ" Луников В.С.

УДК 004.9

Адаптація генетичних алгоритмів до автоматизації моделювання бізнес-процесів / Байда К.Є., Єльчанинов Д.Б. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – № 38. – С. 3 – 8.

У термінах методології IDEF0 описано основні поняття генетичних алгоритмів (ген, генотип, популяція, цільова функція, оператори відбору, схрещування, мутації та редукції, критерії зупинення). Наведено приклад автоматичного вирішення задачі моделювання бізнес-процесу з характеристиками, що задані. Описано проект відповідної програмної системи. Іл.: 4. Табл.: 1. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: IDEF0, генетичні алгоритми, автоматизація моделювання, бізнес-процеси.

UDC 004.9

Genetic algorithms adaptation to business-processes modeling automation / Baida K.E., Elchaninov D.B. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – № 38. – P. 3 – 8.

Basic genetic algorithms concepts (gene, genotype, population, objective function, selection operator, crossing operator, mutation operator, reduction operator, stopping criteria) are described in terms of IDEF methodology. Example of automation solving problem of business-process modeling with specified characteristics is given. The project of appropriate software system is described. Figs: 4. Tabs: 1. Refs: 9 titles.

Keywords: IDEF0, genetic algorithms, modeling automation, business-processes.

Поступила в редакцію 09.06.2012

Г.І. БАРИЛО, канд. техн. наук, ст. викл. НУ"ЛП", Львів,
А.М. ЗАЗУЛЯК, асп., НУ"ЛП", Львів,
О.Т. КОЖУХАР, д-р техн. наук, проф., НУ"ЛП", Львів,
Н.І. КУС, асп., НУ"ЛП", Львів

ІНФОРМАЦІЙНА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ЩОДО ЕФЕКТИВНОСТІ ЛІКУВАЛЬНОЇ ПРОЦЕДУРИ

Показано необхідність додаткового інформаційного забезпечення проведення лікувальних терапевтичних сеансів. Запропоновано шляхи вдосконалення оптико-електронної системи підтримки прийняття рішень. Реалізовано програмно-апаратний комплекс при оцінюванні ефективності лікувального сеансу. Іл.: 2. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: оптико-електронна система, оцінювання ефективності, програмно-апаратний комплекс.

Постановка проблеми та аналіз літератури. Під час проведення терапевтичних сеансів або лікування фармацевтичними препаратами лікареві необхідно неперервно одержувати оперативну інформацію про відгук організму пацієнта на вплив лікувальних засобів та препаратів. Ця інформація необхідна для прийняття рішення щодо ефективності лікувального сеансу, з можливими висновками про його дострокове завершення, недостатність тривалості або недоцільність подальшого проведення. Такий підхід реалізовано на неінвазивній методиці в розробленому пристрої на основі оптико-електронної системи з активним зворотнім зв'язком із пацієнтом [1 – 8]. Прийняття рішення лікар може здійснювати впродовж лікувального сеансу, на основі інформації про кількісні зміни, принаймні, чотирьох оптичних показників периферійного органу (ПО), яка відображається на дисплеї апарату. До таких показників, передусім, належать потік власного оптичного випромінювання ПО та скеровані на нього тестові світлові потоки, після їх взаємодії з кровонаповненою частиною ПО. Така задача реалізована за допомогою матриці оптоелектронних елементів сенсорно-актюаторного блоку, з можливістю визначення часових змін оптичних показників ПО. Інформація про показники надається лікареві візуально впродовж лікувального сеансу, а в момент, коли похідна змін показників наближається до нуля, системою створюється акустичний сигнал. Важливим у даному випадку є те, що запропонована інформаційна оптико-електронна система сигналізує про біологічний резонанс в організмі пацієнта.

Проте, спосіб і формат представлення інформації, не дозволяють лікареві здійснювати її оперативний аналіз. Затрудненим є також контроль динаміки зміни зазначених параметрів, що в кінцевому значенні не сприяє об'єктивності прийняття лікарського рішення.

Мета статті полягає у створенні оптико-електронної системи підтримки прийняття рішень при проведенні лікувальних терапевтичних сеансів.

Основна частина. Запропонована система побудована на основі аналізу оптичних параметрів ПО, який здійснюється персональними комп'ютером (ПК) за допомогою прикладного програмного забезпечення.

Оцінювання ефективності процесу лікування та створення помічників для лікаря повідомлень щодо прийняття ним необхідних рішень в системі застосовано алгоритм, представлений на рис.1.

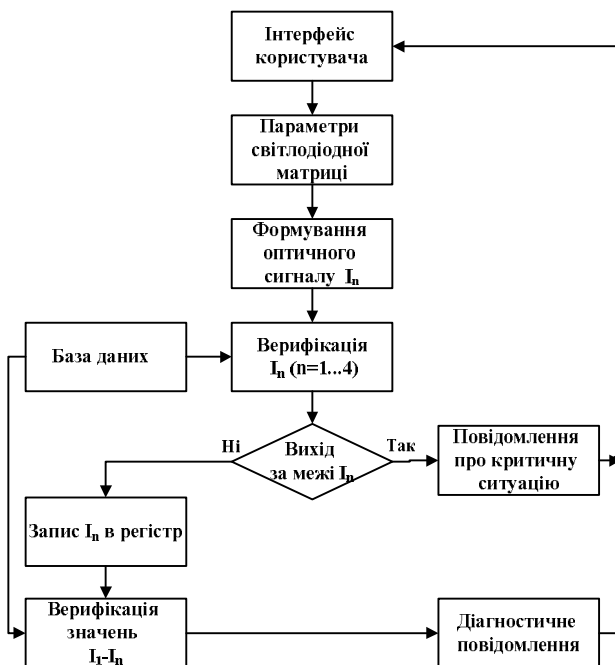


Рис.1. Алгоритм контролю за перебігом процесу лікувального сеансу на основі аналізу тестових оптичних сигналів

Управління процесом здійснюється за допомогою ПК через інформативний інтерфейс користувача. Перед початком роботи, в автоматичному або ручному режимі, задаються параметри світлодіодної матриці: тривалість, світлових сигналів амплітуда а також границі ділянки спектру тестових сигналів. Після запуску процесу здійснюється неперервний контроль значень кожного із вхідних параметрів $I_1 - I_4$. При цьому відбувається перевірка значення кожного параметра із допустимим діапазоном значень, які задані в базі даних. У випадку, коли контрольований параметр I_n перевищує допустимі граничні значення, формується повідомлення про критичну ситуацію, і лікувальний сеанс автоматично припиняється. Перевірка значень усіх параметрів I_n здійснюється неперервно на протязі всього сеансу. Після закінчення сеансу, на основі отриманих результатів, формується діагностичне повідомлення, відповідно до комбінації оптичних параметрів I_n , які задані в базі даних системи.

Прикладне програмне забезпечення дозволяє проводити також самодіагностику оптичних сигналів, при визначених параметрах світлодіодної матриці. Крім діагностичних повідомлень, результати контролю за перебігом лікувального сеансу можуть відображатися на екрані монітора ПК у зручній для користувача формі, як в цифровій так і в графічній. Це має практичне значення при проведенні додаткового аналізу для прийняття остаточного рішення. Отримані масиви значень можуть бути використані для формування та розширення баз даних.

Функціональна схема апаратної частини представлена на рис. 2.

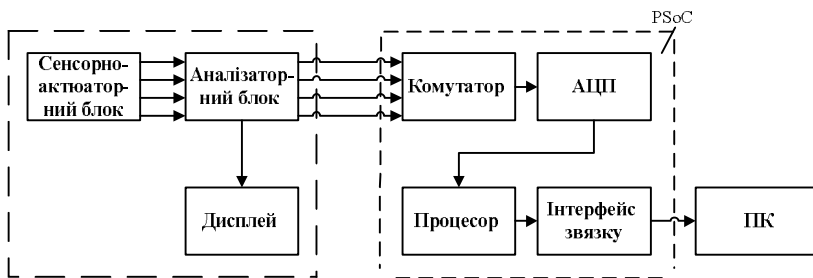


Рис. 2. Функціональна схема оптико-електронної системи

Оптичне випромінювання від скерованої на ПО світлодіодної матриці після взаємодії із м'якими тканинами ПО потрапляє на вхідне вікно фотоперетворювача, розташованого на спільній осі відбитого та пройденого через ПО променів. Одночасно, власне випромінювання ПО

скеровується рефлекторним елементом на термоперетворювач, розташований у фокусі рефлекторного елемента. Вхідні інформаційні сигнали формуються сенсорно-актюаторним блоком та підсилюються ним до необхідного рівня. Аналізаторний блок здійснює попереднє оброблення отриманих значень та відображає їх на LCD дисплеї. Сформовані сигнали надходять на відповідні входи мікроконтролера та через вбудований швидкісний порт USB передаються на ПК для подальшого програмного оброблення.

Вхідна інформація обробляється ПК, а після подальшого аналізу і порівняння із тестовими сигналами, представляється візуально. Отримані результати значно розширюють можливості лікаря в оцінюванні ефективності лікувальної процедури.

Висновки. Доведено, що для підвищення об'єктивності прийняття рішення при оцінюванні лікувального сеансу лікареві необхідне додаткове інформаційне забезпечення. На основі розробленої оптико-електронної системи та алгоритму контролю за перебігом процесу лікувального сеансу, реалізовано програмно-апаратний комплекс.

Список літератури: 1. *Готра З.Ю.* Патент 60600 України: МПК G01N 21/84 / *З.Ю. Готра, О.Т. Кожухар, А.М. Зазуляк, Є.В. Кучак*; заявл. 22.11.2010; опубл. 25.06.2011, Бюл. № 12. – 3 с. 2. *Абакумов В.Г.* Реєстрація, обробка та контроль біомедичних сигналів: навч. посібник / *В.Г. Абакумов, З.Ю. Готра, С.М. Злепка та ін.* – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 352 с. 3. *Павлов С.В.* Оптикоелектронні медичні системи: навч. посібник / *С.В. Павлов, Г.С. Тимчик, В.П. Кожем'яко.* – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 156 с. 4. *Зазуляк М.* Можливості електронної системи із зворотнім зв'язком для лікування вушних шумів / *Матеріали III конф. з міжнарод. участю "Актуальні проблеми біомедичної інженерії, інформатики, кібернетики і телемедицини"* // *М. Зазуляк, О.Т. Кожухар, Є.П. Косий.* – Київ, 11-13 березня 2010. – С. 53-56. 5. *Kozhukhar Oleksandr.* Descriptions of optoelectronic elements are for control of changes of optical properties of blood after the photopherez / *Oleksandr Kozhukhar, Maria Skira, Yuriy Kuzio* // *X МНТК "ТСЕТ 2010"* "Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії". – Славськ. – 2010. – С. 122. 6. *Готра З.Ю.* Активний оптикоелектронний контроль фотомедичних технологій / *З.Ю. Готра, О.Т. Кожухар, О.О. Кицера, А.М. Зозуляк, М.С. Скіра* // *Збірник праць. Перший Всеукраїнський з'їзд "Медична та біологічна інформатика і кібернетика"* з міжнародною участю. – Київ. – 2010. – С. 272. 7. *Кожухар О.Т.* Дослідження впливу фотостимулів з частотами біоритмів людини на організм / *О.Т. Кожухар, А.М. Зазуляк, Є.В. Кучак* // "Електроніка", Вісник НУ"ЛП". – Львів: НУ "ЛП". – 2010. – № 680. – С. 225-230. 8. *Didich Ihor.* Principles of the light sources and control schemes choice for designing photo medical devices / *Ihor Didich, Myron Kostiv, Andrey Zazulyak, Oleksandr Kozhukhar* // *Materialy konferencyjne XIV Miedzynarod. Szkoly Komputer. wspomag. projektowanja. wytwarz. i eksploatacji.* Jurata, Warszawa, Poland. – WAT. – 2010. – P. 243-250.

УДК 621.384: 621.385: 621.365: 616.31: 537.8

Информационная оптико-электронная система поддержки принятия решения по эффективности лечебной процедуры // *Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование.* – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2012. – № 38. – С. 9 – 13.

Показана необходимость дополнительного информационного обеспечения проведения лечебных терапевтических сеансов. Предложены пути усовершенствования

ISSN 2079-0031

Вестник НТУ "ХПИ", 2012, № 38

оптико-электронной системы поддержки принятия решений. Реализован программно-аппаратный комплекс при оценке эффективности лечебного сеанса. Ил.: 2. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: оптико-электронная система, оценки эффективности, программно-аппаратный комплекс.

UDK 621.384: 621.385: 621.365: 616.31: 537.8

Information optoelectronic systems decision support on the efficiency treatments
// Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – № 38. – P. 9 – 13.

The necessity of additional information providing conducting of medical therapy sessions . Ways of improving the optoelectronic systems decision support. Implemented hardware and software system for evaluating the effectiveness of treatment session. Given.: MM. Refs.: 8 titles.

Keywords: optoelectronic system, evaluation of effectiveness, hardware and software system.

Поступила в редакцию 30.07.2012

Н.Н. БОНДИНА, канд. техн. наук, проф., НТУ "ХПИ", Харьков,
А.С. КАЛМЫЧКОВ, студент, НТУ "ХПИ", Харьков,
В.Э. КРИВЕНЦОВ, студент, НТУ "ХПИ", Харьков

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ФИЛЬТРАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Рассмотрены алгоритмы линейной, нелинейной и адаптивной фильтрации медицинских изображений. Определены особенности поведения алгоритмов в зависимости от характера шума, параметров фильтра, размеров апертуры. Проанализированы сложность и быстродействие алгоритмов фильтрации. На основе полученных данных приведены рекомендации по использованию фильтров. Библиогр.: 12 назв.

Ключевые слова: фильтрация медицинских изображений, алгоритмы фильтрации, адаптивная фильтрация.

Постановка проблемы и анализ литературы. Медицинские исследования с помощью современных методов визуализации позволяют заглянуть внутрь объектов живого организма и диагностировать его состояние. Эта задача решается с помощью цепочки этапов обработки изображения с целью анализа и распознавания объектов. Формирование изображений в различных устройствах и их дальнейшая передача по разным каналам вносят искажения в изображения, поэтому первым этапом в обработке изображений является фильтрация изображений или устранение в них низкочастотного шума. Этот этап позволяет отличить интересующие нас объекты от всех других и от фона. Важность этого этапа объясняет объём научно-технической литературы, посвящённой методам фильтрации изображений [1 – 6]. Анализ публикаций показывает, что наиболее адекватными с точки зрения использования в практических задачах являются модели аддитивного Гауссова и импульсного шума. Аддитивный Гауссов шум характеризуется добавлением к каждому пикселю изображения значений из соответствующего нормального распределения с нулевым средним значением. Такой шум появляется в устройствах формирования цифровых изображений. Импульсный шум характеризуется заменой части пикселей значениями фиксированной или случайной величины. Такой шум связан с потерями при передаче изображений по каналам связи. В реальном изображении можно встретить как аддитивный так и импульсный шум, такой шум называют комбинированным.

Все виды фильтров можно разделить на такие классы: частотные, линейные, нелинейные, комбинированные, гибридные и адаптивные.

В классе частотных фильтров обработке подлежат коэффициенты разложения зашумленного сигнала по Фурье базису или другим базисам, в частности, вейвлет-базису. Такие алгоритмы достаточно эффективны с

точки зрения удаления шума, не требуют априорной информации, которая часто отсутствует на практике. При этом необходимо выбрать параметры алгоритмов, исходя из условия минимума среднеквадратичной ошибки фильтрации [7]. Выбор этих параметров основан на знании дисперсии шума изображения. Преобразование Фурье имеет особую важность для линейных фильтров, поскольку умножение в Фурье-области для частотных методов – это операция свёртки для исходного изображения. Линейные фильтры используют именно операцию свёртки.

В цифровой обработке сигналов широко используются методы линейной фильтрации изображений, что объясняется простотой реализации и интерпретации этих методов [1 – 6]. Однако успешность их применения сильно зависит от вида шума и даёт хорошие результаты лишь в случае гауссова аддитивного шума [1 – 4]. В случае импульсного шума эффективнее работают методы нелинейной фильтрации, в частности медианные и ранговые [3 – 5]. В случае комбинированного шума можно последовательно применять линейные и нелинейные фильтры или компоновать эти фильтры так, чтобы усилить их сильные стороны и ослабить недостатки, это происходит при использовании гибридных фильтров [1, 11]. Противоречие по зависимости степени подавления шумов и искажения сигнала от аперттуры фильтра в некоторой степени сглаживается при применении фильтров с динамическим размером маски, с адаптацией размеров аперттуры под характер изображения. В адаптивных фильтрах большие аперттуры используются в монотонных областях обрабатываемого сигнала (лучшее подавление шумов), а малые – вблизи неоднородностей, сохраняя их особенности [1, 10, 12].

Медицинские изображения, получаемые в различных устройствах, могут иметь особенности, связанные с физическими принципами, лежащими в основе визуализации. Наиболее широко распространены ультразвуковые методы визуализации внутренних органов человека. Это связано с безопасностью, с одной стороны, и высокой информативностью и достоверностью ультразвуковых исследований, с другой стороны. Компьютерная томография и магнитно-резонансная томография также позволяют визуализировать то, что недоступно непосредственному наблюдению. Проекционные данные, регистрируемые в реальных компьютерных томографических системах, носят случайный характер, обусловленный такими факторами. Во-первых, используемое рентгеновское излучение имеет ярко выраженную квантовую структуру. Число квантов, испускаемых рентгеновскими источниками за фиксированный интервал времени, является случайной величиной,

поэтому элемент случайности заложен в самой природе источника излучения. Во-вторых, проходя через исследуемый объект, кванты поглощаются веществом случайным образом. В целях снижения дозы облучения, целесообразно снижать мощность излучения, что неизбежно приводит к увеличению относительного уровня шума.

Для решения проблемы восстановления изображения по проекционным данным используют алгоритмы с малой величиной систематической ошибки, а затем выполняют фильтрацию восстановленного изображения. Использование комбинированного алгоритма, представляющего собой последовательность процедур медианной фильтрации и линейной фильтрации, в данном случае не позволяет в полной мере сохранять резкие перепады уровня изображения из-за совпадения спектров случайной ошибки восстановления и "контрастных элементов" восстанавливаемого изображения. Это приводит к искажению формы фронтов и контрастных объектов. Поэтому для фильтрации контрастных изображений используют модификацию медианного фильтра. Применение такого фильтра позволяет получить лучшую гладкость отфильтрованных данных, при этом сохраняя контрастные детали изображения. При визуализации внутренних органов ультразвуковыми методами часто возникает необходимость различать ткани с близкими эхогенными значениями, то есть слабо различимыми на изображении. Исходя из особенностей медицинских изображений, для получения хорошего результата в ходе обработки часто используют комбинацию различных алгоритмов. В любом случае необходимым и важным этапом обработки медицинских изображений является фильтрация. Знание преимуществ и недостатков различных методов фильтрации даст возможность подобрать необходимое сочетание алгоритмов для улучшения эффективности обработки изображений.

Цель статьи – сопоставление возможностей известных алгоритмов фильтрации изображений по удалению Гауссова, импульсного и комбинированного шумов, сравнение их по сложности и быстродействию для использования в обработке медицинских изображений.

Обзор и сопоставление алгоритмов фильтрации. Линейные фильтры также называют сглаживающими или усредняющими, потому что ответ линейного фильтра просто усредняет значение пикселей, содержащихся в апертуре, и таким образом сглаживает изображение. Напомним некоторые термины, применяемые при линейной фильтрации. В ходе обработки используется небольшой прямоугольный или квадратный участок изображения и на нём определяется функция. Такой

участок называется апертурой или окном, а заданная на ней функция – весовой функцией или функцией окна. Апертура вместе с заданной на ней функцией называется маской. Примеры фильтров:

$$H_1 = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}; H_2 = \frac{1}{10} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}; H_3 = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}.$$

Если все коэффициенты фильтра равны, как в H_1 , то фильтр называется фильтром-ящиком [1, 3]. Те пиксели, которые при обработке более важны, можно выделить, придавая им больший вес коэффициентами, как в H_2, H_3 . При работе с фильтрами-ящиками следует иметь в виду, что их структура позволяет ускорить процесс вычислений при обработке изображения. Дело в том, что при сдвиге апертуры на один пиксель сумма, которую нужно вычислить, частично уже вычислена для предыдущей свёртки, нужно только вычесть сумму для самого левого столбца маски предыдущей свёртки и добавить сумму для самого правого столбца маски на новом шаге [3]. Перепады яркости, связанные с наличием шума, размываются и это – положительный эффект, вместе с ними размываются и перепады яркости, связанные с деталями самого изображения, что нежелательно. Требуется ослабить перепады яркости в первом случае и, по возможности, сохранить их во втором случае.

Для этого нужно подобрать размеры апертуры и специальные веса, которые позволяют воздействовать именно на шум. Пусть, например, используется маска $N \times N$, в пределах её полезное изображение имеет постоянную яркость f , шум с независимыми значениями отсчетов $n_{k,m}$, средним значением $\mu = 0$ и дисперсией σ^2 в пределах маски. Отношение квадрата яркости (i, j) -го пикселя к дисперсии шума, т.е. отношение сигнал/шум, равно f^2/σ^2 [4]. В результате фильтрации отношение сигнал/шум становится равным $N^2 f^2/\sigma^2$, т.е. возрастает пропорционально площади маски. Применение маски 3×3 , в среднем, повышает отношение сигнала к шуму в 9 раз. Следует заметить, что увеличение размеров апертуры также приведёт к увеличению вычислительных затрат при обработке изображения. Подбор коэффициентов маски также улучшает подавление шумов. Как показано в [3], лучшие сглаживающие фильтры удовлетворяют условию, что маски фильтра должны постепенно приближаться к нулю, такой вывод получен на основе анализа поведения преобразования Фурье. В качестве примера можно привести двумерный биномиальный фильтр, составленный из вертикального и горизонтального биномиальных фильтров:

$$H_3 = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \times \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}.$$

Для получения коэффициентов биномиальных фильтров с большими размерами апертур можно использовать вычислительную схему треугольника Паскаля. К тому же, для сокращения операций сложения и умножения можно, как это показано для фильтра H_3 , использовать попеременно вертикальную и горизонтальную маски к изображению, что для масок больших размеров значительно сократит вычислительные затраты [3].

Фильтр Гаусса также уменьшает влияние пикселей друг на друга с расстоянием. Ядро гауссовского фильтра есть

$$F_{gauss}(i, j) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{i^2 + j^2}{2\sigma^2}\right).$$

При некоторых видах шума гауссовская фильтрация позволяет размывать шум, подвергая содержательные контуры изображения размытию в меньшей степени. Например, если на изображении нужно размыть мелкие детали, не требующие отделения от фона, а крупные объекты, представляющие интерес, можно выделить в дальнейшем с помощью бинаризации. Гауссовская фильтрация используется совместно с лапласианом при подчёркивании границ. Известно, что лапласиан увеличивает шумы в изображении, совместное же использование лапласиана с гауссовской фильтрацией делает этот эффект менее значительным.

С физической точки зрения, H_1 , H_2 , H_3 являются фильтрами нижних частот, подавляющими гармоники и шума, и полезного изображения, что приводит не только к ослаблению шума, но и к размыванию контуров на изображении. Это следует иметь в виду при подавлении Гауссова шума с помощью увеличения апертуры линейного фильтра или применения специальных коэффициентов маски: и то и другое увеличивает соотношение сигнал/шум в результате обработки изображения, но и размывает контуры изображения, чем ухудшает его.

Для удаления Гауссова шума наилучшим является фильтр Винера [6, 9], поскольку его коэффициенты вычисляются из условия минимизации ошибок фильтрации в результате решения уравнения Винера – Хопфа. Для реализации этого алгоритма необходимо знание корреляционных функций исходного изображения. Вместо этого вычисляют спектральные плотности мощности, представляющие собой дискретное преобразование Фурье корреляционных функций. Хотя для

вычислений преобразования Фурье используются быстрые алгоритмы, фильтр Винера требует дополнительных вычислительных затрат по сравнению с обработкой линейными фильтрами, поэтому на практике часто предпочитают работать с линейными фильтрами, а коэффициенты подбирать в ходе обработки.

Импульсный шум характеризуется заменой части пикселей на изображении значениями фиксированной или случайной величины. На изображении такие помехи выглядят изолированными контрастными точками, например, шум "соль и перец" содержит белые и чёрные точки, беспорядочно разбросанные по изображению. Для удаления импульсного шума используется специальный класс нелинейных фильтров, построенных на основе ранговой статистики. Идея алгоритма обработки заключается в определении позиции импульса и замене его оценочным значением, при сохранении остальных пикселей изображения неизменными. Такие фильтры относятся к нелинейным фильтрам.

В этом случае также используют маски. Но работают они по-другому, значения пикселей, соответствующих маске, записываются в ряд. После сортировки этого ряда ответ фильтра получается как центральный элемент в отсортированной последовательности, то есть медиана ряда. Так работает хорошо известный медианный фильтр. Известно, что применение медианных фильтров даёт хорошие результаты для сохранения перепадов оттенков, различных границ и устранения локальных пиков яркости на изображениях, искажённых импульсным шумом. Свойство медианных фильтров сохранять монотонные последовательности позволяет применять медианную фильтрацию для устранения аномальных значений в массивах данных, уменьшения выбросов и импульсных помех. Таким образом, по сравнению с линейными фильтрами медианные лучше сохраняют контуры изображения. Основные недостатки медианной фильтрации – менее эффективное, чем у линейных фильтров, подавление Гауссова шума и появление на изображении размытых контуров деталей вследствие ослабления исходного сигнала в результате работы медианного фильтра [7]. Медианные фильтры используют также итеративно. Хорошего качества фильтрации можно добиться, если медианный фильтр применять к изображению, пока изображение изменяется под влиянием медианного фильтра [3].

Кроме медианного фильтра можно использовать экстремальные фильтры, в этом случае вместо медианы ряда берут минимальное или максимальное значение ряда [1, 3]. Такие фильтры хорошо справляются с шумом "соль и перец". Для устранения недостатков медианных фильтров алгоритмы их работы совершенствуют, учитывая особенности как

изображения, так и шума [7]. Например, используют взвешенные медианные фильтры. Как и в случае линейных фильтров, некоторым пикселям придают больший вес. Это приводит к тому, что фильтр в ряду значений для последующей сортировки встречается столько раз, каков его вес и таким образом несколько повышается вероятность того, что он не будет отброшен как импульс. Взвешенный медианный фильтр

$$M_{\text{взв}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

даёт лучшие результаты, чем медианный фильтр при небольших плотностях шума [9].

Следующий вариант метода ранговой статистики – это ранжирующий фильтр и его модификация – рекурсивный ранжирующий фильтр. Для ранжирующих фильтров характерно, что ряд, подготовленный для сортировки, не включает центральный отсчет маски фильтра, и после сортировки ряда производится вычисление значения $m(n)$. Вычисление выходного значения фильтра, которым заменяется центральный отсчет, выполняется по формуле:

$$y(n) = \alpha x(n) + (1 - \alpha)m(n),$$

где $m(n) = x_{N/2} + x_{N/2+1}$.

Значение коэффициента доверия α связывается определенной зависимостью со статистикой отсчетов в окне фильтра (например, полной дисперсией отсчетов, дисперсией разностей $x(n) - x_i(n)$ или $m(n) - x_i(n)$, дисперсией положительных и отрицательных разностей $x(n) - x_i(n)$ или $m(n) - x_i(n)$, и т.п.). По существу, значение коэффициента α должно задавать степень поврежденности центрального отсчета и, соответственно, степень заимствования для его исправления значения из отсчетов $m(n)$. Выбор самой функции и характер зависимости от нее коэффициента α может быть достаточно многообразным и зависит как от размеров апертуры фильтра, так и от характера изображений и шумов [9]. Во многих случаях улучшение работы фильтра может быть получено, если реализовать соответствующий фильтр в рекурсивной форме (рекурсивный ранжирующий фильтр (РФ)). Для этого скользящее окно должно содержать как зашумлённые, так и уже отфильтрованные пиксели. В [9] описан классификатор, позволяющий относить просматриваемые пиксели к двум классам: повреждённые и неповреждённые пиксели, то есть управлять ходом фильтрации. Опыт

показывает, что РФ имеет лучшее восстановление, чем обычный медианный фильтр.

К нелинейным фильтрам относится также двумерный фильтр Калмана. Идея работы этого фильтра заключается в использовании двумерного фильтра с таким видом импульсной характеристики, при которой его практическая реализация была бы простой, и с такими параметрами этой импульсной характеристики, при которых эффективность фильтрации приближалась бы к потенциально возможной. Создать фильтр с такими свойствами удастся на основе аналогии с одномерным фильтром Калмана [6]. Рекуррентная формула работы фильтра Калмана имеет такой вид:

$$x^*(i, j) = B \cdot F \cdot (x^*(i-1, j) + x^*(i, j-1) - (B \cdot F)^2 \cdot x^*(i-1, j-1) + A \cdot y(i, j)),$$

где, $x^*(i, j)$ – изменяемые в ходе фильтрации значения; B, F, A – коэффициенты, подлежащие определению; $y(i, j)$ – текущее наблюдение. Подбор коэффициентов фильтра специальным образом позволяет фильтру вести себя "разумно": подавлять шумы и не увеличивать динамические ошибки фильтрации. Работа фильтра Калмана требует выполнения на каждом шаге обработки всего трех операций умножения и трех операций суммирования, причем структура алгоритма универсальна и, в частности, не зависит от отношения сигнал/шум. Для сравнения, масочный фильтр с размером окрестности 3×3 элементов требует выполнения на каждом шаге девяти умножений и восьми суммирований. Таким образом, по количеству операций рекуррентный фильтр выигрывает у простейшего масочного практически в три раза. Очевидно, что попытка улучшить качество фильтрации масочным фильтром за счет увеличения размера применяемой окрестности приводит к увеличению числа операций и дальнейшему увеличению его проигрыша по этой характеристике.

Актуальной остаётся задача разработки алгоритмов фильтрации для комбинированных шумов. Стремление использовать для этой цели положительные стороны обоих методов фильтрации – линейной и медианной приводит к комбинированным и гибридным фильтрам. В случае комбинированных фильтров к обрабатываемому изображению последовательно применяются медианный фильтр и линейный фильтр [10]. Сначала с помощью медианного фильтра устраняется импульсный шум, а затем с помощью линейного сглаживается остаточный низкоамплитудный шум. В гибридных фильтрах сначала определяются выходные значения подфильтров (в качестве подфильтров можно использовать линейные или медианные фильтры), апертуры которых

некоторым образом расположены в пределах основной апертуры фильтра, а затем к набору, содержащему выходы подфильтров, применяют медианный или линейный фильтр. В первом случае в качестве выхода гибридного фильтра выбирается медиана, полученная после сортировки выходных значений линейных подфильтров, во втором – взвешиваются с определёнными весами медианы подфильтров. Гибридные методы фильтрации, совмещающие достоинства методов ранговой обработки и линейной фильтрации, позволяют снизить уровень как Гауссова шума, так и импульсных помех [11]. Гибридный фильтр превосходит медианный, поскольку позволяет уменьшить искажения контуров малоразмерных объектов. По быстродействию гибридные фильтры несколько уступают линейным и медианным, но незначительно.

Линейные и медианные фильтры не учитывают изменений статистических характеристик в самом изображении. Алгоритмы, позволяющие учитывать такие изменения, называются адаптивными. Известно несколько вариантов алгоритмов адаптивной линейной и медианной фильтрации. Простейший из таких вариантов, учитывающий изменение характеристик изображения с неизменным размером апертуры, описан в [1]. Для этого алгоритма нужно знать математическое ожидание изображения m_i , дисперсию всего изображения σ_η^2 , дисперсию апертуры σ_i^2 , использовать формулу

$$\tilde{f}(x, y) = g(x, y) - \sigma_\eta^2 (g(x, y) - m_i) / \sigma_i^2,$$

где $\tilde{f}(x, y)$ – отфильтрованное изображение; $g(x, y)$ – зашумленное изображение. Формулу, описывающую работу фильтра, можно пояснить таким образом. Если дисперсия апертуры значительно превышает дисперсию изображения, то мы находимся в области перепада в изображении, который желательно сохранить, и выход фильтра будет $g(x, y)$. Если же две дисперсии близки по значению, то апертура имеет те же свойства, что и всё изображение, и в этом случае локальный шум может быть уменьшен с помощью усреднения (выход фильтра – m_i).

Таким образом, знание дисперсий изображения и окна позволяет различать области с перепадами в изображении и области фона и соответственно адаптировать к этим особенностям поведение фильтра. В [1] описан алгоритм, изменяющий размеры апертуры фильтра: там, где есть детали (локальная дисперсия превышает дисперсию всего изображения), желательно использовать малый размер, и наоборот, там, где фон (дисперсии близки), можно проводить фильтрацию с большим

размером апертуры. Для определения малости различий дисперсий предложено вычислять параметр активности, зависящий от математического ожидания и вычисляемых дисперсий. Полученный параметр активности сравнивается с некоторым порогом, после чего принимается решение об изменении размеров апертуры. Фильтрация выполняется по линейному алгоритму. Предварительно оговаривается максимальный возможный размер апертуры. Сравнение адаптивного фильтра с линейным показывает, что для адаптивного алгоритма увеличивается время фильтрации. В то же время адаптация размеров апертуры позволяет устранять импульсный шум, с чем не справляется обычный линейный фильтр. Для получения хороших результатов фильтрации требуется подобрать порог при изменении размеров апертуры.

Медианные фильтры хорошо работают, если плотность шума невелика. Адаптивный медианный фильтр даёт хорошие результаты и в случае больших плотностей шума. В дополнение к этому адаптивный медианный фильтр стремится сохранить детали, размывая при этом неимпульсный шум [1]. Адаптивный медианный фильтр, подобно описанному выше адаптивному алгоритму, возвращает или значение в данной точке или медиану, но при этом в ходе обработки размер апертуры увеличивается до тех пор, пока не будет найдена медиана, не являющаяся импульсом, или пока размер окна не превысит максимальное заданное значение. Этот алгоритм позволяет устранить импульсный шум, размыть шум неимпульсного происхождения, уменьшить искажения на границах объектов в изображении.

Выводы.

1. Наиболее сложными для реализации являются алгоритмы, требующие вычисления дополнительных характеристик изображения: такие как преобразование Фурье, вейвлет-преобразования, корреляционные функции. К этим алгоритмам относятся алгоритмы, использующие частотные методы, метод Винера, метод Калмана.

2. Худшее быстродействие по сравнению с линейными и медианными фильтрами имеют комбинированные и гибридные из-за многократного вычисления выхода подфильтров, а также адаптивные фильтры по причине постоянного вычисления характеристик изображения с целью выбора нового элемента или нового размера апертуры. Представляет интерес сравнить быстродействие комбинированных, гибридных и адаптивных методов между собой.

3. Для устранения Гауссова шума лучше всего использовать линейную фильтрацию, оптимальным является фильтр Винера. Линейные фильтры размывают детали и самого изображения.

4. Импульсный шум лучше всего удаляется нелинейными фильтрами на основе ранговой статистики, сохраняя при этом перепады в изображении. Но эти алгоритмы плохо устраняют Гауссов шум.

5. Для устранения комбинированного шума используют усовершенствованные алгоритмы с учётом особенности шума, комбинированные или гибридные, а также адаптивные фильтры. Эти алгоритмы работают на основе как линейной, так и нелинейной фильтрации.

Список литературы: 1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Изд-во ТЕХНОСФЕРА, 2005. – 1072 с. 2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт. – М.: Мир, 1982. – 781 с. 3. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с. 4. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений / Т. Павлидис. – М.: Радио и связь, 1986. – 396 с. 5. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера. – 2-е изд. испр. – М.: Физматлит, 2003. – 784 с. 6. Грузман И.С. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учебное пособие / И.С. Грузман, В.С. Киричук, В.П. Косых, Г.И. Перетягин, А.А. Спектор. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 168 с. 7. Воскобойников Ю.Е. Фильтрация сигналов и изображений: Фурье и вейвлет алгоритмы (с примерами в Mathcad): монография: Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин) / Ю.Е. Воскобойников, А.В. Гочаков, А.Б. Колкер. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2010. – 188 с. 8. Бухтояров С.С. Удаление шума из изображений нелинейными цифровыми фильтрами на основе ранговой статистики: автореф. дис. на соиск. ученой степ. канд. техн. наук. по спец. 05.12.04 / С.С. Бухтояров. – М., 2007. – 20 с. 9. Апальков И.В. Удаление шума из изображений на основе нелинейных алгоритмов с использованием ранговой статистики / И.В. Апальков, В.В. Хрящев // www.graphicon.ru/2007/ proceedings/Papers/Paper_20.pdf. 10. Бронников А.В. Комбинированные алгоритмы фильтрации зашумленных сигналов и изображений / А.В. Бронников, Ю.Е. Воскобойников // Автометрия. – 1990. – № 1. 11. Антощук С.Г. Гибридная линейно-ранговая фильтрация сигналов и изображений / С.Г. Антощук, В.Н. Крылов, В.О. Давыдов // Труды Одесского политехн. ун-та: науч. и произв.-практ. сб. – Одесса, 2000. – Вып. 3 (12). – С. 140. 12. Воскобойников Ю.Е. Адаптивный алгоритм фильтрации изображений и преобразования их в векторный формат / Ю.Е. Воскобойников, А.Б. Колкер // Автометрия. – 2002. – Т. 38. – № 4. – С. 15 – 21.

Статью представил д.т.н., доц. НТУ "ХПИ" Поворознюк А.И.

УДК 004.932.4

Порівняльний аналіз алгоритмів фільтрації медичних зображень / Бондіна Н.М., Калмичков О.С., Кривенцов В.Е. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2012. – № 38. – С. 14 – 25.

Розглянуто алгоритми лінійної, нелінійної та адаптивної фільтрації медичних зображень. Визначено особливості поведінки алгоритмів в залежності від характеру шуму, параметрів фільтра, розмірів апертури. Проаналізовано складність і швидкодія алгоритмів фільтрації. На основі отриманих даних наведені рекомендації з використання фільтрів. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: фільтрація медичних зображень, алгоритми фільтрації, адаптивна фільтрація.

UDC 004.932.4

Comparative analysis of algorithms filtration of medical images / Bondina N.N., Kalmychkov A.S., Kriventsov V.E. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – №. 38. – P. 14 – 25.

Algorithms of linear, nonlinear and adaptive filtering of medical images are considered. The features of the behavior of the algorithms depending on the nature of the noise, filter parameters, the size of the aperture are identified. The complexity and performance of filtering algorithms are analyzed. Based on the data recommendations on the use of filters are presented. Refs: 12 titles.

Keywords: filtration of medical images, algorithms of filtration, adaptive filtration.

Поступила в редакцию 26.03.2012

М.В. БУРЦЕВ, НТУ "ХПИ", Харьков,

А.И. ПОВОРОЗНЮК, д-р техн. наук, НТУ "ХПИ", Харьков

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В МЕДИЦИНЕ, ОСНОВАННОЙ НА КОМБИНИРОВАННОМ РЕШАЮЩЕМ ПРАВИЛЕ

Рассмотрена структура системы поддержки принятия решений в медицине, основанной на комбинированном решающем правиле. Описана архитектура разрабатываемого программного обеспечения. Рассмотрены схемы развертывания системы. Ил.: 2. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, комбинированное решающее правило, архитектура программного обеспечения.

Постановка проблемы и анализ литературы. Успешность реализации информационной системы во многом зависит от выбора целевой платформы разработки, а также правильно спроектированной архитектуры. В [1] рассмотрена реализация комбинированного решающего правила (КРП) [2] для системы поддержки принятия решений (СППР) в медицине, обоснован выбор Java [3 – 4] в качестве основной платформы: обеспечивается возможность развертывания системы в различных аппаратно-программных средах, непроприетарный характер платформы, наличие множества открытых библиотек, поддерживаемых сообществом разработчиков.

При проектировании системы необходимо изначально заложить архитектурные принципы, которые в будущем обеспечат масштабируемость, гибкость, а также простоту сопровождения системы. Для обеспечения данных качеств, в настоящее время, широко применяются шаблоны проектирования [5].

Обычно шаблон не является законченным образцом, который может быть прямо преобразован в код; это лишь пример решения задачи, который можно использовать в различных ситуациях. Объектно-ориентированные шаблоны показывают отношения и взаимодействия между классами или объектами, без определения того, какие конечные классы или объекты приложения будут использоваться [6]. Главная польза каждого отдельного шаблона состоит в том, что он описывает решение целого класса абстрактных проблем. Также тот факт, что каждый шаблон имеет свое имя, облегчает дискуссию об абстрактных структурах данных между разработчиками, так как они могут ссылаться на известные шаблоны. Таким образом, за счёт шаблонов производится унификация терминологии, названий модулей и элементов проекта.

Целью статьи является обоснование методики реализации системы поддержки принятия решений в медицине, основанной на комбинированном решающем правиле, а также описание разработанной архитектуры системы.

Структура СППР. В структуре разрабатываемой СППР можно выделить три основных модуля (рис. 1): модуль взаимодействия с пользователем, базу данных, включающую в себя базу знаний и модуль построения знаний.

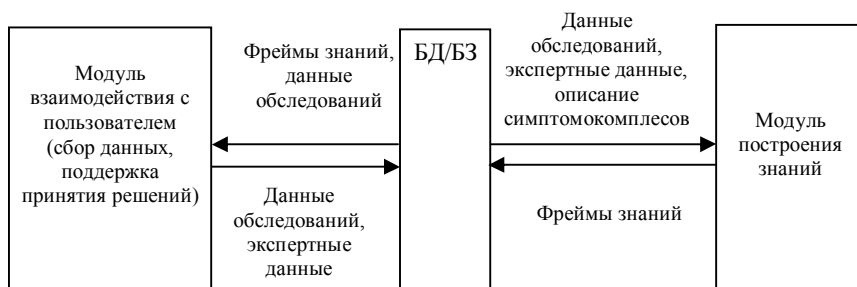


Рис. 1. Структурная схема СППР

Модуль взаимодействия с пользователем представлен графическим интерфейсом пользователя и позволяет осуществлять сбор данных обследований, административных данных, а также данных предоставляемых экспертами, которые используются при формировании знаний системы.

Для хранения данных и фреймов знаний системы используется реляционная база данных (БД).

Модуль построения знаний отвечает за формирование фреймов знаний, представленных иерархической структурой диагнозов [7], имеющей вид двоичного дерева, каждый простой узел которого содержит конечный диагноз, а составные – две группы диагнозов, относительно которых осуществляется диагностика, а также последовательности наборов диагностически значимых интервалов численных признаков [8] и функции принадлежности, используемые КРП, заданные экспертами [9].

Архитектура СППР. При проектировании системы необходимо четко разграничить уровни данных, логики и представления разрабатываемой системы. Подобное разделение соответствует шаблону модель-представление-контроллер (MVC pattern) в архитектурном плане. Архитектура разрабатываемой системы представлена на рис. 2.

На уровне данных выделяются сущности (entities), необходимые для решения задачи диагностики (как административные, так и сущности, описывающие признаки, диагнозы и т.д.). Сущности содержат в себе исключительно данные. Менеджеры сущностей представляют собой реализацию шаблона объекта доступа к данным (DAO pattern), и предоставляют возможность выполнения CRUD-операций над имеющимися данными: осуществляют выборку, изменение, добавление и удаление экземпляров сущностей. Менеджеры сущностей взаимодействуют с уровнем логики приложения, при этом сами бизнес-логики не содержат; являются единственным источником данных для всех сервисов системы.

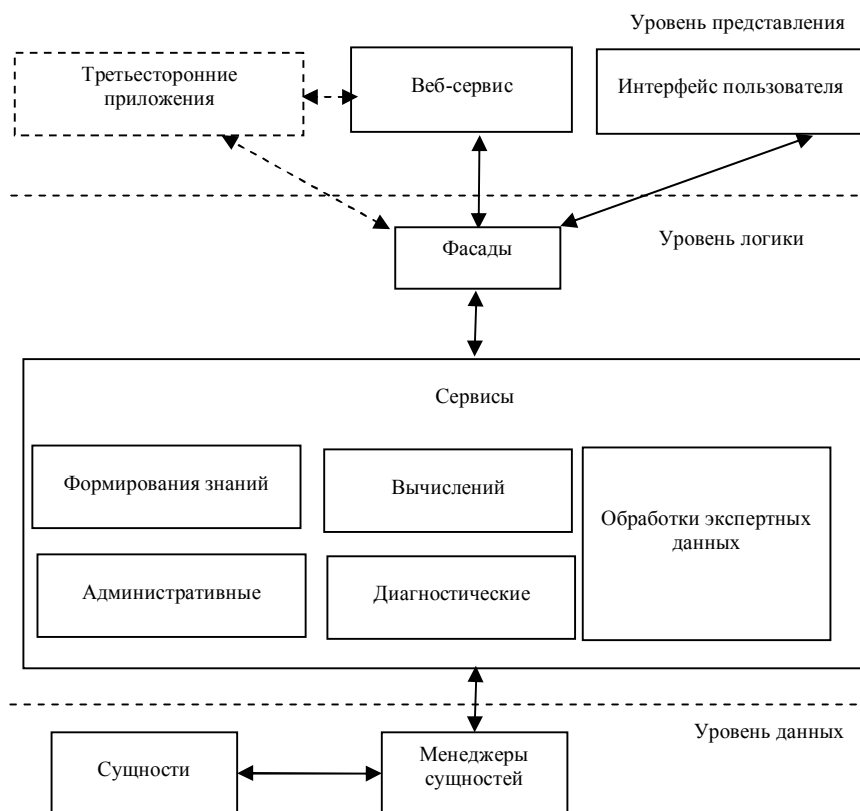


Рис. 2. Архитектура СПИП

Связь данных БД и сущностей приложения осуществляется при помощи механизма объектно-реляционного связывания (ORM). Для

этого предполагается использование библиотеки Hibernate [10], которая позволяет описать связи полей сущностей с колонками таблиц БД (с помощью аннотаций, либо XML-описания), при этом исчезает необходимость в написании большого объема JDBC-кода для получения данных из БД.

Уровень логики включает в себя сервисы системы, содержащие всю бизнес-логику приложения. Административные сервисы отвечают за обработку данных о пациентах, сотрудниках, ведение соответствующей медицинской документации. Сервисы вычислений предоставляют доступ к различным алгоритмам: формирование диагностически значимых интервалов признаков, генетические алгоритмы и т.д. Сервисы формирования знаний являются реализацией шаблона строитель (Builder pattern), осуществляют построение фреймов знаний системы, структура которых рассмотрена выше. Сервисы обработки экспертных данных осуществляют обработку данных, предоставленных экспертами (функции принадлежности, описание структуры симптомокомплексов, веса признаков и др.) и подготавливают метаданные для работы сервисов формирования знаний. Диагностические сервисы, используя знания системы, осуществляют поддержку принятия решений: на основании входных данных о результатах обследования предлагается некоторое множество диагнозов, соответствующих состоянию диагностируемого.

Фасады (Facade pattern) обеспечивают представление ядра системы во вне (API для интерфейса пользователя и третьесторонних приложений), скрывая от внешнего мира всю внутреннюю реализацию и структуру системы. Каждый из фасадов является оберткой для одного, либо нескольких сервисов, при этом может содержать дополнительную логику (например, валидацию входных данных).

Уровень представления включает графический интерфейс пользователя (GUI) и веб-сервис. GUI является самостоятельным приложением, реализованным в соответствии с требованиями шаблона MVC. GUI использует API ядра системы, предоставляемые фасадами.

Взаимодействие с третьесторонними приложениями может осуществляться как непосредственно через фасады (в том случае, если третьестороннее приложение является Java-приложением, то возможен прямой вызов методов фасадов, используя механизм RMI), так и через веб-сервис.

Веб-сервис является оберткой для всех фасадов системы, предоставляет возможность общаться с ядром системы с помощью обмена SOAP-сообщениями.

Развертывание системы. Простейший вариант представляет собой развертывание всех структурных элементов на одном сервере. Такой

подход позволяет сэкономить на затратах, связанных с приобретением аппаратных ресурсов, но не предполагает высокой нагрузки на систему. Является оптимальным для небольших организаций.

Для обеспечения более высокой производительности и обслуживания крупных организаций необходимо выполнить размещение модулей системы на различных серверах (GUI, БД/БЗ, модуль построения знаний). Если же желаемая производительность не достигнута, то необходимо выполнить кластеризацию отдельных модулей, несущих наибольшую нагрузку, а также конфигурирование балансировщика нагрузки (loadbalancer).

При развертывании системы возможен отказ от приобретения физических серверов и выполнение развертывания в облаке (Amazon EC2, Elastic), если позволяет бюджет организации.

Выводы. Обоснован подход к реализации системы поддержки принятия решений в медицине, рассмотрены ее основные модули. Описана архитектура разрабатываемой системы. Рассмотрены схемы развертывания системы.

Список литературы: 1. *Бурцев М.В.* Программная реализация комбинированного решающего правила для задач медицинской диагностики / *М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк* // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2010. – № 21. – С. 11–16. 2. *Бурцев М.В.* Синтез комбинированного решающего правила в задаче медицинской диагностики / *М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк* // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2009. – № 43. – С. 27 – 33. 3. *Эккель Б.* Философия Java / *Б. Эккель* – СПб.: Питер, 2009. – 640 с. 4. *Шилдт Г.* Полный справочник по Java / *Г. Шилдт*. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2009. – 1040 с. 5. *Бек К.* Шаблоны реализации корпоративных приложений / *К. Бек*. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2008. – 176 с. 6. *Стелтинг С.* Применение шаблонов Java / *С. Стелтинг., О. Маасен* – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2002. – 576 с. 7. *Бурцев М.В.* Построение иерархической структуры диагнозов для комбинированного решающего правила в компьютерных системах медицинской диагностики / *М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк* // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ", 2011. – С. 29–34. 8. *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. 9. *Бурцев М.В.* Выбор функций принадлежности для описания симптомокомплексов в комбинированном решающем правиле / *М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк* // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2010. – № 31. – С. 10–15. 10. *Хемрадджани А.* Гибкая разработка приложений на Java с помощью Spring, Hibernate и Eclipse / *А. Хемрадджани*. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2008. – 352 с.

УДК 681.3

Архітектура системи підтримки прийняття рішень в медицині, заснованої на комбінованому вирішальному правилі / Бурцев М.В., Поворознюк А.І. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2012. – № 38. – С. 26 – 31.

Розглянуто структуру системи підтримки прийняття рішень в медицині, заснованої на комбінованому вирішальному правилі. Описано архітектуру програмного забезпечення, що

розробляється. Розглянуто схеми розгортання системи. Іл.: 2. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, комбіноване вирішальне правило, архітектура програмного забезпечення.

UDC 681.3

Architecture of medical support decision making system based on combined decision rule / Burtsev M.V., Povorozhuk A.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – №. 38. – P. 26 – 31.

Medical support decision-making system structure is reviewed. Developing software architecture is described. System deployment schemes are reviewed. Figs.: 2. Refs.: 10 titles.

Keywords: support decision-making system, combined decision rule, software architecture.

Поступила в редакцію 09.06.2012

А.І. ВАВЛЕНКОВА, канд.техн. наук, доц., НАУ, Київ

ВИЯВЛЕННЯ ЛОГІЧНИХ ПРОТИРІЧ У ТЕКСТОВІЙ ІНФОРМАЦІЇ

Проаналізовано проблему виявлення логічних протиріч у текстовій інформації, досліджено формально-логічні закони як теоретичну основу для встановлення істинності та хибності логічних висловлювань, продемонстровано пошук логічних протиріч методом резолюцій, запропоновано алгоритм виявлення логічних протиріч, що базується на порівнянні логіко-лінгвістичних моделей текстової інформації. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: логічні протиріччя, формально-логічні закони, логічні висловлювання, метод резолюцій, логіко-лінгвістичні моделі.

Постановка проблеми. Глибоке вивчення та засвоєння законів правильного мислення необхідне для будь-якої області наукової діяльності. Без логічного розмірковування неможливо ні відкрити істину, ні обґрунтувати достовірність теоретичних узагальнень для практичних дій. З точки зору лінгвістики початковими поняттями для вивчення семантики є значення, синонімія, усвідомленість. Е. Лепор пише: «Дослідники вважають, що семантична теорія мови – це теорія значення, а перераховані вище явища та властивості – центральні поняття, пов'язані зі значенням». З точки зору логіки, центральне поняття семантики – поняття істинності, яке найбільш повно характеризує обґрунтованість логічного виводу.

Однією з важливих проблем аналітичної обробки текстової інформації, яку намагаються вирішити сьогодні вчені, є дослідження текстів на наявність у них логічних протиріч. Методологічно логічне протиріччя полягає у тому, що у деякій теорії, яка базується на певній логіці, неможливо відрізнити хибні твердження від істинних [1]. Саме на вирішення проблеми пошуку у текстовій інформації логічних протиріч з використанням формальних моделей представлення знань і спрямовані подальші дослідження.

Аналіз літератури. Зростання ролі інформаційних технологій, прагнення зрозуміти, як мислить людина, формалізувати ці знання, змусило багатьох іноземних та вітчизняних вчених (Попов Е.В., Поспелов Д.А., Гладкий А.В., Рубашкін В.Л., Звягінцев В.А. [1], Карнап Р., Вольф Є.М., Виноград Т., Хомський Н., Лакофф Дж., Греймас А.Ж., Фостер Д.М., Кронгауз М.А., Лайонз Д.) ще декілька десятиліть тому ретельно досліджувати структуру природної мови. Так, Звягінцев В.А. [1] намагається у своєму циклі книжок узагальнити всю існуючу інформацію щодо обробки природно-мовних текстів. В [2]

Попов Е.В. проводить паралель між логікою мислення та логікою предикатів, в [3] чітко сформульовані формально-логічні закони та пояснена їх суть, в [5] Вагін В.Н. шляхом використання методу резолюцій, як одного з основних методів логічного виводу, робить експерименти щодо пошуку логічних протиріч та пропонує логіко-лінгвістичну модель як засіб опису роботи складної системи на підприємстві. В [7] автор використовує логіко-лінгвістичну модель уже не для опису певної ситуації, а для відображення синтаксичної структури речень природної мови.

Мета статті – дослідити процес виявлення логічних протиріч у текстовій інформації за допомогою використання відомих методів логічних виводів, а також сформулювати основні етапи алгоритму виявлення логічних протиріч за допомогою аналізу формальних засобів представлення природно-мовних текстів, зокрема, шляхом порівняння логіко-лінгвістичних моделей.

Формально-логічні закони. Логічне протиріччя – це твердження, в якому одночасно стверджується наявність певної ситуації A та її відсутність $\neg A$. Два вирази, в яких містяться протиріччя, не можуть бути одночасно ні істинними, ні хибними. Це підтверджується другим законом логіки про не протиріччя. Саме логічні закони дають змогу зафіксувати властивості та ознаки, що постійно відбуваються у світі (визначеність, унікальність, стабільність), та простежити правильність побудови логічних ланцюжків [2].

Закон тотожності – довільне поняття та висловлювання тотожне само собі. Якщо керуватися цим законом, то в процесі дослідження не можна заміняти конкретні поняття іншими поняттями. Проте на практиці, а особливо при написанні текстів на природній мові, заміни відбуваються дуже часто, наприклад, явища синонімії та омонімії, що само по собі є генератором помилок, пов'язаних із застосуванням закону тотожності. Таким чином, закон тотожності *забезпечує визначеність логічного мислення* і розуміє під собою те, що не можна ототожнювати різні думки, а тотожні думки сприймати як не тотожні.

Закон протиріччя – два протилежні висловлювання не можуть бути одночасно істинними, принаймні одне з них має бути хибним. Якщо перший закон виражає відношення логічної однозначності, то другий закон – відношення логічної несумісності [3]. Математичний запис закону протиріччя: $\neg(A \& \neg A) = 1$. Цей закон є фундаментальним логічним законом, на якому побудована вся сучасна математика. Закон протиріччя діє у відношенні довільних контрарних та контрадикторних висловлювань.

Контрарні висловлювання – висловлювання, в одному з яких говориться про ствердження деякого предмету із певної множини, а у іншому – заперечується деяка частина цієї множини. Ці висловлювання не можуть бути одночасно ні істинними, ні хибними. Наприклад, висловлювання «всі громадяни України приймають участь у виборах» та «деякі громадяни України не приймають участь у виборах» – контрарні.

Контрадикторні висловлювання – висловлювання про предмет, в одному з яких дещо стверджується, а в іншому те ж саме заперечується. Наприклад, висловлювання «всі громадяни України приймають участь у виборах» та «не всі громадяни України приймають участь у виборах» – контрадикторні.

В основі закону протиріччя лежить якісна визначеність речей та явищ, відносна стійкість їх властивостей. Проте потрібно чітко розуміти, що другий закон заперечує тільки логічні протиріччя. Це протиріччя неправильного мислення, а не об'єктивної реальності. Протиріччя зникає одразу, як тільки встановлюється, що твердження відноситься до одного об'єкту, а заперечення – до іншого. Тобто закон заперечення *забезпечує не протиріччя і послідовність мислення*, здатність фіксувати та виправляти довільні протиріччя.

Закон вилучення третього – два протилежні висловлювання не можуть бути одночасно хибними, одне з них обов'язково істинне, інше – обов'язково хибне, третє висловлювання – виключено. Оскільки закон вилучення третього діє лише по відношенню до протилежних висловлювань, то його формулювання ведеться за формою «АБО-АБО». Цей закон задає напрямок мислення в пошуку істини про те, що можливі лише два варіанти рішення проблеми, при чому одне з них обов'язково істинне. Доведення цього закону здійснюють методом доведення від протилежного. Важливе застосування закон має в юридичній практиці, де потребується категоричне вирішення питання. В результаті застосування закону вилучення третього *досягається однозначність логічного мислення*.

Закон достатнього обґрунтування – довільне висловлювання має достатньо підстав. Цей закон фактично говорить про те, що всі думки, які можна пояснити, вважаються істинними, а ті, що не можна пояснити, – хибними. Закон носить змістовний характер, виступає як методологічний принцип, що забезпечує здатність мислення порівнювати підстави з подальшими доведеннями. Всі види протиріч здійснюються та вирішуються, знімаються та створюються. Протиріччя як джерело розвитку дійсне тільки разом з його вирішенням. Тобто достатньою підставою для довільного висловлювання є інше висловлювання, уже

перевірене та визнане істинним. Закон достатнього обґрунтування *забезпечує обґрунтованість мислення* [4].

Без логічного закону неможливо зрозуміти, що таке логічний вивід та що таке логічне доведення. Правильне мислення – це мислення за законами логіки, за абстрактними схемами, що ними фіксуються. Закони логіки складають каркас, на йому тримаються послідовні розмірковування і без якого вони перетворюються в хаотичну мову.

Застосування методу резолюцій для пошуку логічних протиріч.
Довести відсутність внутрішнього протиріччя висловлювання означає довести, що у ньому не існує такої формули ψ , що і вона, і її заперечення $\neg\psi$ виводяться з цього висловлювання. Для того, щоб довести істинність певного висловлювання, необхідно металогічними засобами довести неможливість формального в ньому тих, чи інших формул.

Нехай потрібно знайти логічне протиріччя між двома логічними виразами:

$$P_1(x_1\{c_{11}\}, x_2[x_3], x_4) \rightarrow U, \quad (1)$$

$$\neg P_1(x_1\{c_{11}\}, x_2[x_3], x_4) \rightarrow U. \quad (2)$$

Зробимо заміну $x_1\{c_{11}\} = Q$, $x_2[x_3] = R$, $x_4 = T$, тоді матимемо:

$$P_1(Q, R, T) \rightarrow U, \quad (1')$$

$$\neg P_1(Q, R, T) \rightarrow U. \quad (2')$$

Якщо буде доведено істинність одного із заданих висловлювань, то інше буде хибним, відповідно обидва висловлювання будуть містити логічне протиріччя [5].

Для доведення істинності логічного висловлювання методом резолюцій, необхідно заперечити той консеквент, який впливає із заданого логічного висловлювання, тобто $\neg U$. Це заперечення додається до множини $S = \{P_1(Q, R, T), U, \neg U, \neg P_1(Q, R, T)\}$, і всі члени розширеної множини перетворюються у послідовність диз'юнктивів: $\{\neg U, \neg P_1(Q, R, T) \vee U, \neg P_1(Q, R, T), P_1(Q, R, T) \vee U\}$.

Здійснюємо резолюцію заперечення припущення $\neg U$ та послідовності диз'юнктивів, отриманих в результаті заміни $\neg P_1(Q, R, T) \vee U$, в результаті отримуємо резольвенту $\neg P_1(Q, R, T)$. Аналогічні дії необхідно зробити і для виразу (2'), внаслідок чого отримаємо резольвенту $P_1(Q, R, T)$. Резольвентою отриманих двох логічних виразів $\neg P_1(Q, R, T)$ та $P_1(Q, R, T)$ є пуста множина, це означає, що вирази містять логічні протиріччя [6].

Виявлення логічних протиріч шляхом порівнянням логіко-лінгвістичних моделей. Кожне речення флективної мови можна представити у вигляді логіко-лінгвістичної моделі уніфікованої форми. Таким чином, виявлення логічних протиріч передбачає порівняння певних еталонних висловлювань із сформованими, які передбачається перевірити на наявність логічних протиріч.

Побудова логіко-лінгвістичних моделей для кожного з речень природної мови дає змогу виділити в них основні синтаксичні складові, що впливають на зміст речень [7]: предикат, предикатні константи та аргументи. Завдяки порівнянню сформованих логіко-лінгвістичних моделей за структурними елементами можливе виявлення логічних протиріч. Наприклад, розглянемо наступні логіко-лінгвістичні моделі речень:

$$P_1(x_1\{c_{11}\}, x_2[x_3], x_4), \quad (3)$$

$$P_2(x_1\{c_{11}\}, x_2[x_3], x_4), \quad (4)$$

$$P_1(\neg x_1\{c_{11}\}, x_2[x_3], x_4), \quad (5)$$

$$P_1(x_1, x_2). \quad (6)$$

Застосування методу резолюцій Робінсона для формул (3) – (6) дало змогу виявити логічне протиріччя у виразах (3) та (5), так як вони містять контрарні пари [8]. Дослідження решти формул на наявність логічних протиріч потребує розробки нових методів, що будуть враховувати не лише явні заперечення у виразах але й заперечення змісту, так формули (5), (6), які також містять логічні протиріччя.

Для виявлення змістовних логічних протиріч необхідно застосувати алгоритм порівняння логіко-лінгвістичних моделей, що передбачає виконання таких етапів:

- побудова логіко-лінгвістичних моделей речень;
- почерговий перегляд елементів всіх логіко-лінгвістичних моделей;
- заміна тотожних змінних, їх перепозначення;
- логічний вивід з використанням спеціальної бази знань.

Виконання описаних вище кроків дозволить при порівнянні (5) та (6) виявити, що в предикатній змінній об'єкту міститься логічне протиріччя, а (3) та (6) змістовних логічних протиріч не містять, а відображають поширене та не поширене речення природної мови відповідно.

Висновки. Для того, щоб розвивати науку необхідно не лише знати факти, але й вміти робити з них обґрунтовані висновки, обов'язково перевіряти та доводити їх об'єктивну істинність. Жодна думка не може бути вірною, якщо порушено хоча б один із логічних законів. Логічні протиріччя не допустимі в науці, проте встановити, що конкретна теорія

не містить їх, не просто. Те, що в процесі розгортання та розвитку теорії не було знайдено ніяких протиріч, ще не означає, що їх насправді немає. Запропонований автором алгоритм виявлення логічних протиріч, що базується на порівнянні логіко-лінгвістичних моделей текстової інформації, дозволяє формалізувати процес порівняння різноманітних за будовою речень. Це стає можливим за рахунок використання єдиного шаблону формування логіко-лінгвістичних моделей, їх уніфікованої форми, та формалізованих правил побудови речень природної мови.

Список літератури: 1. Новое в зарубежной лингвистике. Вып.18. Логический анализ естественного языка: Пер. с англ. Петрова В.В. – М.: Прогресс, 1986. – 392 с. 2. Искусственный интеллект: В 3-х кн. Кн. 1. Системы общения и экспертные системы: Справочник / под ред. Э.В. Попова. – М.: радио и связь, 1990. – 464 с. 3. Новая философская энциклопедия: т 1. – М.: Мысль, 2010. – 744 с. 4. Кобозева И.М. Лингвистическая семантика. – М.: Эдитореал УРСС, 2000. – 352 с. 5. Вагин В.Н. Дедукция и обобщение в системе принятия решений / В.Н. Вагин. – М.: Наука, 1988. – 384 с. 6. Хант Э. Искусственный интеллект / Э. Хант. – М.: Мир, 1978. – 560 с. 7. Вавіленкова А.І. Логіко-лінгвістична модель як засіб відображення синтаксичних особливостей текстової інформації / А.І. Вавіленкова // Математичні машини та системи. – 2010. – № 2. – С. 134–137. 8. Кронгауз М.А. Семантика. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 352 с.

Статтю представил завідувач відділу Інституту проблем математичних машин НАН України д.т.н., проф. Литвинов В.В.

УДК 004.82 (045)

Выявление логических противоречий в текстовой информации / Вавіленкова А.І. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2012. – № 38. – С. 32 – 37.

Проаналізована проблема виявлення логічних протиріч в текстовій інформації, дослідовані формально-логічні закони як теоретична основа для установлення істинності і ложності логічних висказувань, продемонстрований пошук логічних протиріч методом резолюцій, пропонується алгоритм виявлення логічних протиріч, який базується на порівнянні логіко-лінгвістичних моделей текстової інформації. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: логические противоречия, формально-логические законы, логические высказывания, метод резолюций, логико-лингвистические модели.

UDC 004.82 (045)

Identification of logical contradictions in the text information / Vavilenkova A.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – № 38. – С. 32 – 37.

Analyzed the problem of identifying the logical contradictions in the text information, investigated the formal laws of logic as a theoretical basis for establishing the truth or falsity of logical statements, search for logical inconsistencies demonstrated by the resolution method, an algorithm to identify logical contradictions, which is based on a comparison of the logical-linguistic models of textual information. Refs.: 8 titles.

Keywords: logic contradiction, formal laws of logic, logic statements, the method of resolutions, the logic-linguistic models.

Надійшла до редакції 26.07.2012

Е.В. ВОЛЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., Институт информатики и искусственного интеллекта ГВУЗ "Донецкий национальный технический университет", Донецк

О СПОСОБЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЛИЗОСТИ ОБЪЕКТОВ ВЗВЕШЕННЫХ ОБУЧАЮЩИХ ВЫБОРОК

В работе предложена метрика для определения расстояния между объектами обучающих выборок, имеющими вес. Выполнено расширение алгоритма k -ближайших соседей на взвешенные выборки w -объектов с вычислением расстояния на основе предложенной метрики. Проведены экспериментальные исследования, подтвердившие эффективность предложенного подхода. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: w -объект, обучающая выборка, алгоритм k -ближайших соседей, метрика.

Постановка проблемы и анализ литературы. Классификация объектов в обучающихся системах распознавания заключается в определении их близости к объектам обучающей выборки на основе выбранной метрики (функции расстояния).

Метрикой называют неотрицательную вещественную функцию $d(X_i, X_j)$, удовлетворяющую следующим условиям [1]:

- 1) $d(X_i, X_j) \geq 0$ для всех объектов X_i и X_j обучающей выборки X ;
- 2) $d(X_i, X_j) = 0$ тогда и только тогда, когда $X_i = X_j$ (аксиома тождества);
- 3) $d(X_i, X_j) = d(X_j, X_i)$ (аксиома симметрии);
- 4) $d(X_i, X_j) \leq d(X_i, X_s) + d(X_s, X_j)$, где X_i , X_j и X_s – три любые объекта выборки X (аксиома треугольника).

Особенности расположения объектов обучающей выборки в признаковом пространстве, недостаточный (избыточный) объем данных, наличие шума и неполных данных существенно повышают важность выбора метрики, позволяющей выполнять классификацию объектов с наибольшей эффективностью [2]. На сегодняшний день разработано значительное количество метрик, перечень которых можно найти, например, в [3], обеспечивающих высокую эффективность классификации, однако для некоторых видов систем распознавания этот вопрос остается открытым.

Анализ большого числа прикладных задач, решаемых путем построения систем распознавания показал, что на сегодняшний день наиболее востребованными являются адаптивные обучающиеся системы распознавания, характеризующиеся способностью изменять свои свойства (словарь признаков, обучающую выборку, решающие правила классификации и т.д.) в соответствии с изменениями распознаваемых объектов [4]. Определяющей особенностью этих систем является возможность пополнения обучающей выборки новыми объектами на всем протяжении времени работы системы, что приводит к неограниченному росту обучающей выборки и необходимости корректировки решающих правил при добавлении новых объектов.

В предыдущих работах автора [4, 5] для сокращения размера обучающих выборок в адаптивных обучающих системах была предложена и реализована алгоритмически идея перехода к взвешенным обучающимся выборкам, каждый w -объект которой строится по множеству близкорасположенных в пространстве признаков объектов исходной выборки. Значения признаков w -объектов являются центрами масс значений признаков объектов найденных множеств. Вес содержит информацию о взаиморасположении, количестве или качестве заменяемых объектов и, исходя из результатов экспериментальных исследований, проведенных в предыдущих работах, позволяет существенно повысить эффективность работы систем.

Введение дополнительной характеристики для описания w -объектов не позволяет корректно выполнять классификацию объектов из-за отсутствия метрики, рассчитывающей расстояние между объектами, имеющими разный вес.

Целью данной работы является разработка и анализ метрики для оценки степени близости объектов во взвешенных обучающих выборках.

Постановка задачи. Пусть имеется некоторая конечная взвешенная обучающая выборка w -объектов $X^W = \{X_1^W, X_2^W, \dots, X_k^W\}$. Каждый w -объект X_i^W этой выборки описывается системой признаков $\{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}$ и весом p_i – целым положительным числом, т.е. $X_i^W = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}, p_i\}$ и представляется точкой в линейном пространстве признаков, т.е. $X_i \in R^n$. Для каждого w -объекта известна его классификация $y_i \in V$, где $V = \{V_1, \dots, V_l\}$ – множество всех классов системы.

Имеется некоторый объект $X_s = \{x_{s1}, x_{s2}, \dots, x_{sn}\}$, заданный только набором признаков (для единообразия присвоим ему вес равный единице, т.е. $p_s = 1$, тогда $X_s^W = \{x_{s1}, x_{s2}, \dots, x_{sn}, p_s\}$). Необходимо выполнить классификацию объекта X_s^W , для чего требуется построить функцию $d_W(X_s^W, X_i^W)$ оценки расстояния между классифицируемым объектом и объектами взвешенной обучающей выборки.

Построение метрики на взвешенных обучающих выборках. Выбор метрик в задачах распознавания ограничивается, в первую очередь, сложностью их вычисления [6] и близостью к реальному топологическому разделению пространства признаков на области, соответствующие классам системы [7].

По результатам анализа особенностей расположения объектов взвешенной выборки в пространстве признаков может быть предложена следующая метрика.

Пусть каждый w -объект взвешенной обучающей выборки представляется материальной точкой в признаковом пространстве R^n и имеет массу, равную весу w -объекта.

Тогда "близость" двух материальных точек (двух w -объектов) $X_i^W = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}, p_i\}$ и $X_j^W = \{x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jn}, p_j\}$ в пространстве признаков может быть определена по силе притяжения между ними

$$F_{ij} = \frac{p_i \cdot p_j}{r_{ij}^2} = \frac{p_i \cdot p_j}{\|X_i^W - X_j^W\|} = \frac{p_i \cdot p_j}{\sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{io} - x_{jo})^2}}. \quad (1)$$

Два w -объекта X_i^W и X_j^W являются ближайшими, если сила притяжения между ними, рассчитанная по формуле (1), максимальна.

Поскольку при вычислении расстояний два объекта являются ближайшими, если расстояние между ними минимально, в качестве метрики для определения расстояния между w -объектами будем использовать величину, обратную к (1).

Теорема 1. Функция

$$d_W(X_i^W, X_j^W) = \frac{\sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{io} - x_{jo})^2}}{p_i \cdot p_j} \quad (2)$$

является метрикой.

Доказательство. Покажем, что формула (2) определяет метрику, т.е. удовлетворяет условиям 1 – 4.

Свойство 1. Для любой пары w -объектов X_i^W и X_j^W взвешенной обучающей выборки X^W $d_W(X_i^W, X_j^W) \geq 0$.

В формуле (2) выражение $\sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{io} - x_{jo})^2}$ является евклидовой метрикой, для которой данное свойство выполняется. Согласно постановке задачи веса w -объектов $p_i \geq 1$ и $p_j \geq 1$, поэтому для (2) свойство 1 выполняется для любых X_i^W и X_j^W .

Свойство 2. Для любой пары w -объектов X_i^W и X_j^W взвешенной обучающей выборки X^W $d_W(X_i^W, X_j^W) = 0$ тогда и только тогда, когда $X_i^W = X_j^W$.

Пусть $x_{io} = x_{jo}$ для всех $o = \overline{1, n}$, тогда

$$\frac{\sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{io} - x_{jo})^2}}{p_i \cdot p_j} = \frac{\sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{io} - x_{io})^2}}{p_i \cdot p_j} = \frac{0}{p_i \cdot p_j} = 0 \quad (\text{по условию } p_i \geq 1 \text{ и } p_j \geq 1),$$

т.е. для (2) свойство 2 выполняется для любых X_i^W и X_j^W .

Свойство 3. Для любой пары w -объектов X_i^W и X_j^W взвешенной обучающей выборки X^W $d_W(X_i^W, X_j^W) = d_W(X_j^W, X_i^W)$.

Поскольку $\sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{io} - x_{jo})^2} = \sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{jo} - x_{io})^2}$, то, свойство 3 выполняется для любых X_i^W и X_j^W .

Свойство 4. Для любых w -объектов X_i^W , X_j^W и X_k^W выборки X^W $d_W(X_i^W, X_j^W) \leq d_W(X_i^W, X_k^W) + d_W(X_k^W, X_j^W)$.

Рассмотрим естественный случай, когда выполняется расчет расстояния от двух w -объектов X_i^W , X_j^W (обычно принадлежащих

разным классам) до распознаваемого объекта X_s^W , т.е. покажем, что $d_W(X_i^W, X_j^W) \leq d_W(X_i^W, X_s^W) + d_W(X_s^W, X_j^W)$.

Пусть
$$\frac{\sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{io} - x_{jo})^2}}{p_i \cdot p_j} > \frac{\sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{io} - x_{so})^2}}{p_i \cdot p_s} + \frac{\sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{so} - x_{jo})^2}}{p_s \cdot p_j}, \quad \text{т.е.}$$

$$p_s \sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{io} - x_{jo})^2} > p_j \sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{io} - x_{so})^2} + p_i \sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{so} - x_{jo})^2}.$$

Поскольку в худшем случае для евклидовой метрики

$$\begin{aligned} \sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{io} - x_{jo})^2} &= \sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{io} - x_{so})^2} + \sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{so} - x_{jo})^2}, \text{ то} \\ p_s \left(\sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{io} - x_{so})^2} + \sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{so} - x_{jo})^2} \right) &> p_j \sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{io} - x_{so})^2} + \\ + p_i \sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{so} - x_{jo})^2}. \end{aligned}$$

В результате преобразований получим выражение

$$(p_s - p_j) \sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{io} - x_{so})^2} > (p_i - p_s) \sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{so} - x_{jo})^2}. \quad (3)$$

Так как $p_s = 1$, а $p_i \geq 1$ и $p_j \geq 1$, то неравенство (3) является неверным и свойство 4 выполняется для любых X_i^W , X_j^W и классифицируемого объекта X_s^W .

Поскольку для (2) все свойства метрики выполняются, то функция

$$d_W(X_i^W, X_j^W) = \frac{\sqrt{\sum_{o=1}^n (x_{io} - x_{jo})^2}}{p_i \cdot p_j} - \text{является метрикой.}$$

Отметим, что рассмотрение случая, когда классифицируемый объект X_s^W имеет неединичный вес, будет рассмотрено в следующих работах.

Классификация объектов на основе взвешенных обучающих выборок. Для классификации объектов на основе взвешенных обучающих выборок w -объектов будем использовать алгоритм k -ближайших соседей [2], широко применяющийся при решении задач классификации в условиях неполных априорных данных. Выбор данного метода для классификации на основе взвешенной обучающей выборки основывается на результатах исследований [5], согласно которым он будет показывать высокую эффективность классификации при использовании сокращенной обучающей выборки. Для классификации объекта X_s^W с помощью метрики (2) найдем k ближайших к нему w -объектов каждого из классов и отнесем к тому классу, суммарное расстояние до объектов которого минимально.

Результаты экспериментальных исследований. Для оценки эффективности предложенного подхода был проведен ряд экспериментальных исследований. В качестве исходных данных были использованы выборки объектов двух классов размером 1000 – 5000 объектов при 20% пересечении областей классов в пространстве признаков, содержащих 5 – 20 признаков распознавания. Для генерации значений признаков использовался нормальный и равномерный законы распределения.

Оценка эффективности классификации объектов на основе взвешенной обучающей выборки по предложенной модификации алгоритма k -ближайших соседей выполнялась на тестовых выборках размером 100 объектов, полученных с помощью тех же генераторов, что и обучающие выборки. В качестве критерия оценки эффективности классификации использовалась частота неверных классификаций. Количество "ближайших соседей" равно 10% размера обучающей выборки w -объектов.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1) размер взвешенной выборки w -объектов составил в среднем 2,3% размера исходной обучающей выборки;

2) частота неверной классификации объектов тестовой выборки модифицированным методом k -ближайших соседей по выборке w -объектов уменьшилась в среднем на 7,4% по сравнению с частотой неверной классификации методом k -ближайших соседей по исходной выборке.

Отметим, что близкие результаты были получены при 10 – 40% пересечении областей классов в пространстве признаков и изменении количества признаков распознавания.

Также были проведены экспериментальные исследования эффективности предложенного подхода на выборках репозитория ISEC (International Statistical Education Centre) [9], для которых частота неверной классификации объектов модифицированным методом k -ближайших соседей по выборке w -объектов уменьшилась в среднем на 5,3%.

Выводы. В работе предложен способ оценки расстояния между объектами взвешенной обучающей выборки и классифицируемыми объектами с помощью новой метрики. Выполнено расширение алгоритма k -ближайших соседей на взвешенные выборки w -объектов с вычислением расстояния на основе предложенной метрики.

Результаты экспериментальных исследований показали устойчивое уменьшение частоты неверных классификаций в среднем на 7,4%, что позволяет сделать вывод об эффективности использования взвешенных выборок w -объектов в адаптивных обучающихся системах.

Автор благодарит к.ф.-м.н., с.н.с. И.С. Грунского за ряд ценных замечаний и внимание к данной работе.

Список литературы: 1. Дюран Б. Кластерный анализ / Б. Дюран, П. Оделл. – М.: Статистика, 1977. – 130 с. 2. Theodoridis S. Pattern Recognition / S. Theodoridis, K. Koutroubas. – San Diego: Academic Press, 2008. – 823 p. 3. Воронин Ю.А. Теория классифицирования и её приложения / Ю.А. Воронин. – Новосибирск: Наука, 1985. – 232 с. 4. Розробка теоретичних засад і методів реалізації відкритих систем автоматичного розпізнавання, що навчаються: способи оптимізації навчаючих вибірок і методи побудови зважених вирішуючих правил класифікації [Текст]: звіт з НДР (заключний): Тема GP/F32/130, Грант Президента України для підтримки наукових досліджень молодих учених на 2011 рік / керівник роботи О.В. Волченко. – Донець, ГВУЗ "ДонНТУ", 2011. – 67 с. 5. Волченко Е.В. Метод построения взвешенных обучающих выборок в открытых системах распознавания / Е.В. Волченко // Доклады 14-й Всероссийской конференции "Математические методы распознавания образов (ММРО-14)", Суздаль, 2009. – М.: Макс-Пресс, 2009. – С. 100 – 104. 6. Гороховатский В.А. Метрики на множествах ключевых точек изображений / В.А. Гороховатский // Бионика интеллекта. – 2008. – № 2 (69). – С. 45 – 50. 7. Рудаков К.В. О структуре метрических технологий Data Mining / К.В. Рудаков, Г.В. Никитов // Искусственный интеллект. – 2002. – № 2. – С. 218 – 220. 8. Павлов Д.А. Модифицированный алгоритм классификации типа k -ближайших соседей / Д.А. Павлов, А.П. Серых // Фундаментальная и прикладная математика. – 2000. – Том 6. – № 2. – С. 533-548. 9. <http://www.isical.ac.in/~miu>

Статью представил д.ф.-м.н. доц., зав. кафедрой системного анализа и моделирования Института информатики и искусственного интеллекта ГВУЗ "ДонНТУ" Миненко А.С.

УДК 004.93'11

Спосіб визначення близькості об'єктів зважених навчаючих вибірок
/ Волченко О.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – № 38. – С. 38 – 45.

У роботі запропоновано метрику для визначення відстані між об'єктами навчаючих вибірок, що мають вагу. Виконано розширення алгоритму k -найближчих сусідів на зважені вибірки w -об'єктів з обчисленням відстані на основі запропонованої метрики. Проведено експериментальні дослідження, що підтвердили ефективність запропонованого підходу. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: w -об'єкт, алгоритм k -найближчих сусідів, метрика.

UDC 004.93'1

Method for determining the proximity of objects of weighted training samples
/ Volchenko E.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – №. 38. – P. 38 – 45.

In article the metrics for distance determination between the objects of weighted training samples is proposed. Expansion of k -nearest neighbors algorithm on the weighed samples of w -objects with distance calculation on the basis of the proposed metrics is done. Experimental results are confirmed the efficiency of the offered approach. Refs: 9 titles.

Key words: w -object, k -nearest neighbors algorithm, metric.

Поступила в редакцію 29.04.2012

В.Д. ДМИТРИЕНКО, д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ", Харьков,
Н.И. ЗАПОВСКИЙ, канд. техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",
Харьков,
Н.В. МЕЗЕНЦЕВ, ст. преп., НТУ "ХПИ", Харьков

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА С УЧЕТОМ РАБОТЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ В РЕЖИМЕ ШИМ

Рассматривается синтез оптимальных регуляторов для дизель-поезда с тяговым асинхронным приводом на основе метода аналитического конструирования регуляторов по критерию обобщенной работы. Разработана улучшенная математическая модель дизель-поезда, позволяющая проводить исследования с учетом применения в преобразователе частоты алгоритма широтно-импульсной модуляции. Ил.: 3. Библиогр.: 8 назв

Ключевые слова: оптимальные регуляторы, тяговый асинхронный привод, аналитическое конструирование регуляторов по критерию обобщенной работы, преобразователь частоты, широтно-импульсная модуляция.

Постановка проблемы и анализ литературы. Широкое применение тяговых электроприводов с асинхронным электродвигателем (ТАД) с короткозамкнутым ротором на дизель-поездах в Украине во многих случаях ограничивается отсутствием надежных и экономичных систем управления этими приводами. В связи с этим актуальными являются работы, направленные на разработку и модернизацию систем управления данными объектами с учетом применения современных методов теории оптимального управления. Математическая модель движения дизель-поезда с учетом некоторых допущений может быть представлена системой нелинейных дифференциальных уравнений высокого порядка. Для таких нелинейных объектов синтез оптимальных регуляторов можно осуществить с помощью ряда методов оптимального управления [1 – 3]. Известны работы, в которых выполнена адаптация метода аналитического конструирования регуляторов по критерию обобщенной работы (АКОР) для объектов с несколькими нелинейно входящими управляющими воздействиями [4 – 7]. На их основе предлагается выполнить синтез регуляторов для дизель-поезда с учетом специфики работы преобразователя частоты, а именно до скорости 35 км/ч на данном объекте используется режим широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Поэтому необходимо получить адекватную модель объекта управления, которая позволит выполнить синтез и провести исследования полученных регуляторов.

Целью статьи является синтез оптимальных регуляторов для дизель-поезда с тяговым асинхронным приводом с помощью метода АКОР с учетом работы преобразователя частоты в режиме ШИМ, а также уточнение известной математической модели дизель-поезда, которая позволит выполнить синтез регуляторов, а также провести их исследование.

Основной раздел. Рассмотрим синтез оптимальных регуляторов с использованием модификаций метода АКОР для дизель-поезда с тяговым асинхронным электроприводом. При этом в качестве одного из этапов движения рассмотрим этап разгона исследуемого объекта до скорости 35 км/ч (т.е. когда преобразователь частоты использует алгоритм ШИМ для управления ключами инвертора напряжения). При этом математическую модель эквивалентного асинхронного двигателя целесообразно описать в неподвижной прямоугольной системе координат в осях α , β [8], т.к. это позволит исследовать процессы, протекающие в двигателе, в мгновенных значениях. В этом случае движение дизель-поезда в режиме тяги описывается системой дифференциальных уравнений вида (1):

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} - k\Omega &= 0; \\ \frac{d\Omega}{dt} - \frac{p}{J} \left(\frac{6k_r}{\sigma L_s} (\Psi_{\alpha_2} \Psi_{\beta_1} - \Psi_{\alpha_1} \Psi_{\beta_2}) - M_c \right) &= 0; \\ \frac{d\Psi_{\alpha_1}}{dt} + \alpha'_s \Psi_{\alpha_1} - \alpha'_s k_r \Psi_{\alpha_2} &= U_B \mu \cos(\omega_s t); \\ \frac{d\Psi_{\beta_1}}{dt} + \alpha'_s \Psi_{\beta_1} - \alpha'_s k_r \Psi_{\beta_2} &= U_B \mu \sin(\omega_s t); \\ \frac{d\Psi_{\alpha_2}}{dt} + \alpha'_r \Psi_{\alpha_2} - \alpha'_r k_s \Psi_{\alpha_1} + \Omega \Psi_{\beta_2} &= 0; \\ \frac{d\Psi_{\beta_2}}{dt} + \alpha'_r \Psi_{\beta_2} - \alpha'_r k_s \Psi_{\beta_1} + \Omega \Psi_{\alpha_2} &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где S – путь, пройденный дизель-поездом; t – время; k – постоянный коэффициент для данного типа тягового асинхронного электропривода;

Ω – угловая скорость вращения ротора ТАД; p , $k_r = \frac{L_m}{L_r}$, L_m , L_s ,

$$\sigma = 1 - k_r k_s = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}, \quad L_r, \quad k_s = \frac{L_m}{L_s}, \quad a_s' = \frac{1}{\sigma T_s}, \quad T_s = \frac{L_s}{r_1}, \quad r_1, \quad a_r' = \frac{1}{\sigma T_r},$$

$$T_r = \frac{L_r}{r_2}, \quad r_2, \quad - \text{постоянные параметры и коэффициенты для данного типа}$$

тягового асинхронного электропривода; J – момент инерции двигателя и механизма, приведенный к валу двигателя; $\Psi_{\alpha 1}, \Psi_{\beta 1}, \Psi_{\alpha 2}, \Psi_{\beta 2}$ – соответственно проекции на оси α и β потокоцеплений обмоток статора и ротора; M_c – момент сопротивления движению.

Систему (1) удобно записать в более простом виде, введя обозначения: $x_1 = S$; $a_{12} = -k$; $x_2 = \Omega$; $a_{20} + a_{22}x_2 = M_c$;

$$a_{245} = -a_{236} = -\frac{6pk_r}{J\sigma L_s}; \quad x_3 = \Psi_{\alpha 1}; \quad a_{33} = a_{44} = a_s'; \quad a_{35} = a_{46} = -a_s' k_r;$$

$$x_5 = \Psi_{\alpha 2}; \quad u_1 = U_B; \quad u_2 = \mu; \quad u_3 = \omega_s; \quad x_4 = \Psi_{\beta 1}; \quad x_6 = \Psi_{\beta 2}; \quad a_{55} = a_{66} = a_r';$$

$a_{53} = a_{64} = -a_r' k_s$, где a_{20}, a_{22} – коэффициенты аппроксимации момента сопротивления движению M_c . В результате получим следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} + a_{12}x_2 &= 0; \\ \frac{dx_2}{dt} + a_{245}x_4x_5 + a_{236}x_3x_6 + a_{22}x_2 + a_{20} &= 0; \\ \frac{dx_3}{dt} + a_{33}x_3 + a_{35}x_5 &= u_1u_2\cos(u_3t); \\ \frac{dx_4}{dt} + a_{44}x_4 + a_{46}x_6 &= u_1u_2\sin(u_3t); \\ \frac{dx_5}{dt} + a_{55}x_5 + a_{53}x_3 + x_2x_6 &= 0; \\ \frac{dx_6}{dt} + a_{66}x_6 + a_{64}x_4 + x_2x_5 &= 0. \end{aligned} \tag{2}$$

Сформулируем задачу оптимального управления для рассматриваемого объекта (2): необходимо найти такие управляющие воздействия u_1, u_2, u_3 , которые бы обеспечивали перевод объекта управления из заданной точки в конечную точку с учетом минимизации функционала обобщенной работы [3 – 6]

$$J = V_{\kappa}(x_1(t_2), \dots, x_n(t_2), t_2) + \int_{t_1}^{t_2} Q(x_1, \dots, x_n, t) dt + \\ + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{u_j}{k_j} \right)^2 dt + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \int_{t_1}^{t_2} \left(k_j \sum_{l=1}^n \varphi_{lj} \frac{\partial V}{\partial x_l} \right)^2 dt.$$

Управления могут быть получены по выражениям (3) – (5).

$$u_1 = -k_1^2 \left[\frac{\partial V}{\partial x_3} u_2 \cos(u_3 t) + \frac{\partial V}{\partial x_4} u_2 \sin(u_3 t) \right]; \quad (3)$$

$$u_2 = -k_2^2 \left[\frac{\partial V}{\partial x_3} u_1 \cos(u_3 t) + \frac{\partial V}{\partial x_4} u_1 \sin(u_3 t) \right]; \quad (4)$$

$$u_3 = -\frac{k_3^2}{u_3} \left[\frac{\partial V}{\partial x_3} u_1 u_2 \cos(u_3 t) + \frac{\partial V}{\partial x_4} u_1 u_2 \sin(u_3 t) \right]. \quad (5)$$

Однако при этом необходимо задаться функциями Q и V_3 .

Удовлетворительные переходные процессы для объекта (2) в заданном режиме тяги можно получить, используя следующие функции Q и V_3 :

$$Q = \beta_0 + \beta_1 (a_{44} x_4 + a_{46} x_6)^2 + \beta_2 (x_{20} - x_2)^2 (a_{33} x_3 + a_{35} x_5)^2; \quad (6)$$

$$V_3 = \rho_1 (a_{33} x_3 + a_{35} x_5) + \rho_2 (a_{44} x_4 + a_{46} x_6) + \rho_3 (x_{20} - x_2) (a_{33} x_3 + a_{35} x_5)^2 + \\ + \rho_4 (a_{44} x_4 + a_{46} x_6)^2 + \rho_5 (x_{20} - x_2)^2 (a_{33} x_3 + a_{35} x_5)^2, \quad (7)$$

где $x_{20} = \Omega_2$ – заданная скорость, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \rho_1, \rho_2, \dots, \rho_5$ – постоянные коэффициенты.

При этом решение уравнения в частных производных целесообразно искать в следующем виде:

$$V = A_1 (a_{33} x_3 + a_{35} x_5) + A_2 (a_{44} x_4 + a_{46} x_6) + A_3 (x_{20} - x_2) (a_{33} x_3 + a_{35} x_5)^2 + \\ + A_4 (a_{44} x_4 + a_{46} x_6)^2 + A_5 (x_{20} - x_2)^2 (a_{33} x_3 + a_{35} x_5)^2 \quad (8)$$

из уравнения

$$\frac{\partial V}{\partial t} - \sum_{i=1}^n \frac{\partial V}{\partial x_i} f_i = -Q,$$

при граничном условии $V_{t=t_2} = V_k$, где f_i – левые части системы уравнения (2) без производных; $V_k = V_3$ – заданное значение функции V в конечный момент времени t_2 .

Подставляя соотношения (6), (8) в уравнение для нахождения функции V [3 – 6], несложно получить систему обыкновенных дифференциальных уравнений, для определения коэффициентов A_i ($i = \overline{1, 5}$):

$$\begin{aligned}\frac{dA_1}{dt} - a_{33}A_1 &= 0; \quad \frac{dA_2}{dt} - a_{44}A_2 = 0; \\ \frac{dA_3}{dt} - 2a_{33}A_3 - 2a_{20}A_5 &= 0; \\ \frac{dA_4}{dt} - 2a_{44}A_4 &= \beta_1; \\ \frac{dA_5}{dt} - 2a_{33}A_5 &= \beta_2.\end{aligned}$$

Данную систему целесообразно решить аналитически. В результате решения с учетом граничных условий получим следующие выражения:

$$\begin{aligned}A_1 &= \rho_1 e^{a_{33}(t-t_2)}; \\ A_2 &= \rho_2 e^{a_{44}(t-t_2)}; \\ A_3 &= \left[\rho_3 - \frac{a_{20}\beta_2}{2a_{33}^2} + a_{20} \left(2\rho_5 - \frac{\beta_2}{a_{33}} \right) (t_2 - t) \right] e^{2a_{33}(t-t_2)} + \frac{a_{20}\beta_2}{2a_{33}^2}; \\ A_4 &= \left[\rho_4 - \frac{\beta_1}{2a_{44}} \right] e^{2a_{44}(t-t_2)} + \frac{\beta_1}{2a_{44}}; \\ A_5 &= \left[\rho_5 - \frac{\beta_2}{2a_{33}} \right] e^{2a_{33}(t-t_2)} + \frac{\beta_2}{2a_{33}}.\end{aligned} \quad (9)$$

Подставив коэффициенты A_i ($i = \overline{1, 5}$), определяемые по соотношениям (9), в выражения (3) – (5) для определения управляющих воздействий, получим:

$$\begin{aligned}u_1 &= -k_1^2 \left[\frac{\partial V}{\partial x_3} u_2 \cos(u_3 t) + \frac{\partial V}{\partial x_4} u_2 \sin(u_3 t) \right] = -k_1^2 u_2 \left[(A_1 a_{33} + \right. \\ &+ 2A_3 a_{33} (x_{20} - x_2)(a_{33}x_3 + a_{35}x_5) + 2A_5 a_{33} (x_{20} - x_2)^2 (a_{33}x_3 + a_{35}x_5)) \cos(u_3 t) +\end{aligned}$$

$$+ (a_{44}A_2 + 2a_{44}A_4(a_{44}x_4 + a_{46}x_6))\sin(u_3t)]; \quad (10)$$

$$u_2 = -k_2^2 \left[\frac{\partial V}{\partial x_3} u_1 \cos(u_3t) + \frac{\partial V}{\partial x_4} u_1 \sin(u_3t) \right] = -k_2^2 u_1 [(A_1 a_{33} +$$

$$+ 2A_3 a_{33}(x_{20} - x_2)(a_{33}x_3 + a_{35}x_5) + 2A_5 a_{33}(x_{20} - x_2)^2(a_{33}x_3 + a_{35}x_5)) \cos(u_3t) +$$

$$+ (a_{44}A_2 + 2a_{44}A_4(a_{44}x_4 + a_{46}x_6))\sin(u_3t)]; \quad (11)$$

$$u_3 = -\frac{k_3^2}{u_3} \left[\frac{\partial V}{\partial x_3} u_1 u_2 \cos(u_3t) + \frac{\partial V}{\partial x_4} u_1 u_2 \sin(u_3t) \right] = -\frac{k_3^2}{u_3} u_1 u_2 [(A_1 a_{33} +$$

$$+ 2A_3 a_{33}(x_{20} - x_2)(a_{33}x_3 + a_{35}x_5) + 2A_5 a_{33}(x_{20} - x_2)^2(a_{33}x_3 + a_{35}x_5)) \cos(u_3t) +$$

$$+ (a_{44}A_2 + 2a_{44}A_4(a_{44}x_4 + a_{46}x_6))\sin(u_3t)]. \quad (12)$$

Метод АКОР не дает возможности однозначно определить коэффициенты $k = (k_1, k_2, k_3)$; $\beta = (\beta_1, \beta_2)$; $\rho = (\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_5)$. Поэтому целесообразно предложить алгоритм поиска этих коэффициентов. Учитывая затраты на реализацию алгоритма, поскольку в данном случае необходима постоянная оценка человеком полученных коэффициентов с точки зрения качества переходных процессов, применяется человеко-машинный метод поиска коэффициентов. Предлагается осуществить этот поиск с помощью эволюционного метода – генетических алгоритмов. В результате моделирования были найдены значения коэффициентов k , β , и ρ , которые позволяют получить приемлемые переходные процессы в синтезированной системе управления.

На рис. 1 приведены изменения во времени синтезированных управляющих воздействий u_1, u_2, u_3 при разгоне дизель-поезда без пассажиров до скорости 35 км/ч. Значения коэффициентов для "лучшей" хромосомы в этом случае следующие: $\rho_1 = 218.38$; $\rho_2 = 395.21$; $\rho_3 = 677.13$; $\rho_4 = 452.7$; $\rho_5 = -144.67$; $\beta_1 = 0.000025$; $\beta_2 = 0.098$; $k_1 = -0.73$; $k_2 = -0.4$; $k_3 = -0.03$.

На рис. 2 приведено изменение скорости V и пройденного пути S , полученные на обобщенной модели с синтезированным регулятором (V_1, S_1) и без него (V_2, S_2).

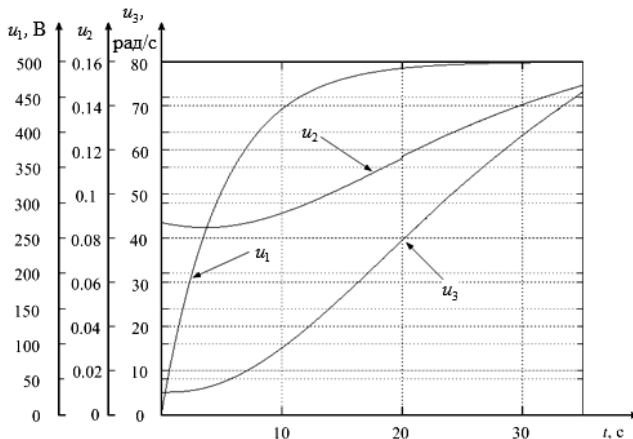


Рис. 1. Зависимости u_1 , u_2 , u_3 при разгоне дизель-поезда до 35 км/ч

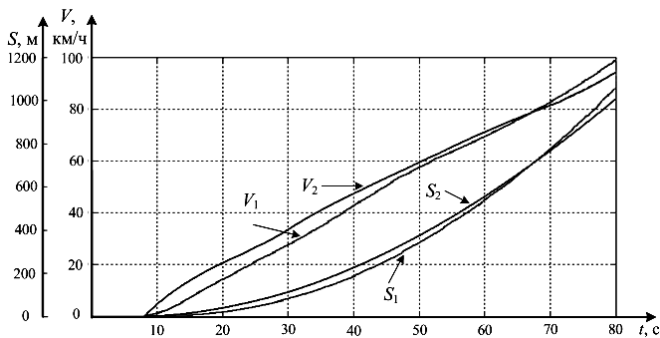


Рис. 2. Изменение скорости и пройденного пути с использованием регулятора (V_1 , S_1) и без него (V_2 , S_2).

На рис. 3 приведен расход топлива для случая разгона дизель-поезда с различной загрузкой (Q_3 – без пассажиров; Q_2 – заняты только места для сидения; Q_1 – максимальная загрузка). Данный расход получен на обобщенной модели с использованием синтезированного регулятора (Q_1 , Q_2 , Q_3) и без него (Q_1^* , Q_2^* , Q_3^*).

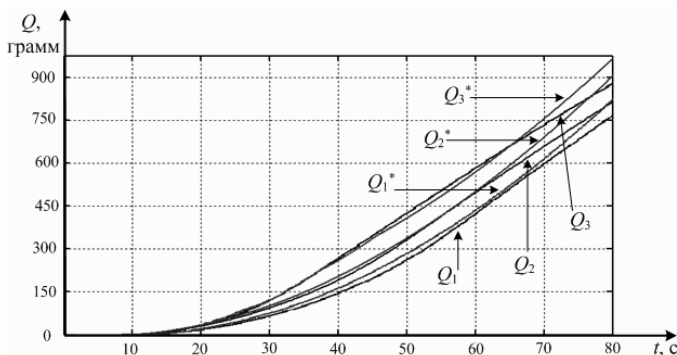


Рис. 3. Расход топлива при различной загрузке дизель-поезда

Как видно из рис. 3, применение регуляторов, синтезированных по методу АКОР, позволяет снизить расход в среднем на 9% при различной загрузке дизель-поезда.

Выводы. Таким образом, синтезированы оптимальные регуляторы для дизель-поезда с тяговым асинхронным приводом с помощью метода АКОР с учетом работы преобразователя частоты в режиме ШИМ, а также дополнена математическая модель дизель-поезда, для проведения исследований, связанных с работой объекта управления в этом режиме.

Список литературы: 1. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-ти томах. Т. 4: Теория оптимизации систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова и И.Д. Егунова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 744 с. 2. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и томах. Т. 5: Методы современной теории управления / Под ред. К.А. Пупкова, И.Д. Егунова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784 с. 3. Красовский А.А. Системы автоматического управления полетом и их аналитическое конструирование / А.А. Красовский. – М.: Наука, 1973. – 560 с. 4. Носков В.И. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов / В.И. Носков, В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский, С.Ю. Леонов. – Х.: ХФИ "Транспорт Украины", 2003. – 248 с. 5. Мезенцев Н.В. Новые модификации метода АКОР для случая нелинейного вхождения управлений / Н.В. Мезенцев // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2007. – № 39. – С. 119 – 124. 6. Дмитриенко В.Д. Синтез оптимальных регуляторов для дизель-поезда методом аналитического конструирования по критерию обобщенной работы / В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский, Н.В. Мезенцев // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 87 – 94. 7. Верлань А.Ф. Эволюционные методы компьютерного моделирования / А.Ф. Верлань, В.Д. Дмитриенко, Н.И. Корсунов, В.А. Шорох. – Киев: Наукова думка. – 1992. – 256 с. 8. Сандлер А.С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями / А.С. Сандлер, Р.С. Сарбатов. – М.: Энергия. – 1974. – 328 с

УДК 621.9.01

Синтез оптимальних регуляторів для дизель-поїзда з урахуванням роботи перетворювача частоти в режимі ШІМ / Дмитрієнко В.Д., Заполовський М.Й., Мезенцев М.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – № 38. – С. 46 – 54.

Розглядається проектування оптимальних регуляторів для дизель-поїзда з тяговим асинхронним приводом на основі методу аналітичного конструювання регуляторів за критерієм узагальненої роботи. Розроблена поліпшена математична модель дизель-поїзда, що дозволяє проводити дослідження з урахуванням застосування в перетворювачі частоти алгоритму широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Іл.: 3. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: оптимальні регулятори, тяговий асинхронний привід, аналітичне конструювання регуляторів за критерієм узагальненої роботи, перетворювач частоти, широтно-імпульсна модуляція.

UDC 621.9.01

Optimal controller synthesis for diesel train with the inverter operation in PWM mode / Dmitrienko V.D., Zapolovskyi N.I., Mezentssev N.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – № 38. – P. 46 – 54.

We consider the design of optimal controllers for diesel trains with traction induction motor drive based on the method of analytical design of regulators by the generalized work. Developed an improved mathematical model diesel train, allows the study, applying the algorithm to the inverter pulse-width modulation (PWM). Figs.: 3. Refs.: 8 titles.

Keywords: optimal controllers, asynchronous traction drive, the analytical construction of regulators by the criterion of the generalized work, inverter, pulse-width modulation.

Поступила в редакцію 10.05.2012

В.Д. ДМИТРИЕНКО, д-р техн. наук, проф., НТУ"ХПИ", Харьков,
В.И. НОСКОВ, д-р техн. наук, проф., НТУ"ХПИ", Харьков,
В.С. БЛИНДЮК, канд. техн. наук, проф., УкрГАЗТ, Харьков,
М.В. ЛИПЧАНСКИЙ, канд. техн. наук, доц., НТУ"ХПИ", Харьков,
А.О. НЕСТЕРЕНКО, асп., НТУ"ХПИ", Харьков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОЕЗДА

Решена задача линеаризации обратной связи по состоянию нелинейной математической модели электропоезда с тяговыми двигателями постоянного тока. На линейной математической модели электропоезда в форме Бруновского решены задачи оптимального управления при разгоне электропоезда. Ил.: 2. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: линеаризация обратной связи по состоянию, математическая модель электропоезда, задачи оптимального управления.

Постановка проблемы и анализ литературы. В настоящее время на железных дорогах Украины эксплуатируются электропоезда пригородного сообщения с двигателями постоянного тока, изготовленные свыше 20 – 25 лет назад. Процесс разгона таких электропоездов осуществляется с помощью системы на основе дополнительных резисторов, на которых выделяется существенное количество энергии. Несмотря на то, что имеются более совершенные системы управления тяговым приводом, установка таких систем на эксплуатируемый подвижной состав не целесообразна из-за высокой стоимости их модернизации. В то же время, по крайней мере, основная часть электропоездов будет эксплуатироваться ещё не менее 8 – 10 лет. В связи с этим возникает проблема совершенствования существующих законов управления электроприводом используемых электропоездов. Вопросами синтеза законов управления дополнительными резисторами занимались многие авторы [1], однако проблема до конца не решена. Это связано с тем, что не только полная модель электропоезда с двигателями постоянного тока слишком сложна для поиска оптимальных законов управления, но и максимально упрощенная модель, полученная на основе замены тягового электропривода одним эквивалентным двигателем постоянного тока с последовательным возбуждением (рис. 1) остается сложной для поиска оптимальных законов управления.

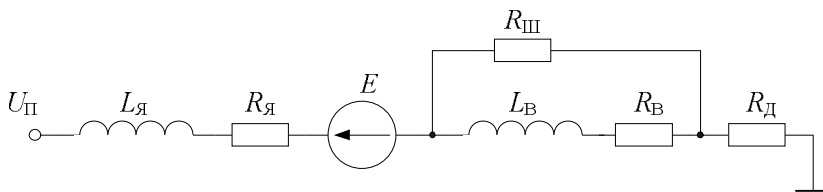


Рис. 1. Эквивалентная схема тягового электропривода электропоезда

На схеме приняты следующие обозначения: U_{Π} – напряжение питания эквивалентного двигателя; $L_{я}$, $R_{я}$, $L_{в}$, $R_{в}$ – соответственно индуктивности и активные сопротивления якорной цепи и обмотки возбуждения двигателя; E – электродвижущая сила якоря; $R_{ш}$, $R_{д}$ – активные сопротивления шунта и дополнительного резистора.

Используя эквивалентную схему тягового электропривода, математическую модель объекта управления можно записать в виде [1]:

$$\begin{aligned} \frac{di_{я}}{dt} &= \frac{1}{L_{я}} (U_{\Pi} - (R_{я} + R_{ш})i_{я} - R_{ш}i_{в} - C_E \gamma W n (1 - e^{\beta i_{я}}) - i_{я} R_{д}); \\ \frac{di_{в}}{dt} &= \frac{1}{L_{в}} (R_{ш}i_{я} - (R_{ш} + R_{в})i_{в}); \\ \frac{dn}{dt} &= \frac{\mu}{2\pi m R_K^2} (k_1 C_M i_{я} \gamma W (1 - e^{\beta i_{я}}) - \\ &\quad - j m g R_K k_2 (a_0 + a_1 \frac{2\pi n R_K}{\mu} + a_2 \frac{\pi^2 n^2 R_K^2}{\mu^2})), \end{aligned} \quad (1)$$

где $i_{я}$, $i_{в}$ – соответственно ток якорной обмотки и ток обмотки возбуждения; $L_{я}$, $L_{в}$ – соответственно индуктивности якорной обмотки и обмотки возбуждения; U_{Π} – напряжение питания эквивалентного двигателя; $R_{я}$, $R_{ш}$, $R_{д}$, $R_{в}$ – соответственно активные сопротивления якорной цепи, шунта, дополнительного резистора и обмотки возбуждения; C_E , γ , β , C_M , k_2 , a_0 , a_1 , a_2 – постоянные коэффициенты; W – число витков обмотки возбуждения; n – обороты электродвигателя; $\gamma(1 - e^{\beta i_{я}})$ – аналитическое описание кривой намагничивания; μ – передаточное отношение редуктора электродвигателя; m – масса электропоезда; R_K – радиус колеса колесной пары; k_1 – число двигателей электропоезда; j – коэффициент, учитывающий уклон железнодорожного пути, в общем случае зависит от участка пути; g – ускорение свободного падения.

Поскольку объект управления описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений третьего порядка, то аналитический синтез регулятора затруднен, хотя возможен, например, с помощью метода аналитического конструирования регуляторов по критерию обобщенной работы [2, 3]. Однако этот метод предполагает использование трудоемких итерационных процедур расчета матриц коэффициентов. Трудоемких вычислений требуют и другие методы [4, 5]. В связи с этим актуален поиск методов, решающих задачу оптимального управления тяговым электроприводом электропоезда с приемлемыми затратами машинного времени.

Целью статьи является разработка метода решения задач оптимального управления электропоездом на основе геометрической теории управления.

Геометрическая теория управления предполагает вначале переход с помощью средств дифференциальной геометрии в новое пространство, где математическая модель объекта управления остается эквивалентной исходной модели, но становится линейной. Затем синтез регулятора или законов управления для объекта, который описывается системой линейных обыкновенных дифференциальных уравнений, а потом – обратный переход в исходное пространство, где объект описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений [6, 7].

Запишем систему уравнений (1) привода электропоезда в режиме разгона в более удобной форме:

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= a_{10} + a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + a_{131}x_3e^{\beta x_1} + a_{11u}x_1u; \\ \frac{dx_2}{dt} &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2; \\ \frac{dx_3}{dt} &= a_{30} + a_{31}x_1 + a_{311}x_1e^{\beta x_1} + a_{33}x_3 + a_{333}x_3^2,\end{aligned}\tag{2}$$

где $x_1 = i_{\text{я}}$; $x_2 = i_{\text{в}}$; $x_3 = n$; a_{10} , a_{11} , a_{12} , ..., a_{33} , a_{333} – постоянные коэффициенты; $u = R_{\text{д}}$ – управление.

Необходимым и достаточным условием линеаризации обратной связью по состоянию [6, 7] в некоторой окрестности Ω начала координат математической модели нелинейного объекта управления, описываемого системой из n обыкновенных дифференциальных уравнений, является наличие в Ω матрицы управляемости $G = \begin{vmatrix} Y, L_X Y, \dots, L_X Y^{n-2}, L_X Y^{n-1} \end{vmatrix}$ ранга n ($\det G$ может обращаться в нуль в начале координат) и инволютивного множества $\{Y, L_X Y, \dots, L_X Y^{n-2}\}$, составленного из

первых $(n-1)$ столбцов матрицы G . Здесь X, Y – векторные поля, связанные с линеаризуемой системой дифференциальных уравнений; $L_X Y$ – производная Ли векторного поля Y вдоль векторного поля X ; $L_X^{n-2} Y, L_X^{n-1} Y$ – производные Ли $(n-2)$ -го и $(n-1)$ -го порядков поля Y вдоль векторного поля X [6, 7].

С системой дифференциальных уравнений (2) связаны векторные поля:

$$X(x) = \begin{pmatrix} a_{10} + a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + a_{131}x_3e^{\beta x_1} = f_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 = f_2 \\ a_{30} + a_{31}x_1 + a_{311}x_1e^{\beta x_1} + a_{33}x_3 + a_{333}x_3^2 = f_3 \end{pmatrix}; \quad (3)$$

$$Y(x) = \begin{pmatrix} a_{11u}x_1 = y_1 \\ 0 = y_2 \\ 0 = y_3 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где $x = (x_1, x_2, x_3)$.

Из условия линеаризации нелинейного объекта управления следует, что для линеаризации системы уравнений (2) обратной связью в пространстве "вход-состояние" необходимо, чтобы скобки Ли от двух первых столбцов матрицы управляемости $G = [Y, L_X Y, L_X^2 Y]$ были равны нулю при ранге матрицы управляемости, равном трем [6, 7].

Вычислим первую производную Ли:

$$\begin{aligned} L_X Y &= \frac{dY}{dx} X - \frac{dX}{dx} Y = \begin{pmatrix} \frac{\partial y_1}{\partial x_1} & \frac{\partial y_1}{\partial x_2} & \frac{\partial y_1}{\partial x_3} \\ \frac{\partial y_2}{\partial x_1} & \frac{\partial y_2}{\partial x_2} & \frac{\partial y_2}{\partial x_3} \\ \frac{\partial y_3}{\partial x_1} & \frac{\partial y_3}{\partial x_2} & \frac{\partial y_3}{\partial x_3} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \frac{\partial f_1}{\partial x_3} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_3} \\ \frac{\partial f_3}{\partial x_1} & \frac{\partial f_3}{\partial x_2} & \frac{\partial f_3}{\partial x_3} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} a_{11u} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} a_{11} + a_{131}\beta x_3 e^{\beta x_1} & a_{12} & a_{13} + a_{131}\beta e^{\beta x_1} \\ a_{21} & a_{22} & 0 \\ a_{31} + a_{311}e^{\beta x_1} + a_{311}\beta x_1 e^{\beta x_1} & 0 & a_{33} + 2a_{333}x_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} a_{11u}x_1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11u}(a_{10} + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + a_{131}x_3e^{\beta x_1} - a_{131}\beta x_1 x_3 e^{\beta x_1}) = \varphi_1 \\ -a_{11u}a_{21}x_1 = \varphi_2 \\ -a_{11u}x_1(a_{31} + a_{311}e^{\beta x_1} + a_{311}\beta x_1 e^{\beta x_1}) = \varphi_3 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

Зная первую производную Ли, можно вычислить скобки Ли $[Y, L_X Y]$ и ранг матрицы $D = [Y, L_X Y, [Y, L_X Y]]$. Непосредственная проверка показывает, что скобки Ли $[Y, L_X Y]$ не равны нулю, а ранг матрицы D равен трем. Отсюда следует, что условия линеаризации обратной связью системы управления (2) в пространстве "вход-состояние" не выполняются. Поэтому в канал управления необходимо вводить дополнительную переменную $x_4 = u$, а в систему уравнений (2) – дополнительное дифференциальное уравнение:

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= a_{10} + a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + a_{131}x_3e^{\beta x_1} + a_{11u}x_1x_4; \\ \frac{dx_2}{dt} &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2; \\ \frac{dx_3}{dt} &= a_{30} + a_{31}x_1 + a_{311}x_1e^{\beta x_1} + a_{33}x_3 + a_{333}x_3^2; \\ \frac{dx_4}{dt} &= v,\end{aligned}\tag{5}$$

где v – новое управление.

Непосредственные вычисления производных и скобок Ли, аналогичные вышеприведенным, показывают, что условия линеаризации системы нелинейных дифференциальных уравнений (5) не выполняются. Введение одной, двух или любого числа новых переменных (дифференциальных уравнений) в систему уравнений (5) не позволяет линеаризовать обратной связью систему уравнений (5) в пространстве "вход-состояние". Во многом это связано с тем, что в правые части уравнений (5) входят одночлены с $e^{\beta x_1}$, описывающие кривую намагничивания материала двигателя. Учитывая, что в процессе разгона электропоезда двигателя постоянного тока основное время работают в режиме насыщения магнитного потока, то кривую намагничивания можно приблизить двумя отрезками прямых: АВ и ВС (рис. 2), а при решении задачи оптимизации режима разгона электропоезда использовать только отрезок ВС. Сравнение переходных процессов при различных интенсивных режимах разгона электропоезда при использовании экспоненциального приближения кривой намагничивания и отрезка ВС, приближающего кривую намагничивания в режиме насыщения магнитного потока, показало их несущественное отличие.

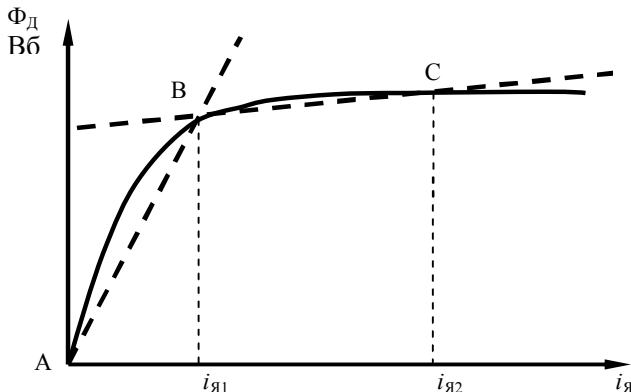


Рис. 2. Приближение кривой намагничивания электродвигателя постоянного тока

При упрощенном описании кривой намагничивания математическая модель (2) может быть записана в виде:

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= b_{10} + b_{11}x_1 + b_{12}x_2 + b_{13}x_3 + u_1; \\ \frac{dx_2}{dt} &= b_{21}x_1 + b_{22}x_2; \\ \frac{dx_3}{dt} &= b_{30} + b_{31}x_1 + b_{31}x_1 + b_{33}x_3 + b_{333}x_3^2,\end{aligned}\quad (6)$$

где $b_{10}, b_{11}, \dots, b_{333}$ – постоянные коэффициенты; $u_1 = a_{11u}x_3u$.

С системой дифференциальных уравнений (6) связаны векторные поля:

$$X_1 = \begin{vmatrix} b_{10} + b_{11}x_1 + b_{12}x_2 + b_{13}x_3 = g_1 \\ b_{21}x_1 + b_{22}x_2 = g_2 \\ b_{30} + b_{31}x_1 + b_{31}x_1 + b_{33}x_3 + b_{333}x_3^2 = g_3 \end{vmatrix}, \quad Y_1 = \begin{vmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}. \quad (7)$$

Для линеаризации системы уравнений (6) необходимо, чтобы скобки Ли от двух первых столбцов матрицы управляемости $G = \begin{vmatrix} Y_1, L_{X_1}Y_1, L_{X_1}^2Y_1 \end{vmatrix}$ были равны нулю при ранге матрицы управляемости, равном трем [6, 7]. Имеем:

$$L_{X_1}Y_1 = \frac{dY_1}{dx}X_1 - \frac{dX_1}{dx}Y_1 = -\frac{dX_1}{dx}Y_1 = \begin{vmatrix} -b_{11} \\ -b_{21} \\ -b_{31} \end{vmatrix};$$

$$L_{X_1}^2 Y_1 = L_{X_1}(L_{X_1} Y_1) = \frac{d(L_{X_1} Y_1)}{dx} X_1 - \frac{dX_1}{dx} L_{X_1} Y_1 = -\frac{dX_1}{dx} L_{X_1} Y_1 =$$

$$= - \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & 0 \\ b_{31} & 0 & b_{33} + 2b_{333}x_3 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} -b_{11} \\ -b_{21} \\ -b_{31} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} b_{11}^2 + b_{12}b_{21} + b_{13}b_{31} \\ b_{21}b_{11} + b_{22}b_{21} \\ b_{31}b_{11} + b_{31}(b_{33} + 2b_{333}x_3) \end{vmatrix},$$

где $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3)$.

Непосредственная проверка ранга матрицы управляемости показывает, что он равен трем, а скобки Ли $[Y_1, L_{X_1} Y_1]$ равны нулю, поскольку первые два столбца матрицы $\mathbf{G}$ являются постоянными. Таким образом, выполняются необходимые и достаточные условия для преобразования системы уравнений (6) к линейному виду в формуле Бруновского [6, 7]:

$$\frac{dz_1}{dt} = z_2; \quad \frac{dz_2}{dt} = z_3; \quad \frac{dz_3}{dt} = v, \quad (8)$$

где z_1, z_2, z_3, v – переменные и управление в пространстве «вход – состояние».

В этом случае существуют функции $T_i(x_1, x_2, x_3)$, $i = \overline{1, 3}$, с помощью которых осуществляется переход от переменных x_i к переменным $z_i (i = \overline{1, 3})$:

$$z_i = T_i(x_1, x_2, x_3), \quad i = \overline{1, 3}. \quad (9)$$

Подставляя выражения (9) в систему уравнений (8), получим:

$$\frac{dz_1}{dt} = \frac{dT_1(\mathbf{x})}{d\mathbf{x}} \frac{d\mathbf{x}}{dt} = \frac{dT_1(\mathbf{x})}{d\mathbf{x}} (\mathbf{g}(g_1, g_2, g_3) + Y_1 u_1) = T_2(\mathbf{x}); \quad (10)$$

$$\frac{dz_2}{dt} = \frac{dT_2(\mathbf{x})}{d\mathbf{x}} \frac{d\mathbf{x}}{dt} = \frac{dT_2(\mathbf{x})}{d\mathbf{x}} (\mathbf{g}(g_1, g_2, g_3) + Y_1 u_1) = T_3(\mathbf{x}); \quad (11)$$

$$\frac{dz_3}{dt} = \frac{dT_3(\mathbf{x})}{d\mathbf{x}} \frac{d\mathbf{x}}{dt} = \frac{dT_3(\mathbf{x})}{d\mathbf{x}} (\mathbf{g}(g_1, g_2, g_3) + Y_1 u_1) = v. \quad (12)$$

По теореме о линеаризации обратной связью по состоянию для функции T_1 должны выполняться соотношения [6, 7]:

$$\nabla T_1(\mathbf{x}) ad_g^0 Y_1 = \nabla T_1(\mathbf{x}) Y_1 = 0; \quad (13)$$

$$\nabla T_1(\mathbf{x}) ad_g \mathbf{Y}_1 = 0 ; \quad (14)$$

$$\nabla T_1(\mathbf{x}) ad_g^2 \mathbf{Y}_1 \neq 0 , \quad (15)$$

где $\nabla T_1(\mathbf{x}) = \left(\frac{\partial T_1}{\partial x_1}, \frac{\partial T_1}{\partial x_2}, \frac{\partial T_1}{\partial x_3} \right)$; $ad_g^0 \mathbf{Y}_1$ – скобки Ли нулевого порядка, равные самой функции $\mathbf{Y}_1$.

Из соотношений (13), (14) с учетом значений столбцов матрицы управляемости $\mathbf{G}$ имеем:

$$\nabla T_1(\mathbf{x}) \mathbf{Y}_1 = \begin{vmatrix} \frac{\partial T_1}{\partial x_1} & \frac{\partial T_1}{\partial x_2} & \frac{\partial T_1}{\partial x_3} \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} = \frac{\partial T_1}{\partial x_1} = 0 ; \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \nabla T_1(\mathbf{x}) ad_g \mathbf{Y}_1 &= \begin{vmatrix} \frac{\partial T_1}{\partial x_1} & \frac{\partial T_1}{\partial x_2} & \frac{\partial T_1}{\partial x_3} \\ -b_{11} \\ -b_{21} \\ -b_{31} \end{vmatrix} = \\ &= -b_{11} \frac{\partial T_1}{\partial x_1} - b_{21} \frac{\partial T_1}{\partial x_2} - b_{31} \frac{\partial T_1}{\partial x_3} = 0. \end{aligned} \quad (17)$$

Из выражения (16) следует, что функция T_1 не зависит от переменной x_1 , поэтому уравнение в частных производных (17) можно записать в виде:

$$b_{21} \frac{\partial T_1}{\partial x_2} + b_{31} \frac{\partial T_1}{\partial x_3} = 0 . \quad (18)$$

Одним из возможных решений уравнения (18) является следующее:

$$T_1 = x_3 - \frac{b_{31}}{b_{21}} x_2 . \quad (19)$$

Проверим возможность использования этого решения. Вначале убедимся, что выполняется неравенство (15) при решении (19):

$$\begin{aligned} \nabla T_1(\mathbf{x}) ad_g^2 \mathbf{Y}_1 &= \begin{vmatrix} \frac{\partial T_1}{\partial x_2} & \frac{\partial T_1}{\partial x_3} \\ b_{11}^2 + b_{21}b_{12} + b_{13}b_{31} \\ b_{11}b_{21} + b_{21}b_{22} \\ b_{11}b_{31} + b_{31}(b_{33} + 2b_{333}x_3) \end{vmatrix} = \\ &= -b_{31}b_{22} + b_{31}(b_{33} + 2b_{333}x_3) \neq 0 . \end{aligned}$$

Таким образом, неравенство (15) выполняется.

Зная T_1 , несложно определить функции $T_2(\mathbf{x})$ и $T_3(\mathbf{x})$:

$$\begin{aligned} z_2 = T_2(\mathbf{x}) &= L_g T_1(\mathbf{x}) = \nabla T_1(\mathbf{x}) \mathbf{g}(\mathbf{x}) = \begin{vmatrix} 0 & -\frac{b_{21}}{b_{31}} & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \end{vmatrix} = \\ &= b_{30} - \frac{b_{31}b_{22}}{b_{21}} x_2 + b_{33}x_3 + b_{333}x_3^2; \\ z_3 = T_3(\mathbf{x}) &= L_g T_2(\mathbf{x}) = \nabla T_2(\mathbf{x}) \mathbf{g}(\mathbf{x}) = \begin{vmatrix} 0 & \frac{\partial T_2}{\partial x_2} & \frac{\partial T_2}{\partial x_3} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \end{vmatrix} = \\ &= -\frac{b_{31}b_{22}}{b_{21}}(b_{21}x_1 + b_{22}x_2) + (b_{33} + 2b_{333}x_3)(b_{30} + b_{31}x_1 + b_{33}x_3 + b_{333}x_3^2). \end{aligned}$$

Для определения взаимосвязи между управлениями в исходной системе уравнений (6) и в системе уравнений в форме Бруновского (8) воспользуемся последним уравнение из системы (8)

$$\frac{dz_3}{dt} = v.$$

или, так как $z_3 = T_3$, то:

$$\frac{dz_3}{dt} = \frac{dT_3}{dt} = \frac{dT_3}{d\mathbf{x}} \frac{d\mathbf{x}}{dt} = \frac{dT_3}{d\mathbf{x}} (\mathbf{g} + \mathbf{Y}_1 u_1) = \frac{dT_3}{d\mathbf{x}} \mathbf{g} + \frac{dT_3}{d\mathbf{x}} \mathbf{Y}_1 u_1 = v. \quad (20)$$

Поскольку

$$\frac{dT_3}{d\mathbf{x}} = \mathbf{L}_g^3 T_1 \text{ и } \frac{dT_3}{d\mathbf{x}} \mathbf{Y}_1 = \mathbf{L}_{Y_1} \mathbf{L}_g^2 T_1, \quad (21)$$

то из (20) следует:

$$u_1 = \frac{v - \mathbf{L}_g^3 T_1}{\mathbf{L}_{Y_1} \mathbf{L}_g^2 T_1},$$

то есть взаимосвязь между управлениями в разных моделях определена.

Синтез оптимальных управлений электропоездом с помощью системы управления в форме Бруновского и принципа максимума Понтрягина. Оптимизация процессов перевозки пассажиров электропоездами является одной из важных задач железнодорожного транспорта пригородного сообщения. В зависимости от специфических особенностей, предъявляемых к перевозке пассажиров, движению

электропоездов, состояния пути и положения других составов могут быть сформулированы различные задачи оптимального управления электроприводом электропоезда. Несмотря на большое число таких задач, большинство из них может быть сведено к решению задач управления при минимизации или максимизации некоторого функционала. Наиболее часто в теории управления решается задача минимизации времени перевода объекта из одной точки фазового пространства в другую или, другими словами, задача максимального быстродействия. Эта задача важна и при управлении разгоном электропоезда, особенно в тех случаях, когда график движения составов весьма напряжен.

Решение задачи максимального быстродействия. Поскольку в форме Бруновского математическая модель объекта управления содержит всего три линейных дифференциальных уравнения, то задачу максимального быстродействия можно решить с помощью принципа максимума Понтрягина.

Сформулируем вначале задачу максимального быстродействия как задачу достижения максимальной скорости за минимальное время при управлении добавочным сопротивлением R_d . В исходной системе уравнений (1), обороты эквивалентного электродвигателя, а, следовательно, и скорость движения электропоезда, определяется в результате интегрирования третьего дифференциального уравнения. В системе уравнений в форме Бруновского (8) переменной, прямо соответствующей скорости движения электропоезда нет. Однако переменная z_1 определяется соотношением (19):

$$z_1 = x_3 - \frac{b_{31}}{b_{21}} x_2, \quad (22)$$

где x_3 – обороты электродвигателя, пропорциональные скорости V движения электропоезда:

$$V = \frac{2\pi x_3}{\mu} R_K;$$

μ – передаточное отношение редуктора электродвигателя; R_K – радиус колеса колесной пары; b_{31} , b_{21} – постоянные коэффициенты; x_2 – ток возбуждения.

В процессе разгона электропоезда ток возбуждения меняется не более чем на 20%, поэтому в первом приближении можно полагать, что переменная z_1 в системе уравнений в форме Бруновского моделирует скорость движения состава. Поэтому при решении задачи максимального

быстродействия необходимо достичь максимальной скорости $V_{\max}$ за минимальное время при управлении сопротивлением $R_{\text{д}}$.

Из вида системы дифференциальных уравнений (8) в форме Бруновского и необходимости достижения максимального значения переменной z_1 следует, что управление v в начальный момент движения должно принимать максимальное значение и оставаться таким до конца интервала управления, однако максимальное значение управления v (или минимальное значение сопротивления $R_{\text{д}}$) зависит от тока якоря, поэтому в каждый момент процесса разгона величина управления (величина сопротивления $R_{\text{д}}$) определяется соотношением:

$$v = v_{\max}(R_{\text{я}})$$

или

$$R_{\text{д}} = R_{\text{дmin}}(R_{\text{я}}),$$

где $v_{\max}(R_{\text{я}})$ – максимально возможное управление при заданном значении тока якоря; $R_{\text{дmin}}(R_{\text{я}})$ – минимально возможное значение сопротивления при заданном значении тока якоря.

Таким образом, решение задачи максимального быстродействия в этом случае тривиально и определяется в каждый момент времени предельно большим управлением v (или предельно малым значением сопротивления $R_{\text{д}}$).

Решение задачи разгона электропоезда при ограничениях на расход управления и переходные динамические процессы. Система уравнений в форме Бруновского в этой задаче имеет вид:

$$\frac{dz_1}{dt} = z_2; \quad \frac{dz_2}{dt} = z_3; \quad \frac{dz_3}{dt} = v.$$

Требуется определить управление v , на которое наложено ограничение $v_{\min} \leq v \leq v_{\max}$, минимизирующее функционал

$$J = \int_{t_0}^{t_1} (1 + b_0(z_{30} - z_3(t))^2 + b_1 v^2) dt, \quad (23)$$

где b_0, b_1, z_{30} – константы,

при разгоне электропоезда из начального состояния $z_j = 0, \quad j = \overline{1, 3}$ в конечное состояние, в котором $z_1 = z_{1\max}(t_1)$, а на переменные z_2 и z_3 ограничения не заданы.

Основные соотношения принципа максимума для объекта управления (8) и функционала (23) и имеют вид [1, 3, 5]:

$$H(z_j(t), \Psi_j(t), v) = \Psi_1 z_2 + \Psi_2 z_3 + \Psi_3 v + \Psi_0 [1 + b_0(z_{30} - z_3(t))^2 + b_1 v^2], j = \overline{0, 3}; \quad (24)$$

$$H(z_j(t), \Psi_j(t), v) = \max_{v \in G} (H(z_j(t), \Psi_j(t), v)), j = \overline{0, 3}; \quad (25)$$

$$\frac{dz_j}{dt} = \frac{\partial H}{\partial \Psi_j}; z_j(t_0) = 0, j = \overline{0, 3}; \quad (26)$$

$$\frac{d\Psi_j}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial z_j}; \Psi_j(t_1) = \Psi_{j1}, j = \overline{0, 3}; \quad (27)$$

где G – область допустимых управлений, задаваемая интервалом $[v_{\min}, v_{\max}]$; $z_j(t_0)$, $j = \overline{0, 3}$ – значения фазовых координат в начальный момент времени; $\Psi_j(t_1)$, $j = \overline{0, 3}$ – значения сопряженных переменных в конечный момент интервала управления.

Если управление v не принимает своих граничных значений $v_{\min}, v_{\max}$ и находится внутри интервала управления $[v_{\min}, v_{\max}]$, тогда справедливы выражения:

$$\Phi = \frac{\partial H}{\partial v} = \Psi_3 + 2b_1 v \Psi_0 = 0;$$

$$\Psi_3 = -2b_1 v \Psi_0.$$

Из теории принципа максимума [3, 5, 7] известно, что для нормальных вариационных задач, к которым относится и решаемая задача, сопряженные переменные определяются с точностью до произвольного постоянного множителя и обычно принимают, что $\Psi_0 = -1$. Кроме того, для рассматриваемой задачи справедливо соотношение:

$$H = \max_{v \in G} H(z_j, \Psi_j, v) = \text{const} = 0. \quad (28)$$

Двух интервалов Φ и H уравнений движения не достаточно для исключения всех сопряженных переменных, однако с их помощью и с помощью скобок Пуассона $[H, \Phi]_n$ можно получить третий интеграл движения [8]:

$$[H, \Phi]_n = \sum_{j=1}^3 \left(\frac{\partial H}{\partial z_j} \frac{\partial \Phi}{\partial \Psi_j} - \frac{\partial H}{\partial \Psi_j} \frac{\partial \Phi}{\partial z_j} \right) = 0. \quad (29)$$

Так как функция Φ не зависит от z_j ($j = \overline{1, 3}$) и зависит только от Ψ_3 , то в сумме (29) только одно слагаемое из шести не равно нулю:

$$[H, \Phi]_n = \frac{\partial H}{\partial z_3} \frac{\partial \Phi}{\partial \Psi_3} = [\Psi_2 + 2b_0(z_{30} - z_3(t))] \cdot 1.$$

Поскольку из выражения (29) скобки Пуассона равны нулю, то имеем:

$$\Psi_2 = -2b_0(z_{30} - z_3(t)). \quad (30)$$

Сопряженные переменные могут быть получены и другим способом – из уравнений (27):

$$\frac{d\Psi_1}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial z_1} = 0 \text{ и } \Psi_1 = \text{const} = C_1; \quad (31)$$

$$\frac{d\Psi_2}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial z_2} = -\Psi_1 \text{ и } \Psi_2 = -C_1 t + C_2; \quad (32)$$

$$\frac{d\Psi_3}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial z_3} = -\Psi_2 + 2b_0\Psi_0(z_{30} - z_3(t)). \quad (33)$$

Из соотношений (30) и (32) следует, что

$$-2b_0 z_{30} + 2b_0 z_3(t) = C_2 - C_1 t.$$

Приравнявая свободные члены и члены, зависящие от времени, получим:

$$C_2 = -2b_0 z_{30};$$

$$C_1 = -2b_0 \frac{z_1(t)}{t}.$$

Поскольку C_1 – константа, то это возможно только при $z_1(t) = k_1 t$, поэтому имеем $C_1 = -2b_0 k_1 = \Psi_1$.

Зная Ψ_j ($j = \overline{0, 3}$) из (24) и (28) можно определить управление v :

$$-2b_0 k_1 z_2 - 2b_0(z_{30} - z_3(t))z_3 + 2b_1 v^2 - [1 + b_0(z_{30} - z_3(t))^2 + b_1 v^2] = 0$$

или

$$v^2 = \frac{1}{b_1} [2b_0 k_1 z_2 + 2b_0 (z_{30} - z_3(t)) z_3 + 1 + b_0 (z_{30} - z_3(t))^2] .$$

Отсюда получаем:

$$v = \sqrt{\frac{1}{b_1} + \frac{2b_0}{b_1} k_1 z_2 + \frac{2b_0}{b_1} (z_{30} - z_3(t)) z_3 + \frac{b_0}{b_1} (z_{30} - z_3(t))^2} . \quad (34)$$

Поскольку значение подкоренного выражения в (34) может превышать $v_{\max}^2$, то соотношение (34) необходимо уточнить:

$$v = \begin{cases} \sqrt{D}, & \text{если } \sqrt{D} \leq v_{\max}; \\ v_{\max}, & \text{если } \sqrt{D} > v_{\max}, \end{cases}$$

где $D = \frac{1}{b_1} + \frac{2b_0}{b_1} k_1 z_2 + \frac{2b_0}{b_1} (z_{30} - z_3(t)) z_3 + \frac{b_0}{b_1} (z_{30} - z_3(t))^2 .$

Если $\sqrt{D} \geq v_{\max}$ во всем интервале управления, то решение рассматриваемой задачи не отличается от задачи максимального быстродействия.

При $b_0 = 0$ получаем, что $D = \frac{1}{b_1}$, то есть, в этом случае, закон управления совпадает с законом управления при решении задачи максимального быстродействия при ограничениях на расход управления.

Выводы: таким образом, средствами геометрической теории управления впервые получена линейная модель электропривода электропоезда с двигателями постоянного тока, эквивалентная нелинейной модели привода. Показано, что с ее помощью можно решать задачи оптимального управления движением электропоезда.

Список литературы: 1. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов / В.И. Носков, В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский, С.Ю. Леонов. – Харьков: ХФИ "Транспорт Украины", 2003. – 248 с. 2. Красовский А.А., Буков В.И., Шендрик В.С. Универсальные алгоритмы оптимального управления непрерывными процессами. – М.: Наука, 1977. – 272 с. 3. Справочник по теории автоматического управления / Под редакцией А.А. Красовского. – М.: Наука. 1987. – 712 с. 4. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник в 5-ти томах. Т.5: Методы современной теории управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егунова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 784 с. 5. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник в 5-ти томах. Т.4: Теория оптимизации систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егунова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 744 с. 6. Краснощеченко В.И., Грищенко А.П. Нелинейные системы: геометрический метод анализа и синтеза. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 520 с. 7. Ким Д.П. Теория автоматического управления: учебное пособие в 2-х томах. Т.2: Многомерные, нелинейные,

оптимальные и адаптивные системы. – М.: Физматлит, 2004. – 464 с. 8. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теоретическая физика. В 10 томах. Т.1. Механика. – М.: Наука, 1988. – 215 с.

УДК 629.42

Визначення оптимальних законів керування процесами руху електропоїзда / Дмитрієнко В.Д., Носков В.І, Блиндюк В.С., Ліпчанський М.В., Нестеренко А.О. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2012. – № 38. – С. 55 – 69.

Вирішено задачу лінеаризації зворотнім зв'язком за станом нелінійної математичної моделі електропоїзда з тяговими двигунами постійного струму. На лінійній математичній моделі електропоїзда у формі Бруновського вирішені задачі оптимального керування при розгоні електропоїзда. Іл.: 2. Бібліогр.: 8.

Ключові слова: лінеаризація зворотним зв'язком за станом, математична модель електропоїзда, задачі оптимального керування.

UDC 629.42

Determination of the optimal control's laws of the electric train movement processes / Dmitrienko V.D., Noskov V.I., Blindyuk V.S., Lipchansky M.V., Nesterenko A.O. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – № 38. – P. 55 – 69.

The problem of the feedback linearization by the state of the electric trains's nonlinear mathematical model with DC traction motors is solved. The problems of the optimal control during the acceleration of the electric train are solved on the linear mathematical model in the Brunovsky form. Figs.: 2. Refs.: 8.

Keywords: feedback linearization by the state, the mathematical model of the electric train, optimal control problems.

Поступила в редакцію 09.06.2012

С.А ЗАЙЦЕВ, асп., ЗНТУ, Запорожье,

С.А. СУББОТИН, канд. техн. наук, доц., ЗНТУ, Запорожье

МОДЕЛЬ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ОТБОРА С МАСКИРОВАНИЕМ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ С ВЕЩЕСТВЕННЫМ ПРЕДСТАВЛЕНИЕМ ПРИЗНАКОВ

Решена актуальная задача автоматизации диагностирования объектов и систем, описанных вещественными признаками. Получил дальнейшее развитие метод обучения модели отрицательного отбора с маскированием, который модифицирован для работы с вещественным представлением детекторов. Решена задача неразрушающего диагностирования лопаток газотурбинных авиадвигателей. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: диагностирование, вещественные признаки, отрицательный отбор, маскирование, детектор.

Постановка проблемы и анализ литературы. Техническое диагностирование помимо принятия решения о состоянии диагностируемого объекта или системы предполагает необходимость извлечения и интерпретации знаний, полученных диагностической моделью в процессе обучения. Благодаря простоте представления и организации логического вывода, наиболее удобной формой представления знаний для человека являются продукционные правила вида "если-то" [1].

Модели, основанные на принципе отрицательного отбора в искусственных иммунных системах, позволяют осуществлять диагностирование объектов, однако отличаются высокой сложностью извлечения знаний и низкой интерпретируемостью результатов обучения модели [2, 3].

Решением, лишенным описанных выше недостатков, может быть предложенная авторами модель отрицательного отбора с маскированием [4]. Модель способна обучаться на экземплярах одного класса, характеризуется прозрачностью процесса обучения, устойчива в задачах большой размерности и способна представлять знания в виде продукционных правил. Однако данная модель предназначена для диагностирования объектов, описанных только бинарными (или дискретными) признаками. На практике оказывается, что значительная часть диагностируемых объектов и систем представлена векторами вещественных чисел.

Цель данной работы заключается в модификации модели отрицательного отбора с маскированием и разработке метода ее обучения для работы с вещественными признаками.

Постановка задачи. В пространстве признаков U размерностью n задана обучающая выборка S' . Известно, что каждый экземпляр $x \in U$ можно отнести к классу "своих" (годных) или "чужих" (дефектных). Множества S и N , содержащие "свой" и "чужие" экземпляры соответственно, комплементарны: $S \cap N = \emptyset$, $S \cup N = U$. Необходимо построить на основе обучающей выборки $S' \subset S$ диагностическую модель, описанную набором детекторов D , чтобы на основании этого набора любой экземпляр $x \in U$ можно было однозначно отнести к классу "своих" или "чужих".

Отрицательный отбор. Модель отрицательного отбора, как правило, представляется в виде набора детекторов D . Детектором называют объект, способный определить, принадлежит ли неизвестный экземпляр к "чужому" классу или нет. Для этого к экземпляру x и детектору d применяется правило сопоставления $match(d, x)$, которое возвращает значение "1", если детектор активизировался при сопоставлении с экземпляром x , и "0" – в противном случае. В процессе обучения в модель добавляются толерантные к своим экземплярам детекторы: $\forall s \in S, match(d, s) = 0$.

Поскольку модель отрицательного отбора решает задачу двухклассовой классификации (каждый экземпляр может быть отнесен ко множеству S или N), и $S \cap N = \emptyset$, $S \cup N = U$, то это предполагает, что детекторы будут реагировать на "чужие" экземпляры $ns \in N$.

Первый метод обучения такой модели был описан в [5] и состоял из следующих этапов.

1. Этап генерации детекторов. На этом этапе случайным образом формируется набор кандидатов в детекторы C , как правило, превышающий по объему число экземпляров в обучающей выборке: $|C| > |S'|$.

2. Цензурирование. На данном этапе каждый кандидат в детекторы $c \in C$ сопоставляется с каждым "своим" экземпляром из обучающей выборки $s \in S'$. Если кандидат активизировался (значение правила сопоставления стало равным "1"), то он уничтожается, поскольку не может обеспечить толерантность модели к "своим" экземплярам. Все

оставшиеся кандидаты формируют набор детекторов D , который может быть использован для обнаружения "чужих" экземпляров.

Несмотря на очевидную ресурсоемкость данного метода, он получил дальнейшее развитие, которое заключалось в разработке более оптимальных методов генерации набора детекторов (жадного метода, метода генерации детекторов за линейное время [6]).

Маскирование бинарных детекторов. Основная идея модели отрицательного отбора с маскированием заключается в том, что часть признаков содержат замаскированные значения, т.е. во время применения правила сопоставления значения таких признаков у экземпляра игнорируются. Незамаскированными, как правило, остаются наиболее информативные признаки.

Для обучения модели отрицательного отбора с использованием маскирования детекторов предлагается применять описанный ниже метод.

1. Установить номер итерации: $I = 0$. Положить число детекторов, подвергнутых цензурированию: $N_c = 0$. Задать: $D = \emptyset$.

2. Сформировать замаскированный детектор $d = \{d_i\}$, где d_i – значение маски для n -го разряда. Для этого всем битам строки, описывающей детектор d , необходимо установить значение: $\forall n: d_i = Z$, где Z – символ маски. Увеличить номер итерации: $I = I + 1$.

3. Если $\exists s \in S: match(d, s) = 1$, тогда перейти к этапу 3, в противном случае – к этапу 6.

4. Выбрать произвольным образом бит d_i , $i = 1, \dots, l$, $d_i = Z$. Если такого бита не существует, тогда установить $N_c = N_c + 1$ и перейти к этапу 2, в противном случае – перейти к этапу 5.

5. Установить значение i -го бита детектора: $d_i = \neg s_i$. Перейти к этапу 3.

6. Добавить детектор d в набор детекторов: $D = D \cup \{d\}$. Если выполняется критерий останова (который может быть основан на значениях N_c и I), тогда перейти к этапу 7, в противном случае – перейти к этапу 2.

7. Останов.

Важно отметить, что обучение детектора является "жадным" по своей природе. Поэтому для нахождения оптимального набора детекторов рекомендуется во время обучения отбирать "свои" экземпляры в случайном порядке.

Модификация метода для работы с вещественным представлением детекторов. Основная идея предлагаемого метода заключается в том, что детектору соответствует не точка в пространстве признаков, а гиперкуб максимально возможного объема.

Пусть дана обучающая выборка S' . Перед обучением модели необходимо установить значения коэффициента α , который определяет значение допуска при классификации детектора, и минимально допустимое значение порога g_{min} , который определяет способность модели к обобщению. Оба коэффициента должны принимать значения в диапазоне $(0,1]$.

Для данной модели рекомендуется использовать следующую метрику:

$$match(d, s) = \begin{cases} 1, & \sum_{i=1}^n \{ | d_{min}^i < s_i \wedge d_{max}^i > s_i \} = n; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Метод обучения модели отрицательного отбора с маскированием в случае использования вещественных признаков включает в себя следующие этапы.

1. Установить: $D = \emptyset$.

2. Сформировать кандидата в детекторы $d = \langle d_{min}, d_{max} \rangle$, $d_{min} = \{s_{min}^1, s_{min}^2, \dots, s_{min}^n\}$, $d_{max} = \{s_{max}^1, s_{max}^2, \dots, s_{max}^n\}$, где s_{min}^i и s_{max}^i – минимальное и максимальное значения i -го признака среди экземпляров выборки соответственно, $i = 1, \dots, n$.

3. Для каждого экземпляра $s \in S'$ выполнять подэтапы 3.1 – 3.4.

3.1. Если $match(d, s) = 1$, тогда перейти к подэтапу 3.2, в противном случае – взять следующий экземпляр и перейти к подэтапу 3.4.

3.2. Найти такой i -ый признак, чтобы $d_{min}^i < s_i$ и $d_{max}^i > s_i$.

3.3. Если $rand > 0,5$, где $rand$ – функция, возвращающая случайное число из диапазона $(0,1]$, тогда принять: $d_{min}^i = s_i + \alpha(s_{max}^i - s_{min}^i)$, в противном случае – принять: $d_{max}^i = s_i - \alpha(s_{max}^i - s_{min}^i)$.

3.4. Если $match(d, s) = 0$, тогда перейти к подэтапу 3.5, в противном случае – перейти к подэтапу 3.2.

- 3.5. Выбрать следующий экземпляр $s \in S'$ и перейти к подэтапу 3.1.
4. Оценить способность детектора к обобщению:

$$g(d) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_{max}^i - d_{min}^i}{s_{max}^i - s_{min}^i}}{n}.$$

5. Если $g(d) > g_{min}$, тогда добавить детектор в набор: $D = D \cup \{d\}$.

В результате обучения будет сформирован набор детекторов, описывающих пространство, комплементарное к пространству "своих" экземпляров, при этом все детекторы обладают требуемой способностью к обобщению, что позволяет избежать проблемы переобученности модели.

Также, изменяя значение коэффициента α , можно установить порог толерантности модели к своим экземплярам – чем больше значение α , тем больше расстояние между детекторами модели и "своими" экземплярами.

Эксперименты и результаты. С целью проведения экспериментов предложенная модель отрицательного отбора и метод ее обучения были реализованы на языке Python.

С помощью разработанного математического обеспечения решалась задача диагностирования лопаток газотурбинных авиадвигателей [7]. Выборка экспериментально полученных наблюдений содержала экземпляры, характеризовавшиеся спектрами мощности свободных затухающих колебаний лопаток после ударного возбуждения. Исходя из этих данных, требовалось осуществлять классификацию лопаток на группы кондиционных и дефектных (некондиционных). Каждый экземпляр выборки характеризовался 10240 признаками. Выборка содержала 32 экземпляра. Для обучения модели использовались свертки [8], что позволило сократить размерность задачи. В результате точность классификации составила 91%.

Для обеспечения объективности сравнения предложенного метода с известными методами [9] решалась задача классификации ирисов Фишера [10]: выборка данных содержала 150 экземпляров, характеризовавшихся значениями четырёх признаков. В результате применения разработанного математического обеспечения были сформированы отдельные модели для каждого из трёх классов, позволяющие отличать соответствующий класс от двух остальных. Совокупная модель содержала всего 7 детекторов и обеспечивала

точность классификации 97,3%. В случае применения модели V-Detector для решения данной задачи точность классификации составила до 90%, при этом модель содержала 16 детекторов.

Результаты проведенных экспериментов и реализующего его программного обеспечения, свидетельствуют о работоспособности разработанного метода, а также позволяют рекомендовать его для использования при решении практических задач диагностирования.

Выводы. С целью решения актуальной задачи автоматизации процесса диагностирования объектов и систем разработано математическое обеспечение, позволяющее строить диагностические модели по прецедентам на основе иммунокомпьютинга.

Научная новизна результатов работы заключается в том, что получил дальнейшее развитие метод обучения модели отрицательного отбора с маскированием, который модифицирован путем добавления значений верхней и нижней границы допустимых значений каждого признака детектора, что позволяет решать задачи с вещественным представлением признаков. Также, благодаря введению коэффициентов α и g_{min} , повышается контролеспособность метода.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработана программная реализация модели отрицательного отбора с использованием маскированных детекторов, которая может использоваться для решения практических задач технического диагностирования.

Работа выполнена в рамках госбюджетной научно-исследовательской темы "Методы, модели и устройства принятия решений в системах распознавания образов" (номер гос. регистрации 0111U000059).

Список литературы: 1. Субботин С.О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень: навч. посібник / С.О. Субботин. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. – 341 с. 2. The effect of binary matching rules in negative selection / F. Gonzalez, D. Dasgupta, J. Gomez // Genetic and Evolutionary Computation: Conference GECCO-2003: Chicago, July 12-16 2003: proceedings. – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2003. – P. 195-206. 3. Ji Z. Revisiting Negative Selection Algorithms / Z. Ji, D. Dasgupta // Evolutionary Computation. – 2007. – Vol. 15. – P. 223-251. 4. Модель отрицательного отбора с использованием маскированных детекторов и метод ее обучения для решения задач диагностирования / С.А. Зайцев, С.А. Субботин // Бионика интеллекта. – 2011. – № 2. 5. Self-Nonself Discrimination in a Computer / S. Forrest, A.S. Perelson, R. Cherukuri, L. Allen // Research in Security and Privacy: IEEE Symposium, Oakland, 16-18 May 1994: proceedings. – Los Alamitos: IEEE, 1994. – P. 202-212. 6. An immunological approach to change detection: algorithms, analysis, and implications / P. D'haeseleer, S. Forrest, P. Helman // Computer Security and Privacy: IEEE Symposium, Oakland, 6-8 May 1996 : proceedings. – Los Alamitos: IEEE, 1996. – P. 110-119. 7. Интеллектуальные средства диагностики и прогнозирования надежности авиадвигателей: монография / [В.И. Дубровин, С.А. Субботин, А.В. Богуслаев,

В.К. Яценко]. – Запорожье: ОАО "Мотор-Сич", 2003. – 279 с. **8.** Диагностика лопаток авиадвигателей на основе многослойной логически прозрачной нейронной сети / А.В. Богуслаев, В.И. Дубровин, С.А. Субботин, В.К. Яценко // Вісник двигунобудування. – 2001. – № 1. – С. 85-90. **9.** Ji Z. V-Detector: An Efficient Negative Selection Algorithm with "Probably Adequate" Detector Coverage / Z. Ji, D. Dasgupta // Information Sciences. – 2009. – Vol. 179. – P. 1390-1406. **10.** Fisher R.A. Iris data set [Electronic resource] / R.A. Fisher. – Massachusetts: University of Massachusetts Amherst, 2007. – Access mode: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Iris>.

Статью представил д.т.н., проф. НТУ "ХПИ" Дмитrienko В.Д.

УДК 004.93

Модель негативного відбору з маскуванням детекторів для вирішення задач діагностування з дійсним представленням ознак / Зайцев С.О., Субботін С.О. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2012. – № 38. – С. 70 – 76.

Вирішено актуальне завдання автоматизації діагностування об'єктів та систем, описаних дійсними ознаками. Дістав подальшого розвитку метод навчання моделі негативного відбору з маскуванням, модифікований для роботи з дійсними ознаками детекторів. Вирішено задачу неруйнівного діагностування лопаток газотурбінних авіадвигунів. Бібліогр.: 10 найм.

Ключові слова: діагностування, дійсні ознаки, негативний відбір, маскування, детектор.

UDC 004.93

A negative selection model with masked detectors for solving diagnostic tasks with real-valued feature representation / Zaitsev S.A., Subbotin S.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – № 38. – P. 70 – 76.

The topical problem of automated diagnostics for objects and systems described with real-valued features had been solved. The training method for the negative selection model with masked detector has been developed. It was modified for handling real-valued features. The problem of turboshaft airplane engine non-destructive diagnostics has been done using the suggested model. Refs: 10 titles.

Keywords: diagnostics, real-valued features, negative selection, masking, detector.

Поступила в редакцію 09.06.2012

В.В. КАРАСЮК, канд. техн. наук, доц., НУ "ЮАУ им. Я. Мудрого", Харьков,

М.В. ГВОЗДЕНКО, ст. преп., НУ "ЮАУ им. Я. Мудрого", Харьков

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ

В статье предлагается решение задачи построения знаниеориентированной системы обучения в области правоведения на основе онтологических принципов. Показана структура базы знаний, для ее описания используется графовая модель. Отмечены особенности коллективной работы над онтологией. Определено, что система при коллективной работе имеет черты самоорганизованной. Ил.: 1. Библиогр.: 12 назв.

Ключевые слова: правоведение, интеллектуальная система обучения, онтология, графовая модель.

Постановка проблемы. Реализация перспектив электронного образования (е-образования) зависит от того, насколько эффективно могут быть описаны гетерогенные информационные ресурсы обучения, процедуры их поиска, обработки, описания и представления пользователю. В национальном университете "Юридическая академия Украины имени Ярослава Мудрого" поставлена задача создания интегрированного пространства знаний для целей обучения студентов. В нем предусматривается ряд компонентов: информационные ресурсы электронной библиотеки; ftp-сервер учебных ресурсов; учебные электронные информационные комплексы в среде Moodle; знаниеориентированная учебно-консультационная правовая система JURONT (юридическая онтология); учебная подсистема АСУ университета с различными учебными ресурсами и другие источники. Однако эти ресурсы, хотя и имеют внутреннюю структуризацию, являются независимыми и не дают возможности выполнять навигацию во всем информационном пространстве. Поэтому поставлена задача создания средств: представления знаний, используемых для целей обучения; консолидации знаний из различных источников; разработки методики и средств использования создаваемой базы знаний и наполнения новой информацией. С учетом увеличения значимости электронного образования эта постановка задачи есть весьма актуальной.

Анализ проблемы. Для формирования интегрированного пространства правовых знаний предлагается создать базу знаний правовой информации [1]. В настоящее время для описания систем, содержание которых представлено на естественном языке, широкое распространение получили онтологии. По определению Тома Грубера

онтологии являются точными, то есть выраженными формальными средствами, спецификациями концептуализации [2, 3]. Они имеют возможность точно описывать семантику данных предметной области, решить проблему несовместимости и противоречивости понятий. Поэтому онтологии получили распространение в представлении и инженерии знаний, консолидации информационных ресурсов, информационном поиске и т.д. [4 – 6]. Наполнение базы знаний правовой информацией имеет особенности, продиктованные проблемной областью. В [7, 8] проведен анализ особенностей правовой информации. Поэтому классический подход в организации онтологических моделей знаний нуждается в учете особенностей данной предметной области.

Цель статьи – представить характеристику подхода и особенности онтологических моделей знаний в области правовой информации для систем электронного образования с учетом возможности коллективной формы работы над информацией в базе знаний.

Представление правовой информации в виде онтологической структуры. Онтологическая структура организует семантическую сеть понятий и относящихся к ним описаний. Поддерживая синонимичность определений и законодательные формулирования понятий, в структуру онтологии целесообразно ввести множество синонимов понятий и множество текстовых описаний.

На теоретико-множественном уровне такая онтология представляется:

$$O = \langle P, R, F \rangle, \quad (1)$$

где P – конечное множество концептов предметной области, которую представляет онтология O ; R – конечное множество отношений между концептами заданной предметной области; F – конечное множество функций интерпретации (аксиоматизации), заданных на концептах и/или отношениях онтологии O .

$$P = \{P_i\}, \quad (2)$$

где P_i – отдельное понятие, имеющее собственное семантическое представление, которое связано с множеством конкретных фактов и допустимых синтаксических конструкций. Формально понятие P_i (2) представляется в виде набора словосочетаний W_j^i , которые представляют

собой синонимы понятия P_i и набора законодательных (точных) определений этого понятия Z_j^i :

$$P_i = (W_1^i, \dots, W_n^i);$$

$$(W_1^i, \dots, W_n^i) R_j (Z_1^i, \dots, Z_n^i), \quad (3)$$

где R_j определяет связь между отдельными синонимическими терминами и их определениями либо пояснениями. В общем случае количество элементов набора W_j^i может не совпадать с количеством элементов в наборе Z_j^i .

Элементом онтологии O также является связь R_r между понятиями или группой понятий:

$$(P_n, \dots, P_m) R_r (P_k, \dots, P_l). \quad (4)$$

На совокупности понятий онтологии (3), как на множестве, могут выполняться такие свойства, как: рефлексивность; симметричность; транзитивность; линейность. А над онтологиями и их частями можно выполнять операции: объединение; пересечение; вычитание; выборка и другие [9]. В разрабатываемой онтологии предлагается переход от связей между понятиями к связям между понятием и группами понятий (4). Механизм онтологий в этих случаях позволяет формировать осмысленные иерархические взаимосвязи между объектами, обобщать и совместно использовать глобальные сведения, т.е. реализовать в перспективе нечеткий поиск, способный находить даже такие ресурсы, в которых не будет ни одного слова из исходного запроса [10].

Реализация онтологии выполнена в виде базы данных. Структура базы данных содержит: данные о возможных записях понятий и связей между ними; связи между понятиями; тексты, которые относятся к понятиям и связям между ними в виде набора предложений; данные об источниках текстов и их структуре.

Использование онтологической системы. В соответствии с целями создания единой информационной среды юридической деятельности [1, 11] предусматриваются следующие режимы работы с системой: режим создания онтологической системы; режим эксплуатации; режим индивидуального дополнения, развития и интеграции; обучения и оценивания знаний; онтологический анализ.

Разработка выполнена с использованием современных технологий объектно-ориентированного визуального программирования, в среде Eclipse 3.4 на языке Java с поддержкой JDK версии 1.6.

На рис. показана схема использования системы различными пользователями. Можно подчеркнуть, что онтологическое представление является более универсальным, чем другие механизмы представления знаний и это является предпосылкой реализации дополнительных задач в системе. Система JURONT в настоящее время принята в опытную эксплуатацию в локальной сети Национального университета "Юридическая академия Украины имени Ярослава Мудрого".

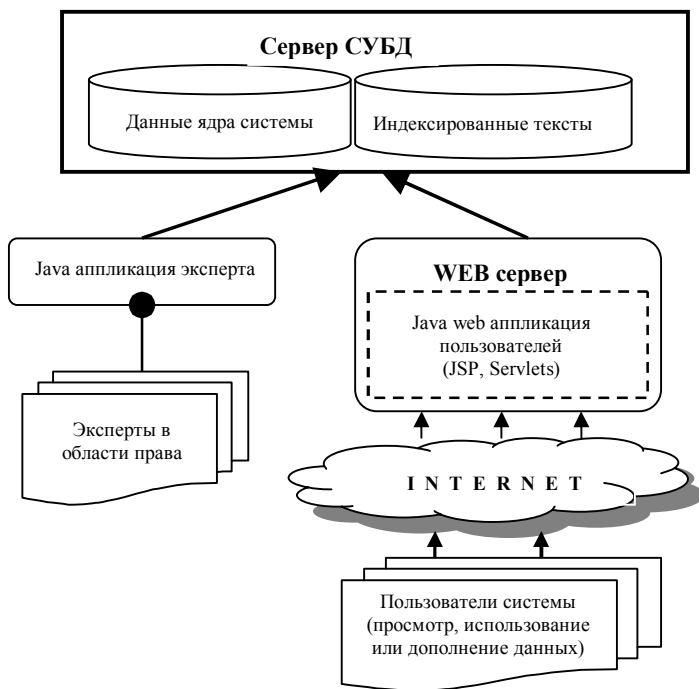


Рис. Сетевое использование онтологической системы

Особенности коллективной работы над развитием онтологии. Предлагается формирование онтологического представления с привлечением экспертов и всех пользователей системы, включая студентов и аспирантов. В процессе развития информационного наполнения системы коллектив пользователей стремится к построению

уточненной онтологии. Каждый пользователь может внести предложение о добавлении в базу знаний фрагмента отредактированной онтологии согласно своему представлению о структуре изучаемой информации. Таким способом осуществляется коллективное развитие существующей онтологии. Отдельные, потенциально различные фрагменты онтологии от разных пользователей анализируются экспертами и могут "сливаться" с начальной для создания уточненной онтологии, которая замещает начальную онтологию предметной области в системе. Для того чтобы сравнить начальную онтологию и онтологии различных пользователей (представленных в виде графовой модели) и не внести в базу знаний "недостовверную информацию" или не относящуюся к данной проблемной области, разрабатывается метрика оценки близости онтологий.

Самоорганизующиеся системы характеризуются рядом особенностей. Это их открытость, наличие достаточного количества взаимодействующих элементов, неравновесность, диссипативность [12]. Эти особенности, которые исследованы в термодинамических системах, отмечены и в информационных системах. Учет в процессе анализа синергетических свойств и особенностей, характерных для процесса работы с системой коллектива пользователей, дает возможность определить параметры процесса наполнения, адаптированного для условий работы с правовой информацией.

Направления дальнейших исследований. Перспективными считаются следующие направления:

- сравнение онтологий для оценки полноты или противоречия онтологий разных пользователей за счет разработки метрики близости;
- общение на естественном языке, что позволит привлекать к работе непрофессиональных пользователей;
- использование в юридической клинике для предоставления консультационных услуг без участия специалиста;
- исследование влияния принципов самоорганизации на качество создаваемой множеством пользователей онтологии.

Выводы. В результате исследования, анализа преимуществ и недостатков различных систем представления знаний выбрана онтологическая модель знания для правовой информационной системы. С учетом особенностей правовой информации модель расширена для описания синонимии концептов при наличии их законодательных описаний.

Осуществлена практическая реализация онтологической модели в виде программного комплекса.

Список литературы: 1. *Tatsyi V.* Семантическая сеть знаний в правоведении = Semantic network of knowledge in science of law / *V. Tatsyi, A. Getman, S. Ivanov, V. Karasiuk, O. Lugoviy, O. Sokolov* // Automation, Control, and Information Technology (ACIT 2010): Proceedings of the IASTED International Conference on Automation, Control, and Information Technology, held June 15 – 18 2010 in Novosibirsk, Russia. The International Association of Science and Technology for Development. – Anaheim, USA, Calgary, Canada, Zurich, Switzerland: ACTA Press, 2010. – P. 218 – 222. 2. *Gruber T.* A translation approach to portable ontologies / *T.R. Gruber* // Knowledge Acquisition. – 1993. – № 5 (2). – P. 199 – 220. 3. *Межуев В.* Онтологические модели систем и процесса системной инженерии / *В.И. Межуев* // Искусственный интеллект. – 2010. – № 4. – С. 606 – 615. 4. *Рассел С.* Искусственный интеллект / *С. Рассел, П. Норвиг.* – М.; С.-П.; К.: Вильямс, 2006. – 1048 с. 5. *Цветков А.М.* Разработка алгоритмов индуктивного вывода с использованием деревьев решений / *А.М. Цветков* // Кибернетика и системный анализ. – 1993. – № 1. – С. 174 – 178. 6. *Іванов С.М.* Онтологічні моделі в корпоративному юридичному інформаційному просторі / *С.М. Іванов, В.В. Карасюк, О.С. Луговий, О.Ю. Соколов* // Права інформатика. – 2009. – № 3 (23). – С. 52 – 58. 7. *Getman A.P.* Informational Provision of Modern Education / *A.P. Getman, S.N. Ivanov, V.V. Karasiuk* // 21st International CODATA Conference "Scientific Information for Society - from Today to the Future": Conference Proceedings. – Kyiv, 2008. – P. 226–232. 8. *Карасюк В.* Онтологическое представление системы знаний с использованием принципов самоорганизации / *В.В. Карасюк* // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2011. – № 4. – С. 3 – 9. 9. *Соколов А.Ю.* Модель направленного обучения на основе онтологического подхода / *А.Ю. Соколов, О.И. Морозова, В.Г. Иванов* // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – №1 (42). – С. 96 – 102. 10. *Ланин В.* Интеллектуальное управление документами как основа технологии создания адаптируемых информационных систем / *В.В. Ланин* // Труды Международной научно-технической конференции "Интеллектуальные системы" (AIS'07). – М.: Физматлит, 2007. – Т. 2. – С. 334 – 339. 11. *Гетьман А.* Інтелектуальні засоби інформаційної підтримки гуманітарної освіти / *А.П. Гетьман, С.М. Іванов, В.В. Карасюк* // Збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції "Програмне забезпечення в освіті і науці" 12 – 13 травня 2009 р., Київ, Український науковий центр розвитку інформаційних технологій. – К.: Освіта України, 2009. – С. 68 – 72. 12. *Хакен Г.* Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам / *Г. Хакен.* – М.: Мир, 1991. – 240 с.

Статью представил д.т.н., проф. НАУ им. Н.Е. Жуковского "ХАИ" Соколов А.Ю.

УДК 004.822

Принципи побудови і особливості функціонування інтелектуальної системи навчання / Карасюк В.В., Гвозденко М.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", – 2012. – № 38. – С. 77 – 83.

У статті пропонується розв'язок задачі побудови знанняорієнтованої системи навчання в галузі правознавства на основі онтологічних принципів. Показана структура бази знань, для її опису використовується графова модель. Відзначено особливості колективної роботи над онтологією. Визначено, що інформаційна система при колективній роботі має риси самоорганізованої. Іл.: 1. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: правознавство, інтелектуальна система навчання, онтологія, графова модель.

UDC 004.822

Principles of construction and features of functioning the intellectual training system / Karasiuk V.V., Gvozdenko M.V. // Herald of the National Technical University "KhPI".

Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – №. 38. – P. 77 – 83.

The article proposes a solution of the problem of constructing knowledge-oriented education system in the field of law, based on ontological principles. The structure of the knowledge base is shown and the description of the knowledge base is performed using graph model. An opportunity of teamwork with the ontology is described. It was determined that the information system for the teamworking have a self-organized features. Figs: 1. Refs: 12 titles.

Keywords: jurisprudence, intellectual departmental teaching, ontology, count model.

Поступила в редакцию 12.04.2012

А.М. КЛИМЕНКО, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПІ", Харків,
В.В. СТАДНІК, канд. техн. наук, доц., ХНАДУ, Харків,
Ю.І. СКОРІН, канд. техн. наук, доц., ХНЕУ, Харків

ВІРТУАЛЬНІ ПРИЛАДИ У ВИМІРЮВАЛЬНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ

В статті розглянуті підходи щодо пошуку альтернативних способів вдосконалення парку засобів вимірювальної техніки шляхом розробки віртуальних вимірювальних приладів, розширення засобів їх створення та способів застосування, наведений приклад використання віртуальних вимірювальних приладів у навчальному процесі в якості віртуальної вимірювальної лабораторії. Іл.: 1. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: засоби вимірювальної техніки, віртуальні вимірювальні прилади, віртуальна вимірювальна лабораторія.

Постановка проблеми. Аналіз сучасного стану вимірювальної техніки та тенденцій її подальшого розвитку свідчить про те, що поряд з розробкою та удосконаленням традиційних вимірювальних приладів все більшого значення набуває досить новий напрямок, а саме розробка, так званих, віртуальних вимірювальних приладів.

Цьому сприяє, по-перше, значний прогрес в розвитку засобів електронно-обчислювальної техніки (ЕОТ), внаслідок якого персональні комп'ютери (ПК) практично стали необхідним інструментом інженерів, науковців, викладачів; по-друге, парк засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) поповнюється та відновляється не такими темпами, як того потребують сучасні вимоги; по-третє, порушення інтеграційних зв'язків з країнами колишнього СРСР значно ускладнює процес розробки, а головне – виробництва сучасних ЗВТ.

Все це потребує пошуку альтернативних способів вдосконалення парку ЗВТ, наприклад шляхом розробки та створення віртуальних вимірювальних приладів.

Аналіз публікацій. Розвиток обчислювальної техніки, комп'ютеризація усіх галузей народного господарства, наштовхує на думку про використання могутнього технологічного потенціалу комп'ютеризації в справі удосконалення процесу вимірювань у мехатронних системах [1]. Пошуки рішення привели до необхідності створення віртуальних приладів, аналоги яких вже існують за кордоном і демонструють величезні переваги перед, так званими, традиційними приладами.

Розглянемо деякі переваги віртуальних приладів. Віртуальність приладів визначається тим, що вони не є промисловими виробами у вигляді постійно існуючих об'єктів, а є тимчасовими об'єктами,

призначеними для рішення задач конкретного вимірювального експерименту [2].

При традиційному проведенні вимірювань прийнято визначати значення тієї або іншої фізичної величини за допомогою спеціалізованого вимірювального приладу, що являє собою конструктивно закінчену систему визначеного функціонального призначення з заздалегідь фіксованими можливостями сполучення з іншими пристроями. Відмінною перевагою віртуальних вимірювальних приладів є, насамперед, універсальність таких приладів і, що не менш важливо, практично необмежений потенціал щодо розширення функціональних можливостей вимірювальних приладів, причому без зміни апаратного складу приладів, а тільки за рахунок удосконалення програмного забезпечення [3, 4].

Існує декілька основних напрямків використання досягнень комп'ютерної техніки у удосконаленні процесу вимірювань, а саме розширення можливостей вже існуючих автономних промислових вимірювальних приладів, розробка і реалізація користувачем нових вимірювальних приладів, що існують віртуально, тобто без фізичного втілення у вигляді реально існуючого технічного пристрою.

Для реалізації першого напрямку можна використати промисловий вимірювальний прилад зі стандартним пристроєм сполучення з ЕОМ – уніфікованим інтерфейсом. Плата з аналогічним інтерфейсом встановлюється в комп'ютер, що повинний бути оснащений відповідним програмним забезпеченням для збору й обробки даних, їхнього представлення в зручній для користувача формі, а також керування самим вимірювальним приладом. Тим самим, до вимірювальних можливостей приладу додаються могутні обчислювальні, керуючі і графічні можливості комп'ютера й у підсумку виходить новий віртуальний прилад, який має набагато більш можливостей, ніж традиційний прилад. Наприклад, пара генератор-вольтметр у залежності від програмного забезпечення може перетворитися в аналізатор спектра, вимірювач перехідних процесів тощо [5].

В другому напрямку застосування комп'ютерної техніки у системах автоматизації вимірювань комп'ютер стає основним модулем віртуальної вимірювальної апаратури, що представляє собою функціональний еквівалент вимірювального приладу, логічна схема якого повинна бути розроблена в період проектування експерименту з обліком його специфічних вимог. Це досягається шляхом додавання до комп'ютера багатофункціональних або спеціалізованих плат розширення і оснащення їх необхідним програмним забезпеченням. Віртуальні прилади, реалізовані у виді багатофункціональних плат розширення до персональних

комп'ютерів, мають більшу універсальність у порівнянні з промисловими приладами [6, 7].

Мета статті. Дана стаття присвячена пошуку альтернативних способів вдосконалення парку засобів вимірювальної техніки шляхом розробки віртуальних вимірювальних приладів.

Віртуальна вимірювальна лабораторія. Віртуальні прилади здатні повною мірою замінити традиційні вимірювальні засоби (осцилографи, вольтметри, аналізатори спектру тощо). Важливою особливістю віртуального приладу є те, що розроблена і відтворена на екрані монітора програмним шляхом зовнішня панель приладу може повністю копіювати панель традиційного засобу вимірювань. Крім того, на відміну від панелі управління традиційного приладу така віртуальна панель може корегуватися як на етапі проектування, так і в процесі експлуатації.

Розглянемо докладніше переваги віртуального приладу. Так, вартість віртуального приладу складається з вартості двох компонентів: вартості комп'ютера і плати збору даних.

Наявність персонального комп'ютера – необхідний атрибут сучасності, тому будемо розглядати його як вже існуючий компонент віртуального вимірювального приладу. Відповідно до сучасних міжнародних рекомендацій з устаткування робочого місця інженера метролога наявність ПК є необхідним елементом.

Плата збору даних у виді фізичного об'єкта являє собою невеликий пристрій із заданою виробником кількістю входів і виходів, тобто є альтернативою наборові складних пристроїв і комплектуючих реального приладу. Виробництво плати збору даних дешевше, ніж приладу в цілому, що підтверджують орієнтовні ціни. Наприклад: вартість сучасних цифрових вольтметрів, у залежності від типів і метрологічних характеристик приладів, може перевищувати вартість плати збору даних на цифрові вольтметри майже у десять разів.

Надійність приладу, у цілому, складається із суми надійності окремих, але взаємопов'язаних у єдине ціле, закінчених компонентів. Надійність персонального комп'ютера задає і гарантує фірма-виробник. Плата збору даних, по суті, є окремим закінченим пристроєм і її надійність вище надійності стандартного вимірювального приладу за рахунок відсутності додаткових пристроїв і зв'язків між ними.

Обслуговування складних великогабаритних пристроїв, приладів і систем вимагає великих витрат часу, засобів і висококваліфікованого обслуговуючого персоналу. Плата збору даних відрізняється простотою у використанні й обслуговуванні, а також завдяки наявності в програмному

забезпеченні системи підказок, робота з віртуальним приладом не потребує від оператора спеціальних знань.

Значною перевагою використання ПК у складі віртуального приладу є можливість створення максимально дружельюбного інтерфейсу для оператора. Зручний і зрозумілий режим підказок, звичне оформлення передньої панелі, можливість поміняти колірну гаму, усе це і багато чого іншого робить віртуальний прилад ергономічним і приємним для користувача.

Простота діалогу, можливість швидкої переконфігурації, вбудований апарат обробки даних дозволяють створювати на основі персонального комп'ютера і плати збору даних безліч різноманітних гнучких вимірювальних систем. Швидка, непроблематична взаємозамінність плати збору даних, можливість дублювання особливо важливих елементів вимірювальних систем, широкі можливості моніторингу й обробки сигналу, можливість передачі інформації, як у локальній, так і глобальній мережі – усе це вказує на універсальність віртуальних вимірювальних приладів.

Але використання віртуальних приладів поки зустрічає деякі труднощі. Одна з них носить чисто суб'єктивний характер. Це звичка роботи з приладами, що мають звичайні органи управління і блоки збору і представлення інформації. Збереженню цієї звички сприяє і політика фірм, що виробляють традиційну контрольно-вимірювальну апаратуру. Аналіз технічних можливостей найбільш сучасніших осцилографів, генераторів сигналів і інших приладів таких фірм, як "LeCroy" (серій 93LC, генератор сигналів LW420A), "Tektronix" (серій TDS 500C/700C і ряд інших), "Hewlett-Packard" (INFINIUM) показує, що згадані прилади фактично реалізують вивернуту концепцію віртуальних інструментів, коли вимірювальний прилад сполучається з комп'ютером не за рахунок інтерфейсу, а шляхом "вбудовування" ПК у корпус приладу. У випадку компанії "LeCroy" вимірювальні прилади будуються навколо комп'ютерного процесора, а компанія "Tektronix" створює спеціалізовані процесори, але суть від цього не змінюється: успіхи мікроелектроніки у створенні елементної бази із субмікронними розмірами елементів дозволяють розмістити в одному корпусі вимірювальний прилад і ПК. Це розширює універсальність застосування вимірювальної апаратури нового покоління, але подібна практика відповідним чином відбивається на ціні та складності управління такими приладами. У той же час можливо вирішувати проблеми оснащення вимірювальних лабораторій за допомогою високопродуктивних і водночас дешевих плат збору даних, що вбудовуються в ПК. Нещодавно вихід на ринок віртуальних інструментів з такими платами почала компанія "LeCroy" з виробами

SigAqCard (PCI/ISA стандарт), SigGenCard. Поряд з виробами були розроблені рекомендації для реалізації на їхній базі: діагностики лазерних систем, контролю приладів з переносом заряду і радіаційних ушкоджень цифрових схем, робіт з оптичного зондування атмосфери, лазерної доплерівської анемометрії, вивчення швидкоплинних процесів.

Таким чином, у даний час можна говорити про еру віртуальних приладів, в основі яких лежить з'єднання аналогово-цифрового перетворювача з ПК.

Існує декілька підходів до побудови віртуальних ЗВТ. Так, наприклад такі фірми, як “LeGroy”, “Tektronix”, “Hewlett-Packard” фактично реалізують перевернуту концепцію побудови віртуальних приладів, тобто концепцію вбудови ПК, або мікропроцесорного контролера (МПК) в корпус приладу.

Прикладами реалізації такого підходу є і вітчизняні прилади: вольтметр В7-34, частотомір ЧЗ-64 з вбудованим МПК.

Одним з найважливіших недоліків таких приладів є досить обмежені можливості вбудованих засобів ЕОТ.

Більш перспективним є підхід, в основу якого покладений принцип поєднання ПК з платою збору даних (ПЗД), основними елементами якої є аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) і перетворювач код-код (ПКК). Можливо включення до складу ПЗД мікропроцесорного контролера, який виконує функції управління, синхронізації та підтримки програмного забезпечення (ПЗ).

В загальному випадку віртуальний прилад складається з двох компонентів: пристрою управління та обробки інформації, тобто персонального комп'ютера, і плати збору даних.

Перший компонент, а саме ПК, не потребує капітальних затрат на його виготовлення або придбання, тому що є необхідним атрибутом сучасності, і є обов'язковим інструментом на майже на кожному робочому місці.

Тому будемо розглядати його, як вже існуючий, компонент віртуального вимірювального приладу. Другий компонент, а саме плата збору даних (ПЗД), наприклад плата збору даних SDI-ADC16-16, в загальному випадку містить: мультиплексор, АЦП, мікроконтролер, порт RS-485, запам'ятовуючий пристрій, перетворювач напруги та фільтр.

Узагальнена структурна схема віртуального вимірювального приладу наведена на рис.

Таким чином можна вважати, що апаратна складова віртуального приладу є визначеною і далі доцільно зосередити увагу на програмному забезпеченні приладу.

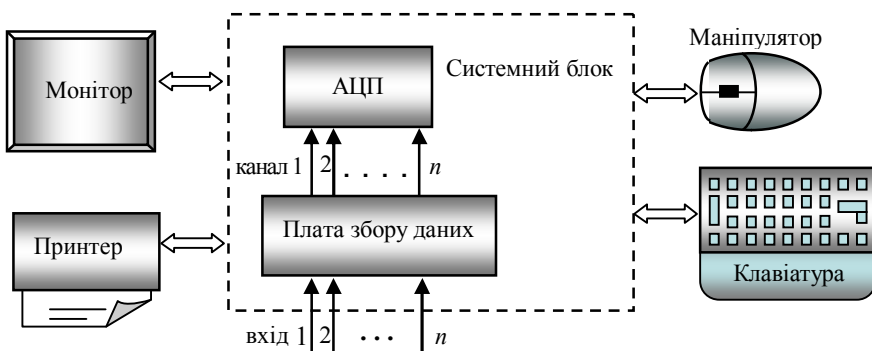


Рис. Узагальнена структурна схема віртуального вимірювального приладу

Широковідомий пакет “LabWiEW” реалізує розглянутий підхід до побудови віртуальних приладів, але має суттєві недоліки в плані візуалізації процесу вимірювань та відображенні результатів вимірювань. Програмне середовище “LabWiEW” хоча і дозволяє відобразити передню панель обраного ЗВТ, але не дає можливості оператору вносити зміни, корегувати зовнішній вигляд і функціональні можливості обраного приладу.

Таким чином, актуальності набуває питання, пов’язане з візуалізацією процесу вимірювань, тобто розробки віртуального приладу, зовнішній вигляд та функціональні можливості якого можна б було коректувати як під час розробки, так і в процесі роботи.

Аналіз існуючих інтерактивних програмних середовищ показав, що задача візуалізації може бути вирішеною за допомогою таких пакетів програмного забезпечення, як C+, C++, Visual Basic тощо, які мають практично однакові можливості й відрізняються покладеною в основу формалізованою мовою програмування. Обрання Visual Basic в якості інтерактивного програмного середовища для побудови віртуальних вимірювальних приладів викликано насамперед простотою, доступністю і високим рівнем формалізованості мови програмування Basic, яка покладена в основу інтерактивного програмного середовища Visual Basic [8, 9].

З урахуванням вищезазначеного на базі плати збору даних ADC 16-32 був створений пакет програмного забезпечення для реалізації цілої низки віртуальних вимірювальних приладів, які мають метрологічні характеристики аналогічні метрологічним характеристикам відповідних традиційних приладів.

Так, до пакету програмного забезпечення надходить реалізація таких віртуальних приладів, як електронний осцилограф, прилад комбінований, цифровий вольтметр та цифровий частотомір, які складають віртуальну вимірювальну лабораторію.

Важливою особливістю розробленого пакету програмного забезпечення, а по суті – програмного продукту, є додаткові функціональні можливості, а саме можливість використання програмного продукту в навчальному процесі в якості системи дистанційного навчання.

Такі віртуальні прилади, на наш погляд, доцільно створювати насамперед для найбільш сучасних приладів, які ще відсутні у складі лабораторно-технічної бази закладу, на попередньому етапі підготовки до робіт на штатній техніці, під час самостійної підготовки до занять, при заочній формі навчання тощо. Тобто у тих випадках коли доступ до штатних засобів вимірювальної техніки є обмеженим або недоцільним.

Розроблений програмний продукт за принципом побудови є модульною структурою і містить спільний для всіх перелічених віртуальних вимірювальних приладів блок керування, реалізований у вигляді системної консолі, яка включає до свого складу такі меню:

- меню "Програма роботи", в якому наведена мета досліджень, цільова настанова, порядок виконання досліджень, основні теоретичні відомості, рекомендації щодо проведення досліджень тощо;

- меню "Складання звіту", яке містить повний набір інструментів та засобів для набору, редагування та збереження на ПК тексту звіту;

- меню "Проведення досліджень" за допомогою якого саме і реалізуються функції того чи іншого віртуального приладу.

Методика проведення вимірювального експерименту за допомогою того чи іншого віртуального приладу практично не відрізняється від існуючих методик, притаманних відповідним традиційним вимірювальним приладам, тому й не розглядається в рамках даної роботи.

Висновки. Важливою особливістю розробленого програмного продукту є те, що робота програмного забезпечення може бути реалізована в режимі "підказки", коли програма фактично керує діями оператора, надає коментарі та підказки, а також блокується при здійсненні оператором дій, що викликають критичну помилку.

У залежності від призначення деякі модулі програмного продукту містять інтерактивні електронні таблиці, часові діаграми, графіки, що відображають фізичні процеси, які відбуваються в приладі під час проведення вимірювального експерименту.

Розроблений пакет програмного забезпечення є закінченим і самодостатнім програмним продуктом, до складу якого надходить інсталяційний модуль під будь яку платформу програмного забезпечення. Він є повністю адаптованим до використання в мережі Internet та локальних комп'ютерних мережах. До того ж він є базовим для побудови віртуальних вимірювальних приладів інших видів і типів.

В плані подальшого розвитку пакету програмного забезпечення слід зазначити, що можливості поповнення парку віртуальних приладів є практично необмеженими, тому цікаво було б здійснити побудову, наприклад, віртуальних аналогових стрілочних приладів, таких як електронний вольтметр тощо. Також є практично необмеженою сфера використання розроблених віртуальних приладів, тобто на їх основі можна будувати вимірювальні системи для досліджень не тільки автономних засобів вимірювань, а і автоматизованих вимірювальних комплексів та систем, параметри та зовнішній вигляд яких можна коректувати як на стадії розробки, так і в процесі роботи.

Список літератури: 1. *Алексієв В.О.* Мехатроніка транспортних засобів та систем: Навчальний посібник / *В.О. Алексієв, В.П. Волков, В.І. Калмиков.* – Х.: ХНАДУ, 2004. – 176 с. 2. *Алексеев В.В.* Метрология, стандартизация и сертификация / *В.В. Алексеев.* – М.: Академия, 2010. – 384 с. 3. *Скорін Ю.І.* Віртуальні средства измерений / *Ю.І.Скорін, В.Е. Козлов, В.В. Стадник* // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2003. – Вип. 6. – С. 86-89. 4. *Скорін Ю.І.* Використання комп'ютерних технологій для побудови автоматизованих систем віддаленого навчання / *Ю.І. Скорін, С.В. Герасимов, Ю.П. Шамаєв* // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 4. – С. 196 – 200. 5. *Коннова А.А.* Виртуальные информационно-измерительные приборы / *А.А. Коннова, Е.С. Зубченко* // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 7 – С. 126 – 127. 6. *Афонский А.А.* Новое качество USB лаборатории — Ваша LAN-лаборатория / *А.А. Афонский* // Контрольно-измерительные приборы и системы. – 2008. – № 5. – С. 15 – 18. 7. *Герасимов С.В.* Принципи розробки та використання віртуальних засобів вимірювання / *С.В. Герасимов, А.О. Подорожняк, Ю.Б. Прібілев* // Військово-технічний збірник. – Л.: ЛІСВ НУ "ЛП". – 2011. – Вип. 1 (4). – С. 170 – 173. 8. *Макдональд М.* Microsoft Visual Basic.NET: рецепты программирования. Мастер-класс / *М. Макдональд.* – М.: Издательско-торговый дом "Русская редакция", 2004. – 704 с. 9. *Зиборов В.М.* Visual Basic 2010 на примерах / *В.М. Зиборов.* – СПб.: БХВ, 2010. – 336 с.

Статтю представил д.т.н. проф., начальник кафедри метрології та стандартизації Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба Кононов В.Б.

УДК 621.518.3

Виртуальные приборы в измерительной лаборатории / Клименко А.Н., Скорін Ю.І., Стадник В.В. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2012. – № 38. – С. 84 – 92.

В статье рассмотрены подходы относительно поиска альтернативных способов совершенствования парка средств измерительной техники путем разработки виртуальных

измерительных приборов, расширения средств их создания и способов применения, приведен пример использования виртуальных измерительных приборов в учебном процессе в качестве виртуальной измерительной лаборатории. Ил.: 1. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: средства измерительной техники, виртуальные измерительные приборы, виртуальная измерительная лаборатория.

UDC 621.518.3

Virtual devices in the measuring laboratory / Klimenko A.M., Skorin Y.I., Stadnik V.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI", – 2012. – №. 38. – P. 84 – 92.

In the article the considered approaches in relation to the search of alternative methods of perfection of park of facilities of measuring technique by development of virtual measuring devices, expansion of facilities of their creation and methods of application, an example of the use of virtual measuring devices is made in an educational process as a virtual measuring laboratory. Figs.: 1. Refs.: 9 titles.

Keywords: facilities of measuring technique, virtual measuring devices, virtual measuring laboratory

Надійшла до редколегії 12.03.2012

М.І. КОЗЛЕНКО, канд. техн. наук, доц., ПВНЗ "Галицька академія",
Івано-Франківськ

ЧАСОВА СКЛАДНІСТЬ АЛГОРИТМІВ ЦИФРОВОЇ ДЕМОДУЛЯЦІЇ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ З КЕРОВАНОЮ ЕНТРОПІЄЮ

Проведено дослідження часової складності реалізації алгоритмів цифрової демодуляції широкосмугових сигналів з керованою ентропією у порівнянні з класичним кореляційним опрацюванням. Встановлено, що демодуляція сигналів з керованою ентропією здійснюється у щонайменше вісім разів швидше, що дозволяє покращити завадостійкість обміну даними в розподілених комп'ютерних системах та мережах загального та спеціального призначення. Лл.: 5. Бібліогр.: 14 назв.

Ключові слова: часова складність, алгоритм, широкосмуговий сигнал, керована ентропія, комп'ютерна система.

Постановка проблеми. Одним з найважливіших питань надійного функціонування розподілених комп'ютерних систем та мереж загального та спеціального призначення є стабільність обміну даними. Як правило, завадозахищеність передачі даних в сучасних умовах забезпечується використанням широкосмугових сигналів [1, 2]. Традиційні методи формування широкосмугових сигналів мають низку недоліків, зокрема, нерівномірність розподілу енергії сигналів за частотами [3], суттєва апаратна та алгоритмічна складність та ін., що не дозволяє повною мірою використати їх переваги. Отже, розроблення нових методів формування та опрацювання широкосмугових сигналів є актуальною науковою задачею.

Необхідність у якісному та швидкому обміні даними у розподілених комп'ютерних системах зумовлює практичне завдання по створенню простих, надійних та недорогих приймально-передавальних каналоутворюючих пристроїв. Результативне вирішення цього завдання можливе за умови успішного розв'язання наукових проблем створення та розвитку нових ефективних методів передавання та приймання інформації в таких системах, зокрема, методів формування та опрацювання широкосмугових сигналів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відомості про перспективність використання широкосмугових сигналів міститься у [4, 5]. Значний розвиток способів обміну даними, в основі розширення спектру яких лежить використання негармонійних форм сигналів-носіїв, описано зокрема у [6]. Відомі способи, де широкосмугові сигнали-носії

формуються та обробляються за допомогою явищ динамічного детермінованого хаосу [7]. Практичні аспекти застосування широкосмугових сигналів в комп'ютерних та телекомунікаційних системах містяться у [8 – 10]. Започаткування розв'язання проблеми шляхом використання широкосмугових сигналів з керованою (змінною) ентропією міститься у [11]. Запропонований метод формування та опрацювання широкосмугових сигналів базується на використанні у якості носія шумоподібного випадкового сигналу з близьким до нормального розподілом амплітуд і рівномірною спектральною щільністю енергії, ентропія розподілу ймовірностей амплітуд якого поставлена у відповідність до символів інформаційного повідомлення, що передається. На даний час проаналізовано ефективність використання сигналів різних часових форм [12]. Оцінена рівномірність розподілу енергії таких сигналів за частотами [3]. Раніше невирішеною частиною загальної проблеми є порівняння часової складності реалізації методу у порівнянні з класичним кореляційним опрацюванням, саме цьому і присвячена дана робота.

Формулювання цілей даної роботи. Основною метою роботи є отримання кількісних показників часової складності реалізації цифрової демодуляції широкосмугових сигналів з керованою ентропією і їх порівняння з класичними підходами.

Викладення основного матеріалу досліджень. Однією з основних задач при реалізації комп'ютерних систем є забезпечення високоякісного обміну даними між елементами таких систем. Широке використання бездротових технологій при побудові розподілених інтелектуальних обчислювальних систем в різних галузях промисловості, які функціонують в умовах інтенсивних завад техногенного походження, визначає необхідність застосування широкосмугових сигналів. Традиційні алгоритми формування та опрацювання широкосмугових сигналів мають низку недоліків, зокрема суттєву складність реалізації.

Перспективним є формування та опрацювання широкосмугових сигналів основане на використанні повністю випадкових шумоподібних сигналів, ентропія розподілу яких поставлена у відповідність до символів повідомлення, що передається. В такому випадку демодуляція зводиться до статистичного оцінювання ентропії суміші сигналу і завади протягом символічного інтервалу з подальшим ухваленням рішення про дискретне значення прийнятого символу. Це забезпечує високу якість, надійність та стабільність обміну даними і є простим з погляду апаратної та програмної складності реалізації [11].

Для порівняння опрацювання сигналів за таким методом та за кореляційним розроблено алгоритмічне забезпечення, блок-схеми алгоритмів подано на рис. 1 та 2. Як можна побачити з рис. 1, при реалізації програмного забезпечення демодуляції сигналів з керованою ентропією оброблення відбувається за дещо спрощеним алгоритмом, суть якого полягає у тому, що для розрахунку оцінки ентропії поточного фрагменту широкосмугового сигналу використовується не середнє квадратичне значення відхилю від середнього, а середнє випрямлене. Основною умовою коректності функціонування запропонованого алгоритму є відсутність постійної складової, тобто вхідні значення сигналу повинні бути центровані відносно нуля, що забезпечується апаратною частиною приймального пристрою.

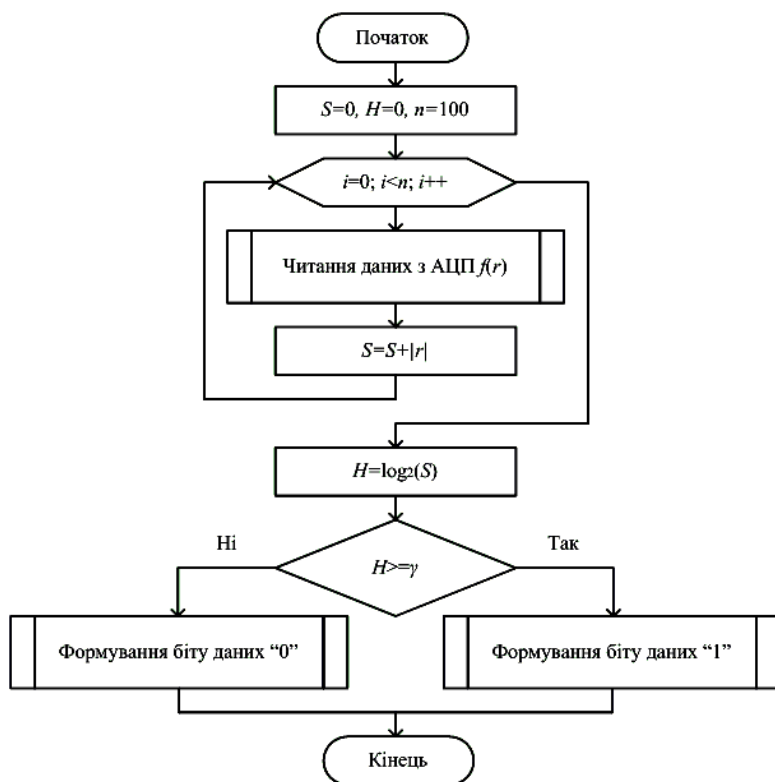


Рис. 1. Блок-схема опрацювання сигналів з керованою ентропією

Такий підхід дозволяє уникнути використання операцій піднесення у степінь та ділення, фактично, замінивши її на послідовність операцій взяття абсолютного значення і додавання. З метою перевірки впливу внесених змін на завадостійкість методу, проведено дослідження шляхом моделювання в обчислювальному експерименті в середовищі MATLAB, результати якого подано на рис. 3.

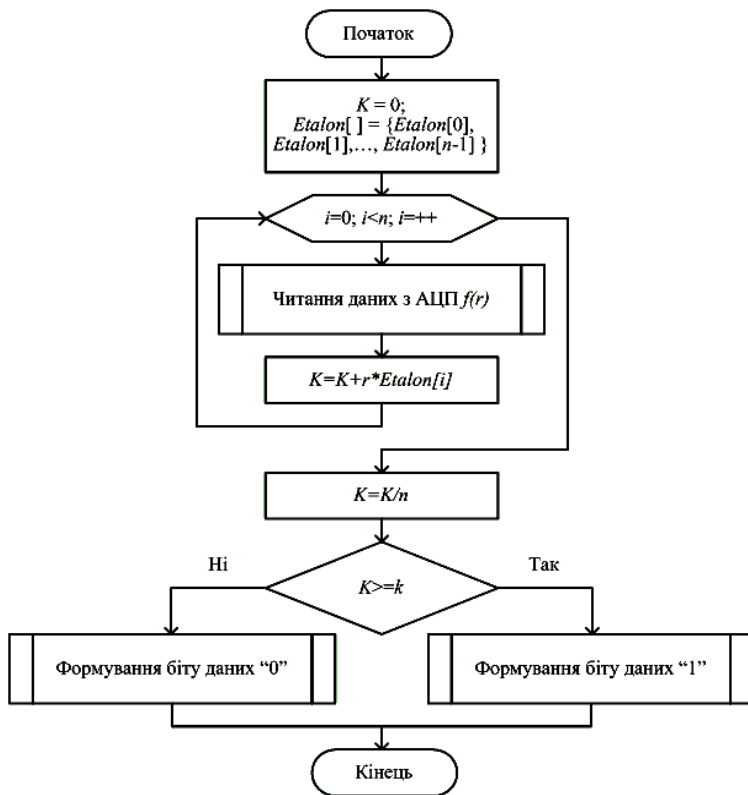


Рис. 2. Блок-схема кореляційного опрацювання сигналів

У якості критерію завадостійкості використовується частка різниці оцінок бажаних сигнальних компонент на виході демодулятора і подвоєної оцінки стандартного відхилення завади у цій точці [1]. Як можна побачити з рис. 3, для розмірів вибірок оброблюваних реалізацій широкосмугового сигналу в межах до 1000 відліків, погіршення завадостійкості практично не спостерігається. При збільшенні розмірів

вибірки завадостійкість знижується, проте несуттєво, що дозволяє вважати запропоноване спрощення процедури оброблення доцільним. Подальше практичне збільшення швидкості оброблення при реалізації алгоритмічного та програмного забезпечення можна отримати шляхом застосування апаратної функції виділення абсолютного значення, що несуттєво ускладнює апаратну частину розробленого засобу.

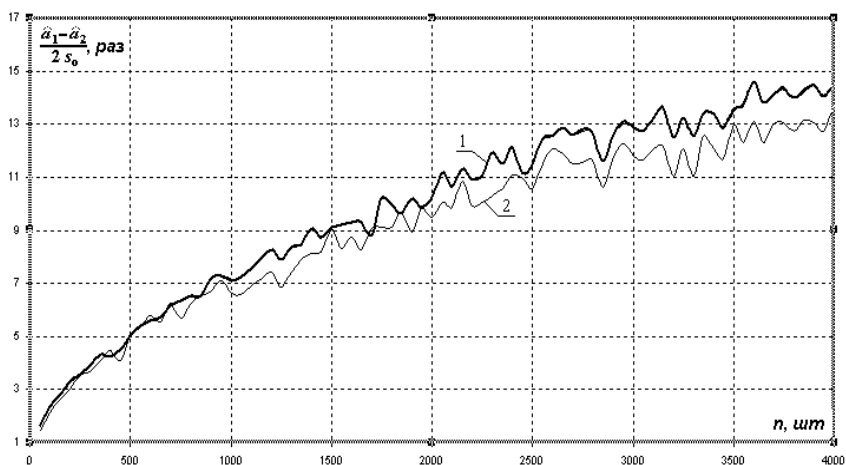


Рис. 3. Значення критерію завадостійкості в залежності від розміру вибірки n : 1 – оцінка ентропії розраховується через середнє квадратичне, 2 – через середнє випрямлене; $(a_1 - a_2)$ – різниця бажаних сигнальних компонент на виході демодулятора, s_0 – оцінка стандартного відхилення завади у цій точці

При реалізації програмного забезпечення кореляційного опрацювання сигналів алгоритм оптимізовано для роботи з цілими числами. Як можна побачити з рис. 3, еталон форми псевдовипадкового сигналу потребує додаткових комірок пам'яті для його збереження, крім того використовуються операції множення, що збільшує час процедури демодуляції.

Порівняння ефективності алгоритмічного забезпечення проведено за параметром часової складності [13] на однакових апаратних ресурсах – програмована система на кристалі CY8C29466 сімейства PSoC-1 фірми CYPRESS [14]. Тактова частота 24 МГц. Часова складність оцінена за часом опрацювання сигналів. Програмне забезпечення реалізовано мовою асемблер. Для порівняння продуктивності поданих алгоритмів проведено порівняння кількості опрацьованих відліків за однаковий проміжок часу.

Основні результати досліджень. В процесі проведення досліджень встановлено, що 100 16-ти бітових знакових відліків сигналу за кореляційним методом опрацьовуються протягом $1,3125 \cdot 10^{-4}$ с. За такий інтервал часу програмне забезпечення опрацювання сигналів з керованою ентропією дозволяє опрацювати в середньому 810 відліків. Тобто, за цим методом обробляється приблизно у 8,1 разів більше відліків сигналу ніж при кореляційному обробленні за однаковий проміжок часу.

Отже, вивільняється додатковий обчислювальний ресурс, який можна використати для покращення завадостійкості шляхом використання сигналів з більшою базою. Тобто, при однакових обчислювальних затратах, програмне забезпечення опрацювання сигналів з керованою ентропією дозволяє опрацьовувати сигнали з більшою у 8,1 разів базою, у порівнянні з кореляційним методом, що, відповідно, покращує завадостійкість. Автором отримано загальноприйняті [1] характеристики завадостійкості у вигляді залежності ймовірності спотворення одного двійкового символу від нормованого відношення сигнал/завада (представлено на рис. 4 для бази сигналів $W/R = 17$ дБ) та відношень сигнал/завада на вході та виході демодулятора приймального пристрою (див. рис. 5).

Максимальне покращення завадостійкості складає величину близько 5 дБ, а при зафіксованій на рівні 10^{-6} ймовірності помилок (одна із стандартних величин в сучасних комп'ютерних мережах) – не менше 2 дБ. Метод є більш ефективним в діапазоні значень відношення сигнал/завада S/N від мінус 7,5 до +15,2 дБ, і значень нормованого відношення E_b/N_0 від 9 дБ, порівняно з кореляційним опрацюванням, в умовах однакової часової складності.

Крім того, вивільнений обчислювальний ресурс можна спрямувати на реалізацію завадостійкового кодування, зокрема турбо-кодами, що також приводить до покращення завадостійкості.

Висновки. Завадостійкість методу обміну даними широкосмуговими сигналами з керованою ентропією є нижчою від теоретичної завадостійкості оптимального кореляційного оброблення ортогональних сигналів, проте реалізація апаратної частини приймально-передавального обладнання є значно простішою, а часова складність демодуляції є значно (до 8 разів при 16-ти розрядній оцифровці) меншою, що дозволяє за однаковий проміжок часу обробляти сигнали з більшою базою, і тим самим суттєво покращити завадостійкість.

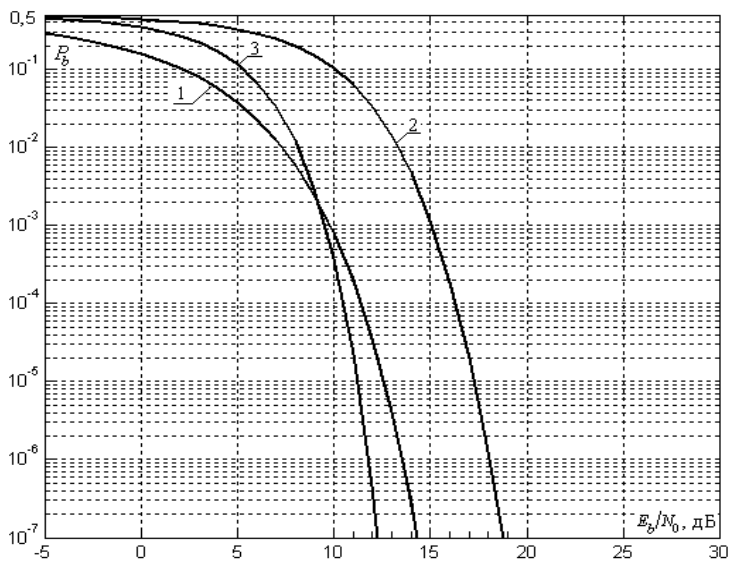


Рис. 4. Завадостійкість обміну даними (залежність ймовірності бітової помилки від нормованого відношення сигнал/завада): 1 – оптимальне оброблення ортогональних сигналів, 2 – завадостійкість обміну сигналами з керованою ентропією, 3 – в умовах однакової часової складності

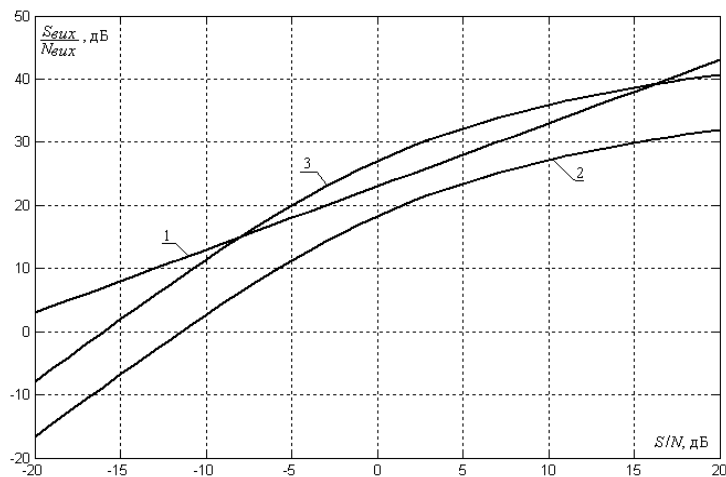


Рис. 5. Завадостійкість обміну даними (залежність відношення сигнал/завада на виході демодулятора від відношення на вході)

Перспективи подальших досліджень. Основними напрямками подальшого дослідження є вдосконалення процедури оцінювання ентропії з метою мінімізації помилки і збільшення швидкості, аналіз завадостійкості при застосуванні інших ймовірнісних характеристик, пошук типів сигналів, які забезпечують вищу ефективність демодуляції, розроблення ефективних способів демодуляції, дослідження застосування відновлення проміжних відліків сигналу, зокрема за допомогою інтерполяції, реалізація способів ефективної бітової синхронізації тощо.

Список літератури: 1. *Bernard Sklar*. Digital communications: fundamentals and applications / *Bernard Sklar*. – 2-ed. – Prentice-Hall PTR, 2001. – 1079 p. 2. *John G. Proakis*. Digital Communications / *John G. Proakis, Masoud Salehi*. – McGraw-Hill higher education, 2008. – 1050 p. 3. *Козленко М.І.* Дослідження ефективності використання частотного ресурсу при формуванні широкосмугових сигналів / *М.І. Козленко* // Наукові вісті. Приватний вищий навчальний заклад "Галицька академія". – 2010. – № 1 (17). – Івано-Франківськ: Приватний вищий навчальний заклад "Галицька академія", 2010. – С. 32 – 37. 4. *Stark W.E.* Coding for Frequency-Hopped Spread-Spectrum Communication with Partial-Band Interference: Part I. Capacity and Cutoff Rate / *Stark W.E.* // IEEE Trans. Commun., vol. COM33. – №. 10, October, 1985. – P. 1036 – 1044. 5. *Geraniotis E.* Error Probabilities for Direct – Sequence Spread – Spectrum Multiple- Access Communications: Part I. Upper and Lower Bounds. / *Geraniotis E., Pursley M.B.* // IEEE Trans. Commun., vol. COM30, n. 5, May, 1982. – P. 985-995. 6. *Terrence W. Barrett*. History of Ultra-WideBand (UWB) Radar & Communications: Pioneers and Innovators. Progress in Electromagnetics Symposium (PIERS 2000). – Cambridge, Massachusetts, 2000, July. 7. *Бельский Ю.Л.* Передача информации с помощью детерминированного хаоса / *Ю.Л. Бельский, А.С. Дмитриев* // Радиотехника и электроника. – 1993. – Т. 38. – № 7. – С. 1310 – 1315. 8. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. IEEE Standard 802.11. – IEEE Press, 1997. 9. Wireless LAN medium access control (MAC) specifications: Higher-speed physical layer extension 2,4GHz band. Part 11. ANSI / IEEE Std 802.11. – IEEE, 1999. 10. *Hanzo L.* The Pan-European Digital Cellular Mobile Radio Systems – Know as GSM / *L. Hanzo, J. Stefanov* // Mobile Radio Communications, edited by R. Steele, Chapter 8, Pentech Press, London, 1992. 11. Пат. 81017 Україна, МПК(2006) H04B 1/69. Спосіб передавання та приймання інформації / *Мельничук С.І., Козленко М.І.* (Україна). – заявка № а 2005 08893; заявл. 19.09.2005; опубл. 26.11.2007, Бюл. № 19. 12. *Козленко М.І.* Вплив часової форми випадкових сигналів з керованою ентропією на якість обміну даними в автоматизованих системах керування та розподілених комп'ютерних системах / *М.І. Козленко* // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2012. – № 8(179). – Луганськ: Видавництво Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2012. – С. 56 – 62. 13. *Черкаський М.* SH-модель алгоритму / *М. Черкаський* // Комп'ютерні системи та мережі. Вісник ДУ "Львівська політехніка". – Львів, 2004. – № 485. – С. 131 – 133. 14. Cypress Perform [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cypress.com>

Статтю представил д.т.н., проф. ПВНЗ "Галицька академія" Адасовський Б.І.

УДК 681.325

Временная сложность алгоритмов цифровой демодуляции широкополосных сигналов с управляемой энтропией / Козленко М.И. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2012. – № 38. – С. 93 – 101.

Проведено исследование временной сложности алгоритмов цифровой демодуляции широкополосных сигналов с управляемой энтропией в сравнении с классической корреляционной обработкой. Установлено, что демодуляция сигналов с управляемой энтропией осуществляется в восемь раз быстрее, что позволяет улучшить помехоустойчивость обмена данными в распределенных компьютерных системах и сетях общего и специального назначения. Ил.: 5. Библиогр.: 14 назв.

Ключевые слова: временная сложность, алгоритм, широкополосный сигнал, управляемая энтропия, компьютерная система.

UDC 681.325

Time complexity of the variable entropy spread spectrum signals digital demodulation / Kozlenko M.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – №. 38. – P. 93 – 101.

The time complexity of the variable entropy spread spectrum signals digital demodulation algorithms has been obtained. It has been proved that the time needed for signal processing according to the variable entropy method is eight times less than that time in traditional correlative signal processing. This fact may be used for noise proof feature index improvement of the data communications in the distributed computer systems. Figs.: 5. Ref.: 14 titles.

Keywords: time complexity, algorithm, spread spectrum signal, variable entropy, computer system.

Надійшла до редакції 27.06.2012

Ю.П. КОНДРАТЕНКО, д.-р техн. наук, проф., ЧДУ ім. П. Могили,
Миколаїв,

О.В. КОРОБКО, асп., НУК ім. адм. Макарова, Миколаїв,

А.І. СВІРІДОВ, бакалавр, НУК ім. адм. Макарова, Миколаїв

ФІЛЬТРАЦІЯ ЗАВАД ТА АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ФІЛЬТРІВ НА ОСНОВІ АДАПТИВНИХ АЛГОРИТМІВ ТА НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ADALINE

В статі розглянуто існуючі методи фільтрації завад за допомогою фільтрів, що використовують адаптивні алгоритми (метод найменших квадратів – LMS, метод рекурсивних найменших квадратів – RLS), та нейронної мережі ADALINE. Наведені часові діаграми результатів фільтрації сигналу від завад в залежності від параметрів адаптивних алгоритмів. Проаналізовані отримані результати фільтрації. Іл.: 5. Бібліогр.: 19 назв.

Ключові слова: фільтрація завад, адаптивні алгоритми, нейронна мережа ADALINE, часові діаграми.

Постановка проблеми. Цифрова обробка сигналів (ЦОС) у складних радіоелектронних системах характеризується низкою особливостей, серед яких: неможливість передбачення корисного сигналу, складність фільтрування сигналу від шуму (зокрема, від "білого шуму") і т.п. [1]. Сукупність даних факторів ускладнює розв'язання радіотехнічних завдань, що пов'язані з ЦОС. Одним з важливих напрямків застосування цифрової обробки сигналів є сфера задач цифрової фільтрації. Використання цифрових фільтрів має низку переваг перед аналоговими, зокрема, можливість створення фільтрів з нескінченною імпульсною характеристикою (НІХ), фільтрів високих порядків, високої точності (точність аналогових фільтрів обмежена допусками на елементи), гнучких в налаштуванні [1, 2].

Аналіз літератури. У високоякісних системах цифрова обробка сигналів часто здійснюється в умовах невизначеності системних характеристик, а отже апіорна і поточна інформація про параметри системи є неповною. Це обумовлено наявністю джерел випадкових перешкод і другорядних процесів (з точки зору вирішення задачі) з непередбачуваною поведінкою. Таким чином, стохастичність і нестационарність об'єктів та умов їх функціонування визначають фактор складності системи. Одним з найбільш перспективних шляхів подолання труднощів, породжуваних цим фактором, є застосування адаптивних алгоритмів [3 – 6] та нейронних мереж [7 – 10]. В даний час в задачах адаптивної фільтрації сигналу, як правило знаходять своє застосування

адаптивні фільтри, синтезовані на основі методів найменших квадратів (Least Mean Square – LMS) та рекурсивних найменших квадратів (Recursive Least Square – RLS) [11 – 13]. Суть цих методів полягає в поступовому наближенні значень коефіцієнтів фільтрів до шуканих (бажаних) з використанням методів регресійного аналізу. Разом з тим, все більшого поширення набувають системи фільтрації, синтезовані на основі нейронних мереж [7 – 9, 14].

Метою статті є порівняльний аналіз якісних (відносна похибка фільтрування) та часових (час налаштування фільтру) характеристик адаптивних фільтрів, що синтезовані з використанням нейронної мережі ADALINE та адаптивних алгоритмів LMS, RLS.

Виклад основного матеріалу. Всі способи використання адаптивних фільтрів, так чи інакше, зводяться до розв’язання задачі ідентифікації, тобто до визначення характеристик певної системи. На рис. 1 наведена структурна схема адаптивного фільтру [4, 8, 11, 14], синтезованого з використанням методу найменших квадратів та рекурсивних найменших квадратів [13, 15].

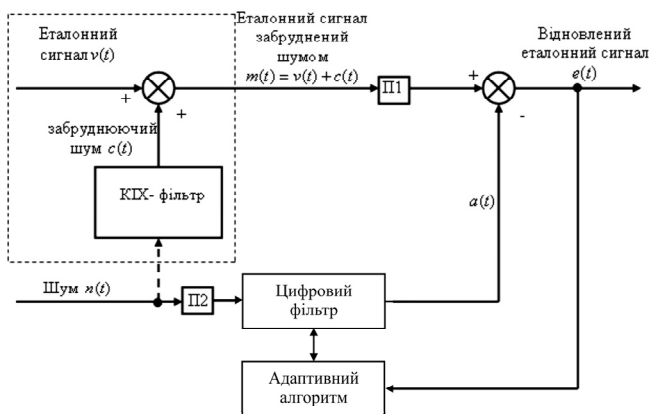


Рис. 1. Структурна схема адаптивного фільтру

Основні принципи реалізації адаптивних алгоритмів фільтрації розглянемо більш детально. Припустимо, що необхідно забезпечити комп'ютеризований вимірювальний комплекс системою зв'язку, при цьому сигнал, що сприймається приймачем П1, неминуче виявиться сильно забрудненим сторонніми сигналами (шумами). В реальних умовах функціонування позбутися цих шумів неможливо, але можна отримати

зразок шумового сигналу $n(t)$ (рис. 1), встановивши другий приймач П2 в безпосередній близькості від джерела шуму.

Вхідним сигналом адаптивного фільтра (рис. 1) є шумовий сигнал $n(t)$ від додаткового приймача П2, а в якості еталонного сигналу використовується сигнально-шумова суміш, сприйнята основним приймачем П1. Адаптивний фільтр прагне перетворити вхідний сигнал $m(t)$ таким чином, щоб зробити його якомога ближчим до корисного $v(t)$. Оскільки з вхідним сигналом фільтра корельовано [5] лише шумову складову зразкового сигналу, то в усталеному режимі на виході фільтра буде отримана оцінка шуму, присутнього в еталонному сигналі. Сигнал помилки, що розраховується як різниця між еталонним сигналом $m(t)$, забрудненим шумом, і вихідним сигналом адаптивного фільтра $a(t)$, буде в цьому випадку представляти собою відфільтрований від шуму зразковий сигнал $e(t)$ [3, 4].

Вибір типу фільтра і алгоритму його реалізації є важливими компонентами процесу проектування вискоефективних систем зв'язку. Для порівняльного аналізу ефективності процесів фільтрації розглянемо адаптивні алгоритми, синтезовані з використанням методів RLS та LMS і нейронної мережі ADALINE [16, 17, 18].

Для спрощення математичних викладок припустимо, що сигнали фільтра являються мовними. Однак результуючі формули легко узагальнюються на випадок комплексних сигналів і фільтрів [12, 15]. Більш детальний розгляд даних алгоритмів наведено в [3, 4, 6].

Адаптивний алгоритм найменших квадратів (Least Mean Square – LMS). Нехай вхідний дискретний випадковий сигнал $n(t)$ (рис. 1) обробляється нерекурсивним дискретним фільтром порядку N , коефіцієнти якого можуть бути представлені вектор-стовпцем $w = [w_0, w_1, \dots, w_N]^T$, тоді вихідний сигнал цифрового фільтра (1) дорівнює

$$a(t) = u^T(t)w, \quad (1)$$

де $u(t) = [x(t), x(t-1), \dots, x(t-N)]^T$ – вектор-стовпець вмісту лінії затримки фільтра на t -му кроці.

Помилка відтворення (2) зразкового сигналу $m(t)$, відповідно, визначається як [12, 15]

$$e(t) = m(t) - a(t) = m(t) - u^T(t)w. \quad (2)$$

Адаптивному алгоритму необхідно знайти такі коефіцієнти фільтра w , які забезпечують максимальну близькість вихідного сигналу $a(t)$ до зразкового $m(t)$, тобто мінімізують помилку $e(t)$ (рис. 1). Оскільки $e(t)$ також є випадковим процесом, в якості міри її величини розумно прийняти середньоквадратичне значення, тоді функціонал, що оптимізується (3) можна визначити як [4]

$$J(w) = \overline{e^2(t)} \rightarrow \min; \quad (3)$$

$$e^2(t) = (m(t) - u^T(t)w)^2 = m^2(t) - 2m(t)u^T(t)w + w^T u(t)u^T(t)w. \quad (4)$$

Статистично усереднюючи вираз (4), отримаємо (5)

$$J(w) = \overline{e^2(t)} = \overline{m^2(t)} - \overline{2m(t)u^T(t)w} + \overline{w^T u(t)u^T(t)w}, \quad (5)$$

де $\overline{m^2(t)} = \sigma_d^2$ – середній квадрат зразкового сигналу; $\overline{m(t)u^T(t)} = p^T$ – транспонований вектор-стовпець взаємних кореляцій p між t -м відліком зразкового сигналу і вмістом лінії затримки u фільтра; $\overline{u(t)u^T(t)} = R$ – кореляційна матриця сигналу, що має розмір $(N+1) \times (N+1)$.

Метод найшвидшого спуску, що базується на пошуку мінімуму цільової функції (5), є головним критерієм адаптації алгоритму найменших квадратів. При використанні даного способу оптимізації вектор коефіцієнтів w повинен рекурсивно оновлюватися наступним чином (6)

$$w(t+1) = w(t) - \frac{\mu}{2} \text{grad} J(w(t)) = w(t) + \mu \cdot p - \mu R w(t), \quad (6)$$

де μ – розмір кроку градієнтного спуску; p – вектор-стовпець взаємних кореляцій між t -м відліком зразкового сигналу і вмістом лінії затримки фільтра; R – кореляційна матриця сигналу, що має розмір $(N+1) \times (N+1)$.

Докладний аналіз збіжності даного процесу наведено в [4]. Показано, що алгоритм сходиться, якщо $0 < \mu < 2 / \lambda_{\max}$, де $\lambda_{\max}$ – максимальне власне число кореляційної матриці R , проте для розрахунку градієнта необхідно знати значення матриці R і вектора p . На практиці можуть бути доступні лише оцінки цих значень, отримані за

вхідними даними. Такими найпростішими оцінками є миттєві значення кореляційної матриці (7) і вектора взаємних кореляцій (8), що отримуються без будь-якого усереднення [12, 15]:

$$R(t) = u(t)u^T(t); \quad (7)$$

$$p(t) = m(t)u(t). \quad (8)$$

При використанні даних оцінок формула (6) приймає вигляд (9)

$$w(t+1) = w(t) + \mu u(t)(m(t) - u^T(t)w(t)). \quad (9)$$

Вираз, що стоїть в дужках, згідно з (2) являє собою помилку фільтрації $e(t)$, з урахуванням цього, вираз для рекурсивного оновлення коефіцієнтів фільтра має вигляд (10)

$$w(t+1) = w(t) + \mu e(t)u(t). \quad (10)$$

Основною перевагою алгоритму LMS є гранична обчислювальна простота – для підстроювання коефіцієнтів фільтра на кожному кроці потрібно виконати $N+1$ операцій "множення-складання". Наслідком цього є повільна збіжність і підвищена дисперсія похибки в усталеному режимі – коефіцієнти фільтра завжди коливаються навколо оптимальних значень, що і збільшує рівень вихідного шуму [5, 6].

Адаптивний алгоритм рекурсивних найменших квадратів (Recursive Least Square - RLS). При розгляді попереднього алгоритму вхідний сигнал вважався випадковим процесом і мінімізувався середній квадрат помилки відтворення зразкового сигналу. У разі прийому нестационарного сигналу статистичне усереднення може бути неможливо і потрібно вести обробку по одній або декількох реалізаціях процесу, тоді оптимізаційна задача може бути сформульована наступним чином: потрібно відшукати такі коефіцієнти фільтра w , щоб норма помилки (11) відтворення зразкового сигналу була мінімальною [3, 4].

$$J(w) = \sum_{t=0}^{T-1} |e(t)|^2 \rightarrow \min. \quad (11)$$

Перейдемо до матричного запису вздовж координати t , отримавши формули для векторів-стовпців вихідного сигналу a (12) і для помилки відтворення вхідного сигналу e (13) [12, 15]

$$a = U^T w, \quad (12)$$

$$e = m - U^T w, \quad (13)$$

де m – вектор-стовпець відліків зразкового сигналу;
 $U = [u(0), u(1), \dots, u(T-1)]$ – матриця, стовпці якої представляють собою вміст лінії затримки фільтра на різних тактах.

Вираз (11) для норми помилки можна переписати в матричному вигляді наступним чином

$$J(w) = e^T e \rightarrow \min. \quad (14)$$

Підставивши (12) та (13) в (14), отримаємо (15)

$$J(w) = (m - U^T w)^T (m - U^T w) = m^T m - w^T U m - m^T U^T w + w U U^T w. \quad (15)$$

Для знаходження мінімуму цільової функції необхідно обчислити градієнт даного функціоналу і прирівняти його до нуля (16).

$$\text{grad} J(w) = -2U m + 2U U^T w = 0. \quad (16)$$

Звідси шукане оптимальне рішення дорівнює

$$w = (U U^T)^{-1} U m. \quad (17)$$

В процесі прийому сигналу можливо на кожному черговому кроці перераховувати коефіцієнти фільтра безпосередньо за формулою (17), однак це пов'язано з невиправдано великими обчислювальними витратами. Дійсно, розмір матриці U постійно збільшується і, крім того, необхідно щоразу заново обчислювати зворотну матрицю $(U U^T)^{-1}$.

Скоротити обчислювальні витрати можна, якщо врахувати, що на кожному кроці до матриці U додається лише один новий стовпець, а до вектора m – один новий елемент. Це дає можливість організувати обчислення рекурсивно.

Головною перевагою алгоритму RLS є швидка збіжність. Однак досягається це за рахунок значного ускладнення (у порівнянні з алгоритмом LMS) обчислень. Згідно [4], при оптимальній організації обчислень для оновлення коефіцієнтів фільтра на кожному такті потрібна $2.5N^2 + 4N$ пара операцій "множення-складання" [4, 12, 15].

Нейронна мережа ADALINE. У 1960 р. Уїдроу і його аспірант Хофф запропонували мережу ADALINE (ADaptive LInear NEuron) і розробили правило навчання, назване правилом Уїдроу-Хоффа [9, 7, 11]. Правило Уїдроу-Хоффа використовується для навчання мережі, що складається з шару розподільних нейронів і одного вихідного нейрона з лінійною функцією активації (рис. 2). Вихідне значення такої мережі визначається за формулою (18) [8, 9]

$$y = \sum_{i=1}^n w_{i1} \cdot x_i - S_0, \quad (18)$$

де n – число нейронів розподільного шару; S_0 – зсув.

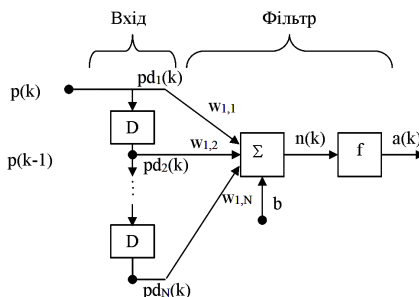


Рис. 2. Структура нейронно-мережевого фільтра на основі мережі ADALINE: p – вхідний сигнал; D – лінія затримок; w – вектор вагових коефіцієнтів; b – деяка константа зміщення; f – передавальна функція; a – вихідний сигнал мережі

Правило навчання Уїдроу-Хоффа відомо під назвою дельта-правила (delta-rule) та передбачає мінімізацію [17, 18] середньоквадратичної помилки (19) нейронної мережі, яка для L вхідних образів визначається як

$$E = \frac{1}{2} \cdot \sum_{k=1}^L \left(y^{(k)} - t^{(k)} \right)^2, \quad (19)$$

де $y^{(k)}$ і $t^{(k)}$ – вихідне і цільове значення мережі для k -го образу.

Дельта-правило базується на методі градієнтного спуску в просторі вагових коефіцієнтів і зміщень нейронної мережі [18]. За цим методом ваги і зміщення змінюються з часом за виразами (20) та (21)

$$w_{i1}(t+1) = w_{i1}(t) - \alpha \cdot \frac{\partial E(k)}{\partial w_{i1}(t)}; \quad (20)$$

$$S_0(t+1) = S_0(t) - \alpha \cdot \frac{\partial E(k)}{\partial S_0(t)}, i = 1, 2 \dots n, \quad (21)$$

де α – швидкість навчання ($0 < \alpha < 1$); $x_i^{(k)}$ – i -а компонента k -го образу.

Після обчислення часткової похідної (22)

$$\frac{\partial E(k)}{\partial w_{il}(t)} = \frac{\partial E(k)}{\partial y^{(k)}} \cdot \frac{\partial y^{(k)}}{\partial w_{il}(t)} = (y^{(k)} - t^{(k)}) \cdot x_i^{(k)}, \quad (22)$$

вираз для адаптивного оновлення значень ваг нейронної мережі (23) приймає значення [8, 9, 18]

$$w_{il}(t+1) = w_{il}(t) - \alpha \cdot (y^{(k)} - t^{(k)}) \cdot x_i^{(k)}; \quad (23)$$

де w – матриця вагів; x – вектор входів; t – номер ітерації; $(y^{(k)} - t^{(k)})$ – помилка; α – позитивна константа.

Мережа ADALINE на сьогоднішній день є однією з найбільш широко використовуваних архітектур, в основному завдяки застосуванню в задачах адаптивної фільтрації [13, 14, 17].

Дослідження впливу порядку адаптивних фільтрів на якість фільтрації. Одним з головних параметрів, що впливають як на швидкість так і на якість фільтрації цифрових фільтрів є їх порядок, а отже доцільно провести аналіз впливу порядку цифрового фільтру на якість фільтрації при застосуванні адаптивних алгоритмів.

Проведена авторами оцінка якісних показників процесу фільтрації в залежності від порядку фільтра здійснена з використанням методів оцінки гіпотез математичної статистики, а саме:

– *Кореня із середнього для квадрата помилки (RMSE) (24)*, що є оцінкою стандартного відхилення випадкової компоненти між даними синтезованої регресійної моделі та дослідними значеннями [19]

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_i^*)^2} \rightarrow 0, \quad (24)$$

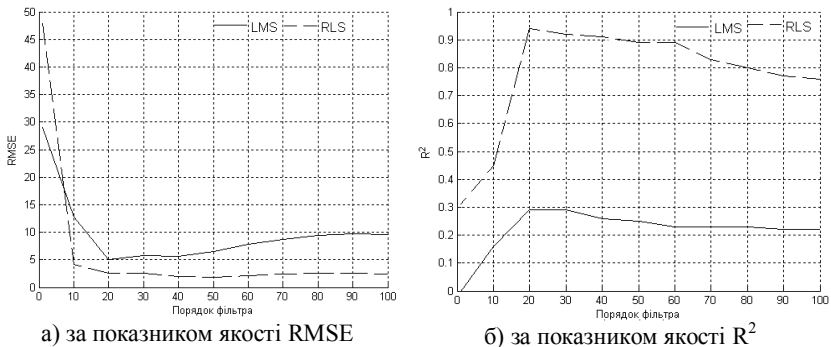
де x – вектор значень еталонного сигналу; x^* – вектор значень вихідного сигналу фільтру; n – кількість відліків вхідного сигналу.

– *Коефіцієнту детермінації (R^2) (25)*, що є часткою дисперсії відхилень залежної змінної від її середнього значення. Іншими словами, R^2 – це квадрат змішаної кореляції між експериментальними значеннями та значеннями синтезованої математичної моделі [19]

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_i^*)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \rightarrow 1, \quad (25)$$

де $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ - середнє арифметичне значення вхідного сигналу.

Результати оцінки якості процесів фільтрації з використанням адаптивних алгоритмів RLS та LMS наведено на рис. 3.



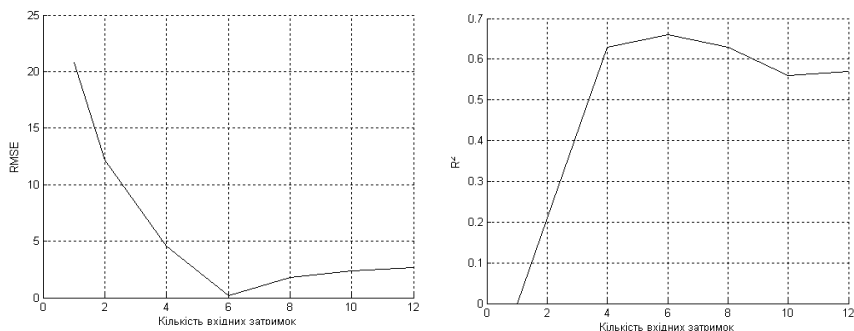
а) за показником якості RMSE
б) за показником якості R^2
Рис. 3. Ефективність роботи фільтрів на основі адаптивних алгоритмів RLS та LMS при різному порядку фільтра

Аналізуючи результати фільтрації адаптивних алгоритмів при різних значеннях порядку фільтра можна стверджувати, що збільшення порядку фільтра призводить до покращення результатів фільтрації лише в певному проміжку значень, так для RLS-фільтра оптимальний порядок фільтру лежить в межах [28 – 45], а для LMS-фільтру в межах [20 – 40]. Слід також відмітити, що збільшення порядку фільтра призводить до зменшення швидкодії обчислювальної системи та підвищення складності адаптивних алгоритмів, а тому для оцінки часових характеристик процесів фільтрації авторами обрано порядок фільтрів рівним 32.

Аналогом порядку фільтру для нейронної мережі ADALINE є кількість ліній вхідних затримок D (рис. 2), а отже доцільно провести якісну оцінку процесів фільтрації з використанням нейронної мережі ADALINE при різній кількості ліній вхідних затримок.

Наведені на рис. 4 результати фільтрації нейронної мережі ADALINE при різній кількості вхідних затримок свідчать про те, що найкращі показники роботи нейро-мережевого фільтру забезпечуються при використанні 6 ліній вхідних затримок [8].

Моделювання процесів фільтрації цифрових фільтрів на основі адаптивних алгоритмів RLS, LMS та нейронної мережі ADALINE. Для аналізу швидкодії адаптивних алгоритмів авторами проведено моделювання фільтрації звукового сигналу голосу людини $v(t)$, який додатково забруднено шумом $m(t)$ (рис. 5). При моделюванні порядки адаптивних фільтрів на основі алгоритмів RLS та LMS встановлено рівними 32, а нейронна мережа ADALINE має 6 ліній затримок.



а) за показником якості RMSE
б) за показником якості R^2
Рис. 4. Ефективність роботи фільтру на основі нейронної мережі ADALINE при різній кількості вхідних затримок

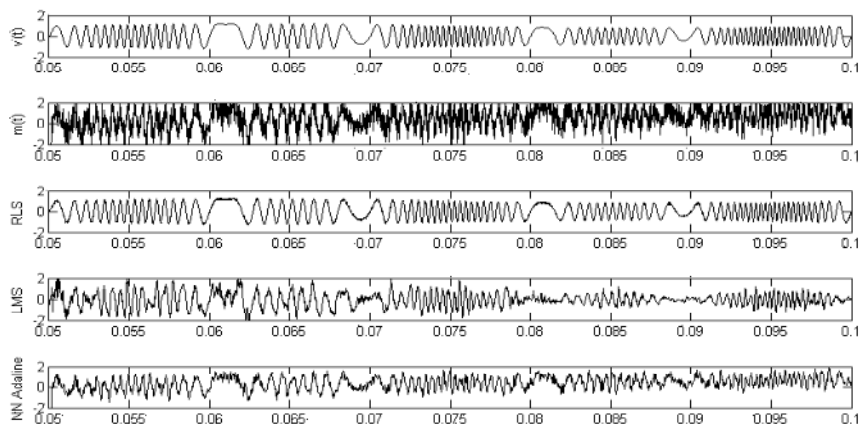


Рис. 5. Результати фільтрації сигналу з використанням нейронної мережі ADALINE та адаптивних алгоритмів LMS та RLS
 $v(t)$ – сталонний сигнал; $m(t)$ – сигнал забруднений шумом

Аналізуючи часові діаграми (рис. 5), можна впевнено говорити, що усі фільтри в тій чи іншій мірі розв'язують задачу шумопоглинання. У фільтра на основі алгоритму LMS за 5000 тактів різниця між еталонним вхідним сигналом і вихідним адаптованим в процентному співвідношенні складає 20 – 25%. В свою чергу у фільтра на основі алгоритму RLS за той самий час відносна похибка дорівнює 3 – 5%, причому відносна похибка менша за 10%, настає вже після 1500 тактів. Ця швидша збіжність досягається за рахунок значного ускладнення обчислень (у порівнянні з алгоритмом LMS). Фільтр на основі нейронної мережі ADALINE справляється з задачею шумопоглинання з ефективністю в 8 – 10%, проте слід зазначити, що при моделюванні використовувалась попередньо навчена нейронна мережа. Навчання нейронної мережі відбувалось на основі еталонного сигналу $v(t)$ та забрудненого сигналу $m(t)$ на проміжку часу $[0...0.05]$ на протязі 100 епох. Відносна похибка вихідного сигналу нейронної мережі під час навчання після 5000 тактів складає лише 1 – 3%.

Висновки. Застосування адаптивних алгоритмів та нейронної мережі ADALINE навіть при многократному перевищенні шуму над корисною складовою в виміряному сигналі дозволяє отримати очищений від шуму корисний сигнал практично без спотворень.

Фільтр на основі метода найменших квадратів (LMS) має найгірші результати збіжності серед усіх фільтрів розглянутих в даній роботі, що пов'язано з простотою LMS алгоритму та дозволяє використовувати метод LMS в умовах коли швидкість збіжності не відіграє значну роль.

Фільтр, створений на основі метода рекурсивних найменших квадратів (RLS), має найкращі результати серед усіх розглянутих фільтрів. Але складність його реалізації та великі розрахункові процедури під час фільтрації ускладнюють використання цього фільтра. Даний фільтр доцільно використовувати коли якість та швидкість фільтрації стоять на першому місці і забезпечується наявність великих розрахункових потужностей.

Перевагами фільтра, створеного на основі нейронної мережі ADALINE, є добра збіжність і простота реалізації. Проте використання нейромережових фільтрів зумовлює необхідність їх попереднього навчання, а отже динаміка та якість роботи системи фільтрації буде залежати від обраного алгоритму навчання, що призводить до ускладнення етапу проектування системи.

Виходячи з отриманих результатів, в подальшому авторам доцільно провести порівняльний аналіз швидкодії зазначених алгоритмів на сучасних мікропроцесорних системах цифрової обробки даних.

Список літератури: 1. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учебник для вузов / А.Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2006. – 607 с. 2. Айфичер Э. Цифровая обработка сигналов.

ISSN 2079-0031

Вестник НТУ "ХПИ", 2012, № 38

Практический подход / Э. Айфичер, Б. Джервис. – М.: "Вильямс", 2004. – 992 с. **3. Уидроу Б.** Адаптивная обработка сигналов / Б. Уидроу, С.Д. Стурнз. – М.: Радио и связь, 1989. – 440 с. **4.** Адаптивные фильтры / Под ред. К.Ф.Н. Коуэна, П.М. Гранта. – М.: Мир, 1988. **5. Glentis G.O.** Efficient Least Squares Adaptive Algorithms for FIR Transversal Filtering / G.O. Glentis, K. Berberidis, S. Theodoridis // Signal Processing Magazine, IEEE. – 1999. – V.16. – №. 4. – P. 13-41. **6. Haykin S.** Adaptive Filter Theory / S. Haykin. – Prentice Hall, 2002. – 920 p. **7. Комашинский В.И.** Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / В.И. Комашинский, Д.А. Смирнов. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2002. – 94 с. **8. Steel D.C.** Neural networks for communications / D.C. Steel. – Department of Computer Science and Engineering University of Warwick. – Coventry. – 2001. **9. Медведев В.С.** Нейронные сети / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин. – М.: Диалог МИФИ, 2002. – 496 с. **10. Дьяконов В.П.** Компьютерная математика: Теория и практика / В.П. Дьяконов. – М.: Нолидж, 2001. – 1295 с. **11. Widrow B.** Noise Canceling and Channel Equalization / B. Widrow, M.A. Lehr // Handbook of Brain Theory and Neural Networks. – MIT Press, 1995. – P. 648-650. **12. Саломатин С.Б.** Компьютерное моделирование и обработка нестационарных сигналов / С.Б. Саломатин, А.И. Бурак. – Минск, 2004. – 36 с. **13. Paraskeva George.** Neural fuzzy theory and adaptive noise cancellation techniques / George Paraskeva. – University of Warwick, 2003. – 93 p. **14. Abend Kenneth.** The 2001 Benjamin Franklin Medal in Engineering presented to Bernard Widrow / Kenneth Abend // Journal of the Franklin Institute. – № 339. – 2002. – P. 283–294. **15. Сергиенко А.Б.** Алгоритмы адаптивной фильтрации: особенности реализации в MATLAB / А.Б. Сергиенко // Экспонента Про. Математика в приложениях. – № 1. – 2003. – С. 18-28. **16. Круглов В.В.** Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2002. – 382 с. **17. Widrow B.** Adaptive switching circuits / B. Widrow, M. Hoff // IRE WESCON Convention, 1960. – P. 96-104. **18. Калацкая Л.В.** Организация и обучение искусственных нейронных сетей / Л.В. Калацкая, В.А. Новиков. – Мн.: БГУ, 2002. – 76 с. **19. Королюк В.С.** Справочник по теории вероятности и математической статистике / В.С. Королюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. – М.: Наука, 1985. – 640 с.

Статтю представил д.т.н., проф. ЧДУ ім. П. Могилі Кондратенко Ю.П.

УДК 519.218.82+004.032.26

Фильтрация помех и анализ характеристик фильтров на основе адаптивных алгоритмов и нейронной сети ADALINE/ Кондратенко Ю.П., Коробко А.В., Свиридов А.И. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2012. – № 38. – С. 102 – 114.

В статье рассмотрены существующие методы фильтрации помех с помощью фильтров, использующих адаптивные алгоритмы (метод наименьших квадратов – LMS, метод рекурсивных наименьших квадратов – RLS) и нейронной сети ADALINE. Приведенные временные диаграммы результатов фильтрации сигнала в зависимости от параметров адаптивных алгоритмов фильтров фильтрации помех. Проанализированы полученные результаты фильтрации. Ил.: 5. Библиогр.: 19 назв.

Ключевые слова: фильтрация помех, адаптивные алгоритмы, нейронная сеть ADALINE, временные диаграммы.

UDC 519.218.82+004.032.26

Noise cancellation and characteristics analysis of the filters based on adaptive algorithms and neural network ADALINE / Kondratenko Y.P., Korobko O.V., Sviridov A.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – №. 38. – P. 102 – 114.

The article considers the existing methods of noise filtering by filters using adaptive algorithms (least squares method – LMS and recursive least squares method – RLS), and neural network ADALINE. Time-diagrams of noise filtering results depending on the parameters of adaptive filter algorithms are given. The results of filtration are analyzed and compared. Figs.: 5. Refs.: 19 titles.

Keywords: noise cancellation, adaptive algorithms, neural network ADALINE, time diagrams.

Надійшла до редакції 02.08.2012

И.И. МАЦКО, асп., ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Г.И. Носова",
Магнитогорск,
О.С. ЛОГУНОВА, д-р. техн. наук, проф., ФГБОУ ВПО "МГТУ
им. Г.И. Носова", Магнитогорск

ИНТЕГРАЦИЯ ЭРГАТИЧЕСКОГО МОДУЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА НЕПРЕРЫВНО-ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ В АСУ ТП МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА¹

Представлена схема интеграции эргатического модуля оценки качества непрерывно-литой заготовки в АСУ ТП металлургического производства с учетом последовательности получения и обработки стали, а также системы принятия решений о состоянии технологической цепочки на основе этой оценки. Ил.: 1. Библиограф.: 9 назв.

Ключевые слова: эргатический модуль оценки качества, схема интеграции, система принятия решения, технологическая цепочка, металлургическое производство.

Постановка проблемы и анализ литературы. Все современные металлургические предприятия применяют автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) и в большинстве случаев выполняется независимое управление отдельными цепочками полного цикла производства. Использование каскадного управления технологическими цепочками, является одним из комплексных подходов к АСУ ТП, позволяющим управлять внешними воздействиями, передающимися с предыдущих технологических этапов производства.

Существует устойчивое мнение о том, что макроструктура стали формируется только под воздействием факторов, действующих на непрерывно-литую заготовку (НЛЗ) в процессе ее охлаждения на машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Учитывая, что производство заготовки выполняется серийно и каждая серия может содержать до 50 плавок, существует возможность корректировки технологии не только на участке непрерывной разливки, но и на предыдущих этапах.

В настоящее время оценка макроструктуры непрерывно-литых заготовок на ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат" (ОАО "ММК") производится на основе стандартов и технологических инструкций [1] и [2]. Изучение описательных характеристик и областей расположения внутренних макродефектов непрерывно-литой заготовки позволило выполнить математическое описание каждого вида дефекта [3,

¹ Научные исследования выполняются при финансовой поддержке грантов Правительства Челябинской области и ФГБОУ ВПО "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова"

4], спроектировать и разработать программный модуль для оценки качества непрерывно-литой заготовки в автоматизированном режиме [5].

Цель работы – интеграция в АСУ ТП эргатического модуля автоматизированной оценки качества непрерывно-литой заготовки с учетом каскадного управления технологическими цепочками.

Схема интеграции в АСУ ТП программного модуля автоматизированной оценки качества непрерывно-литой заготовки.

Учитывая технологические инструкции и стандарты на полупродукты металлургического производства [1, 2, 6 – 9], применяемые на ОАО "ММК" была разработана схема интеграции (рис.) программного модуля в АСУ ТП технологической цепочки производства непрерывно-литой заготовки в условиях ЭСПЦ ОАО "ММК". В каскадной схеме управления используется три блока: 1 – контур управления выплавкой стали в дуговых электросталеплавильных печах (ДСП); 2 – контур управления обработкой металла на установке печь-ковш (УПК); 3 – контур управления непрерывной разливкой стали на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ).

На рис. введены обозначения: Z_1^1 – задание УПК на соотношение массы шихтовых материалов; Z_1^2 – задание УПК на габаритные размеры металлолома; Z_2^1 – температура металла после выпуска; $\{Z_2^2\}$ – значение процентного содержания химических элементов марочного содержания после выпуска; Z_3^1 – температура металла после доводки; $\{Z_3^2\}$ – значение процентного содержания химических элементов марочного содержания после доводки; Z_1^{K1} – скорректированное задание дуговой сталеплавильной печи на соотношение массы шихтовых материалов; Z_1^{K2} – скорректированное задание ДСП на габаритные размеры металлолома; Z_2^{K1} – скорректированное задание установке печь-ковш (УПК) по конечной температуре металла; Z_2^{K2} – скорректированное задание УПК на процентное содержание химических элементов марочного содержания; Z_3^{K1} – скорректированное задание МНЛЗ на расход охладителя в зонах вторичного охлаждения; Z_3^{K2} – скорректированное задание МНЛЗ на регулирование состава и расхода шлакообразующей смеси (ШОС) в кристаллизаторе МНЛЗ; $\{Z_1^{ex}\}$ – расчетные значения режимов локальных контуров управления ДСП (электрический режим, расход ШОС, расход ферросплавов, расход

инертных газов, температурный режим); $\{Z_2^{ex}\}$ – расчетные значения режимов локальных контуров управления УПК (электрический режим, расход ШОС, расход ферросплавов, расход инертных газов, температурный режим, расход раскисляющих и легирующих материалов); $\{Z_3^{ex}\}$ – расчетные значения режимов локальных контуров управления МНЛЗ (расход воды, скорость вытягивания, расход ШОС, амплитуда и частота качания кристаллизатора); $V_{вых}$ – объем выхода годной заготовки; I_3 – образец, в виде темплета и (или) его серного отпечатка; $\{O_3\}$ – экспертные оценки макродефектов на поверхности темплета по классам ОСТ 14-4-73 [2]; K_1 – указание на корректировку управления ДСП; K_2 – указание на корректировку управления УПК; K_3 – указание на корректировку управления МНЛЗ; $\{Z_1^p\}$ – значения промоделированных параметров локальных контуров управления ДСП; $\{Z_2^p\}$ – значения промоделированных параметров локальных контуров управления УПК; $\{Z_3^p\}$ – значения промоделированных параметров локальных контуров управления МНЛЗ; ΔZ_1^1 – коррекция задания ДСП на соотношение массы шихтовых материалов; ΔZ_1^2 – коррекция задания ДСП на габаритные размеры металлолома; ΔZ_2^1 – коррекция задания УПК на температуру металла; ΔZ_2^2 – коррекция задания УПК на процентное содержание химических элементов марочного содержания; ΔZ_3^1 – коррекция задания УПК на охлаждение сляба; ΔZ_3^2 – коррекция задания УПК на процентное содержание химических элементов в назначаемой марке стали.

В глобальных контурах (1, 2, 3) блок моделей процессов принимает указания на корректировку параметров технологии. С учетом указаний смоделированные параметры передаются блоку принятия решений о корректировке входных параметров. После внесения корректировок во входные данные локальные контуры выбирают значения управляемых параметров, которыми воздействуют на управляемый объект. В глобальных контурах ДСП и УПК (1, 2) управляемыми объектами является жидкий металл, в МНЛЗ (3) – заготовка. В глобальном контуре управления непрерывной разливкой стали значения управляемых параметров обладают инерционностью, определенной протяженностью МНЛЗ и конструкцией зон вторичного охлаждения.

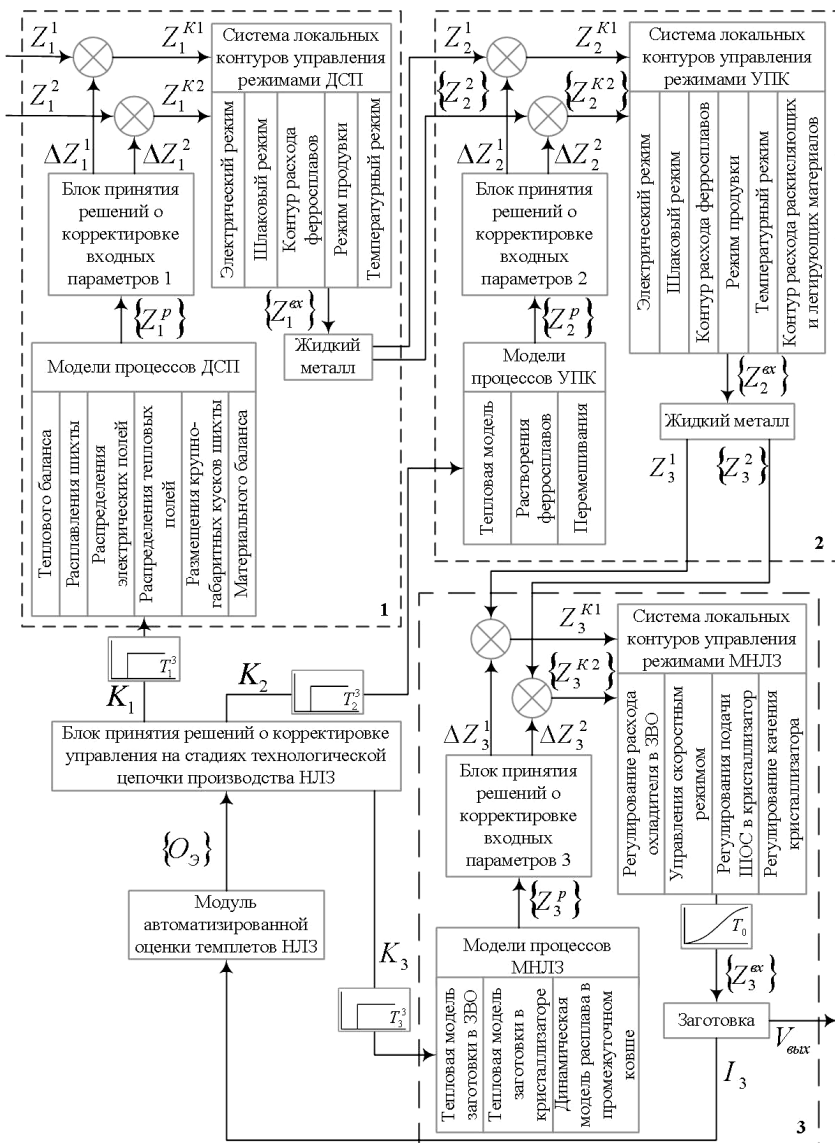


Рис. Схема интеграции в АСУ ТП программного модуля автоматизированной оценки качества непрерывно-литой заготовки

Образец, в виде темплета и (или) его серного отпечатка поступает в модуль автоматизированной оценки темплетов НЛЗ. После обработки поступившего изображения модуль передает экспертные оценки макродефектов на поверхности темплета блоку принятия решений о корректировке управления на стадиях технологической цепочки производства НЛЗ.

Блок принятия решения формирует указания на корректировку управления, которые передаются с запаздыванием в блоки математических моделей процессов глобальных контуров для расчета физических значений управляемых параметров. Принятое решение передается в каждую подсистему глобального контура с запаздыванием, которое возникает в результате временных интервалов, необходимых для выполнения операций на последующие стадии обработки жидкого металла, заготовки или образца. Каждая система содержит несколько локальных контуров, способных управлять одним параметром по указанному заданию. В настоящее время предлагается множество математических моделей, позволяющих вычислять и оптимизировать параметры управления на каждом этапе технологической цепочки. Эти математические модели составляют основу математического обеспечения глобального и системы локальных контуров управления.

Выводы. В работе доказано, что существует возможность корректировки серийной технологии на всех этапах производства непрерывно-литой заготовки. Каскадное управление позволяет контролировать внешние воздействия, передающиеся с предыдущих технологических этапов производства и извне. В работе представлен один из вариантов интеграции в АСУ ТП металлургического производства эргатического модуля автоматизированной оценки качества непрерывно-литой заготовки, обеспечивающего информационную и программную поддержку обратной связи в системе каскадного управления технологической цепочкой получения готовой продукции.

Список литературы: 1. Технологическая инструкция ТИ 101-Я-7-2009. Контроль макроструктуры непрерывнолитых слывов производства ОАО "ММК". Отбор, механическая обработка, снятие серных отпечатков и травление темплетов. – Магнитогорск: ОАО "ММК", 2009. – 13 с. 2. Отраслевой стандарт ОСТ 14-4-73. Сталь. Метод контроля макроструктуры литой заготовки (слитка), полученной методом непрерывной разливки, введ. 1973.07.01. – М.: Министерство черной металлургии СССР, 1973. – 15 с. 3. *Мацко И.И.* Математическое обеспечение распознавания объектов нерегулярной формы на цветных изображениях темплетов / *И.И. Мацко, О.С. Логунова* // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2011. – № 3. – С. 87-92. 4. *Логунова О.С.* Комплексная подсистема управления на металлургическом предприятии / *О.С. Логунова, И.И. Мацко, В.В. Павлов* // Проблемы теории и практики управления. – 2011. – № 9. – С. 51-58. 5. *Логунова О.С.* Алгоритмы и программное обеспечение распознавания низко-контрастных

изображений при оценке качества стали / *О.С. Логунова, П.П. Макарычев* // Программные продукты и системы. – 2008. – № 3. – С. 79-81. **6.** Технологическая инструкция ТИ 101-СТ-ЭСПЦ-64-2007. Выплавка стали в электропечах. – Магнитогорск: ОАО "ММК", 2007. – 43 с. **7.** Технологическая инструкция ТИ 101-СТ-ККЦ-22-2005. Обработка металла на агрегате доводки стали и установке усреднительной продувки металла в ковше. – Магнитогорск: ОАО "ММК", 2005. – 26 с. **8.** Технологическая инструкция ТИ 101-СТ-ККЦ-83-2008. Обработка стали на установке печь-ковш. – Магнитогорск: ОАО "ММК", 2008. – 24 с. **9.** Технологическая инструкция ТИ 101-СТ-ККЦ-96-2010. Разливка стали на одноручевой машине непрерывного литья заготовок № 6 (МНЛЗ № 6) кислородно-конвертерного цеха. – Магнитогорск: ОАО "ММК", 2010. – 86 с.

Статью представил д.т.н., проректор по научной работе ФГБОУ ВПО "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова", проф. Вдовин К.Н.

УДК 621.746.047:004.42

Інтеграція ергатичних модуля оцінки якості безперервно-литий заготовки в АСУ ТП металургійного виробництва / Матко І.І., Логунова О.С. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – №. 38. – С. 115 – 120.

Представлена схема інтеграції ергатичних модуля оцінки якості безперервно-литий заготовки в АСУ ТП металургійного виробництва з урахуванням послідовності отримання та обробки сталі, а також системи прийняття рішень про стан технологічного ланцюжка на основі цієї оцінки. Іл.: 1. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: ергатичний модуль оцінки якості, схема інтеграції, система прийняття рішення, технологічний ланцюжок, металургійне виробництво.

UDC 621.746.047:004.42

Integration of quality estimation ergatic module into metallurgical enterprise PCS // Matsko I.I., Logunova O.S. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – №.. – P. 115 – 120.

The article represents the scheme of integration of quality estimation ergatic module into metallurgical enterprise PCS taking steel acquisition and processing into account. Decision making system, based on that estimation, is also represented. Figs: 1. Refs: 9 titles.

Keywords: quality estimation ergatic module, integration scheme, decision making system, technological chain, metallurgical enterprise.

Поступила в редакцию 03.04.2012

Ю.Н. МИЦАЙ, д-р. физ.-мат. наук, проф., Крымский гуманитарный университет, Ялта,

А.Н. МАЙОРОВА, канд. физ.-мат. наук, Крымский гуманитарный университет, Ялта

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КВАНТОВОГО ИЗМЕРЕНИЯ

В работе построена математическая модель редукции волновой функции. В основу модели положены идеи, развитые Климонтовичем, и применен метод стохастического квантования в формулировке Пригожина. Предложено уравнение, учитывающее неопределенность начального квантового состояния. Из этого уравнения получено уравнение Фоккера-Планка, решения которого и свидетельствуют о наличии редукции. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: математическая модель, квантовое измерение, волновая функция, редукция.

Постановка проблемы. В связи с развитием квантовой информатики [1] проблема квантовой теории измерений, поставленная как одна из трех великих проблем теоретической физики 21 века еще В.Л. Гинзбургом, стала вновь актуальной. В области прикладных исследований – квантовой информатике, работают принципы, лежащие в основе теории квантовых измерений. Прикладной характер квантовой информатики и многообещающие перспективы построения приборов на ее основе привели к тому, что в последнее время вопросы квантовой теории измерений и интерпретации квантовой механики вновь активно развиваются.

Со времен знаменитой работы Эйнштейна, Подольского и Розена становится все более понятно, что дать интерпретацию квантовой механики – значит объяснить, как в квантовой механике понимается реальность. Использовать ту или иную интерпретацию – значит объяснять квантовую реальность тем или иным способом. Это можно делать на разных уровнях. Более простые уровни (к которым относится копенгагенская интерпретация) довольно легки для восприятия и удобны для практического применения, но они недостаточно точно передают смысл квантовой реальности. Более серьезные уровни (в том числе интерпретация Эверетта [2]) передают этот смысл точнее, но трудны для восприятия, а в практической работе (для решения типичных квантово-механических задач) скорее мешают, чем помогают. Этим объясняется, почему интерпретация Эверетта так долго не использовалась физиками. Тем не менее, в последние десятилетия она стала по-настоящему

востребованной, в частности, в связи с появлением квантовой информатики.

Анализ литературы. Одним из первых с критикой копенгагенской интерпретации квантовой механики, основанной на анализе процесса квантового измерения, выступил Н. Эверетт [2]. Он отметил, что изменение со временем состояния квантовой системы, состоящей из системы элементарных частиц и измерительного прибора, описывается уравнением Шредингера. Решение этого уравнения есть однозначная функция времени и, следовательно, результат измерения должен быть также однозначным. Это противоречит копенгагенской интерпретации квантовой механики [3]. Согласно которой редукция волновой функции в процессе измерения носит случайный характер. Со временем появились расширенные концепции Эверетта [4].

Экспериментальные данные говорят в пользу стохастического характера редукции квантового состояния в процессе измерения. В связи с этим возникает проблема построения такой математической модели процесса квантового измерения, в которой это противоречие было бы устранено. Эверетт предложил строить математическую модель исходя из поиска такого алгоритма усреднения решения уравнения Шредингера, который привел бы к редукции вектора состояния. Он действовал аналогично тому, как поступал Пуанкаре пытаясь усреднять траектории классических динамических систем с целью получить возрастание энтропии, поскольку наблюдается процесс возрастания меры на фазовом пространстве динамической системы, с помощью которой ведется усреднение.

Попытки Пуанкаре ввести в механику энтропию не увенчались успехом. Гораздо успешнее оказался подход, основанный на стохастическом квантовании динамических систем, предложенный Ланжевеном, Эйнштейном, Фоккером и Планком [5]. Отметим также подход развитый Климонтовичем [6].

Цель статьи. В настоящей работе предложена математическая модель квантового измерения, в которой с помощью подхода Климонтовича [6] и метода стохастического квантования в формулировке работы [5], построена теория, соответствующая эксперименту.

Получение редукции волновой функции. Будем считать, что динамическая система, состоящая из квантовой системы и измерительного прибора с общим гамильтонианом H , является неустойчивой по отношению к малому изменению начального состояния $\delta|0\rangle$.

Поскольку, согласно Пригожину, мы не можем производить измерения начальных состояний динамических систем с какой угодно точностью, то для неустойчивых динамических систем мы не можем использовать стандартное уравнение Шредингера

$$i\hbar \frac{d}{dt} |t\rangle = H |t\rangle. \quad (1)$$

Здесь $|t\rangle$ – зависящий от времени кет-вектор состояния системы. Мы должны заменить его уравнением более пригодным для описания данной ситуации. Для этого будем смотреть на решения уравнения (1): $|t, a\rangle$, которые при $t = 0$ отличаются так мало, что это отличие не доступно измерительным приборам, как на функции случайного события a . То есть

$$|t, a\rangle = \exp\left\{-\frac{iHt}{\hbar}\right\} |0, a\rangle \approx \exp\left\{-\frac{i}{\hbar}(H + \delta H(a))t\right\} |0\rangle. \quad (2)$$

Мы считаем, что все траектории $|t, a\rangle$ начинаются в одной точке $|0\rangle$, а все отличие связано с флуктуациями гамильтониана $\delta H(a)$.

Функция

$$\exp\left\{-\frac{i}{\hbar}(H + \delta H(a))t\right\} |0\rangle \equiv (H + \delta H(a)) |t\rangle + \delta |t, a\rangle \quad (3)$$

является решением уравнения

$$i\hbar \partial (|t\rangle + \delta |t, a\rangle) = (H + \delta H(a))(|t\rangle + \delta |t, a\rangle), \quad (4)$$

которое и является исходным уравнением работы. Это уравнение описывает, как мы в этом убедимся, процесс квантового измерения. На флуктуации $\delta H(a)$ и $\delta |t, a\rangle$, которые входят в выражение (4) наложены условия

$$\langle \delta H(a) \rangle = \langle \delta |t, a\rangle \rangle = 0. \quad (5)$$

Здесь усреднение векторной или операторной случайной функции $f(a)$ понимается так

$$\langle f(a) \rangle = \int_{\Omega} P(da) f(a), \quad (6)$$

где $\Omega\{a\}$ множество случайных событий, представляющих собой наблюдение динамики (2) для одинаково приготовленных (с максимальной возможной точностью) начальных состояний; $P(\dots)$ – вероятностная мера на этом множестве. Проведя усреднение уравнения (4) в смысле (6), получим

$$i\hbar \partial |t\rangle = H |t\rangle + \langle \delta H(a) \delta |t, a\rangle. \quad (7)$$

Чтобы использовать уравнение (7) для описания процесса квантового измерения, разложим векторы по собственным векторам наблюдаемой величины, которую измеряет измерительный прибор. Гамильтониан этого прибора входит слагаемым в H :

$$|t\rangle = \sum_i c_i(t) |i\rangle,$$

$$\langle \delta H(a) \delta |t, a\rangle = \sum_i \Phi_i(t) |i\rangle.$$

Подставим результаты разложения в уравнение (7).

$$\sum_k i\hbar \dot{c}_k |k\rangle = \sum_{k,j} |j\rangle \langle j| H |k\rangle + \sum_j \Phi_j(t) |j\rangle \equiv \sum_k i\hbar f_k(c_n) |k\rangle, \quad (8)$$

то есть

$$\dot{c}_k = f_k(c_n). \quad (9)$$

При выводе (9) сделано предположение, что $\Phi_j(t)$ зависят от t только через c_n .

Пусть уравнения (9) имеют гамильтонову формулу, т.е. $\{C_k\} = \{x^k\} \cup \{p_k\}$ и (9) можно записать в виде уравнений Картана [7]:

$$0 = (\partial\Omega)/(\partial dx^k) \partial\Omega/(\partial dp_k),$$

где $\Omega = dP_i \wedge dx^i - dH \wedge dt$.

Перейдем к переменным J_i, α^i :

$$\Omega = dJ_i \wedge d\alpha^i - d(H_1(J_s) + H_2(J_s, \alpha^s)) \wedge dt$$

и уравнения Картана примут вид:

$$0 = (\partial\Omega)/(\partial dJ_i) = \partial\Omega/(\partial d\alpha^i) = d\alpha^i - ((\partial H_1)/(\partial J_i) + (\partial H_2)/(\partial J_i)) dt = dJ_i + (\partial H_2)/(\partial \alpha^i) dt,$$

или

$$\dot{\alpha}^i = \partial H_1(J_s)/(\partial J_i) + \partial H_2(J_s, \alpha^s)/(\partial J_i), \quad (10)$$

$$J_i^1 = -\partial H_2(J_s, \alpha^s)/\partial \alpha^i.$$

Решая систему уравнений (10) методом теории возмущений [8]:

$$J_i = J_i^0 + J_i^1 + \dots; \quad \alpha^i = \alpha_0^i + \alpha_1^i + \dots,$$

в первом порядке приближений получим

$$J_i^1 = \partial H_2(J_s^0, \alpha_0^k + \omega^k t)/\partial \alpha^i = \sum_n \exp(i(n_k \omega^k)t). \quad (11)$$

Здесь $\omega^k \equiv (\partial H_1)/(\partial J_k)$ и мы разложили правую часть (11) в ряд Фурье. Таким образом, в первом порядке теории возмущений переменная "действие" будет иметь вид:

$$J^1_i = \sum_{\vec{n}} \frac{c_{\vec{n}} \exp(i(n_k \omega^k) t)}{i(n_k \omega^k)}. \quad (12)$$

Будем считать, что члены ряда (12) для которых выполняется условие резонанса: $n_i \omega^i = 0$ не равны 0, тогда, как показывают численные эксперименты, движение становится случайным [9].

Тогда уравнение (9) можно заменить эквивалентным ему уравнением Ланжевена:

$$dC_m = -(\partial U(C_k)/\partial C_m) dt + dW_m, \quad (13)$$

где dW_m – "случайная сила" удовлетворяющая условиям [8]:

$$\langle dW_n \rangle = 0, \quad \langle dW_n dW_m \rangle = c \rho_{mn} dt. \quad (14)$$

Уравнение (13), в свою очередь, эквивалентно уравнению Фоккера-Планка [9]

$$\dot{\rho}(C_k) = \sum_j \{ \partial / \partial C_j (\partial U(C_k) / \partial C_j \rho(C_k)) + 1/2 Q \partial^2 / (\partial C_j)^2 \rho(C_k) \}. \quad (15)$$

Действительно, для производной по времени плотности распределения вероятности $\rho(C_m, t)$ нахождения системы в точке получим:

$$\begin{aligned} d/dt \int dc \rho(c_m, t) f(c_m) &= \int dc \partial \rho / \partial t f(c_m) = 1/dt \int dc \rho(c_m) df(c_m) = \\ &= 1/dt \int dc_\rho(c_p) (\partial f / (\partial c_m)) dc_m + 1/2 (\partial^2 f / (\partial c_m \partial c_s)) dc_m; \\ dc_s + \dots &= 1/dt \int dc_\rho(c_p) \{ \partial f / (\partial c_m) (-\partial U / (\partial c_m) dt + dW_m) + \\ &+ 1/2 (\partial^2 f / (\partial c_m \partial c_s)) (-\partial U / (\partial c_m) dt + dW_m) (-\partial U / (\partial c_s); \\ &dt + dW_s) + \dots \} = \int dc \partial / (\partial c_m) (\rho \partial U / (\partial c_m)) f + \\ &+ 1/(2dt) \int dc (\partial^2 f / (\partial c_m \partial c_s)) \rho dW_m dW_s + \dots \}. \end{aligned}$$

Здесь было использовано интегрирование по начальным значениям траекторий системы и учтен факт гамильтоновости системы. Усредним теперь полученное выражение по всем значениям случайной силы dW_n на всех случайных траекториях системы. Тогда получаем следующее выражение

$$\int dc \{ 1/2 (\partial^2 \rho) / (\partial c_m \partial c_s) \langle dW_m dW_s \rangle / dt + \partial / (\partial c_m) (\partial U / (\partial c_m) \rho) \} f,$$

которое ввиду произвольности функции f и условия (14), является уравнением Фоккера-Планка (15). Его стационарное решение имеет вид:

$$\rho(C_k) = C \exp(-2U(C_k)/Q). \quad (16)$$

Если выбрать $U(C_m)$ таким образом, чтобы при $\tilde{C}_k$, равном $(1, 0, \dots)$; $(0, 1, \dots)$; $\dots$; оно имело $\min$, причем

$$\rho(\tilde{C}_k) = C \exp(-2U(\tilde{C}_k)/Q) = |C_k(0)|^2, \quad (17)$$

то мы получим простую математическую модель редукции кет-вектора состояния квантовой системы в процессе измерения, поскольку разложение $|t\rangle$, будет давать $|k\rangle$ с вероятностью (17). Если глубина "потенциальной ямы" в точке $((\tilde{C}_1, \dots, \tilde{C}_n, \dots) \gg Q$, то процесс редукции приводит к однозначному результату

Выводы. Таким образом, отталкиваясь от обратимого уравнения Шрёдингера, мы получили необратимый процесс квантового измерения.

Список литературы: 1. Чивилихин С.А. Квантовая информатика / С.А. Чивилихин. – ИТМО, Санкт-Петербург, 2009. – 80 с. 2. Everett H. "Relative State" Formulation of Quantum Mechanics / H. Everett // Reviews of Modern Physics. – 1957. – № 3. – Р. 454. 3. Ландау Л.Д. Квантовая механика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1990. – 752 с. 4. Менский М.Б. Квантовые измерения, феномен жизни и стрела времени: связи между тремя "великими проблемами" (по терминологии Гинзбурга) // УФН, 2007. – № 4. – С. 415. 5. Пригожин И. От существующего к возникающему (время и сложность в физических науках) / И. Пригожин. – М.: Наука, 1984. – 287 с. 6. Климонтович Ю.Л. Статистическая физика / Ю.Л. Климонтович. – М.: Наука, 1982. – 608 с. 7. Картан Э. Интегральные инварианты / Э. Картан. – М., Л.: ГИТЛ, 1940. – 215 с. 8. Хакен Г. Синергетика / Г. Хакен. – М.: Мир, 1980. – 197 с. 9. Хакен Г. Синергетика (Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах) / Г. Хакен. – М.: Мир, 1985. – 188 с.

УДК 371.326

Математична модель квантового вимірювання / Міцай Ю.М., Майорова А.М. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – № 38. – С. 121 – 127.

В даній роботі побудовано математичну модель редукції хвильової функції. В основу моделі покладені ідеї, розвинені Клімонтовічем, і застосовано метод стохастичного квантування у формулюванні Пригожина. Запропоновано рівняння, що враховує невизначеність початкового квантового стану. З цього рівняння отримано рівняння Фоккера-Планка, рішення якого і свідчать про наявність редукції. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: математична модель, квантове вимірювання, хвильова функція, редукція.

UDC 371.326

Mathematical model of quantum measurement / Mitsay Yu.N., Mayorova A.N. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – №. 38. – Р. 121 – 127.

In this paper, a mathematical model of wave function reduction is built. The model is based on the ideas developed by Klimontovich and applied the method of stochastic quantization in the formulation of Prigogine. An equation that takes into account the uncertainty of the initial quantum state proposed. From this equation, we built an equation of the Fokker-Planck, solutions of which indicate the presence of reduction. Refs.: 9 titles.

Keywords: quantum measurement, mathematical model, the wave function reduction.

Поступила в редакцию 10.04.2012

В.Є. МУХІН, канд. техн. наук, доц., НТУУ "КПІ", Київ,
Я.І. КОРНАГА, ст. викл., НТУУ "КПІ", Київ

МЕХАНІЗМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕДУРИ МОНІТОРИНГУ БЕЗПЕКИ В РОЗПОДІЛЕНИХ БАЗАХ ДАНИХ

Розглянуто засоби підтримки безпечної обробки даних в розподілених базах даних. Визначено основні компоненти системи управління моніторингу серверу безпеки даних. Запропоновано засоби моніторингу безпеки з прискореною обробкою даних. Для аналізу ефективності цих засобів проведені експериментальні дослідження часу пошуку і вибірки даних з моніторингу безпеки. Іл.: 3. Табл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: бази даних, сервер безпеки, моніторинг, пошук і вибірка даних.

Постановка проблеми. Системи управління базами даних (СУБД), в особливості розподілені реляційні СУБД, є домінуючим інструментом зберігання великих масивів інформації. Розвинені інформаційні програми покладаються не на файлові структури операційних систем, а на багатокористувацькі СУБД, реалізовані за технологією клієнт-сервер. В зв'язку з цим забезпечення інформаційної безпеки СУБД, і, в першу чергу, їх серверних компонентів, набуває вирішального значення для безпеки організації в цілому.

Для СУБД важливі всі три основні аспекти інформаційної безпеки – конфіденційність, цілісність та доступність. Таким чином, виникає ряд проблем, пов'язаних з необхідністю забезпечення захисту потоків даних, якими обмінюються в клієнт-серверних системах. Побудова механізмів моніторингу та захисту даних на сервері СУБД є актуальною проблемою.

Аналіз літератури. На рис. 1 представлена узагальнена схема засобів підтримки безпечної обробки даних в розподілених базах даних між клієнтом та сервером [1, 2, 3]. Вона включає в себе наступні елементи:

- комп'ютерна мережа – середовище передачі даних;
- сервер бази даних;
- база даних;
- робоча станція клієнта, з якої формуються запити на сервер бази даних;
- сервер безпеки даних, в склад якого входять блоки аутентифікації, розмежування доступу до даних, шифрування та управління моніторингом [3, 4, 5].

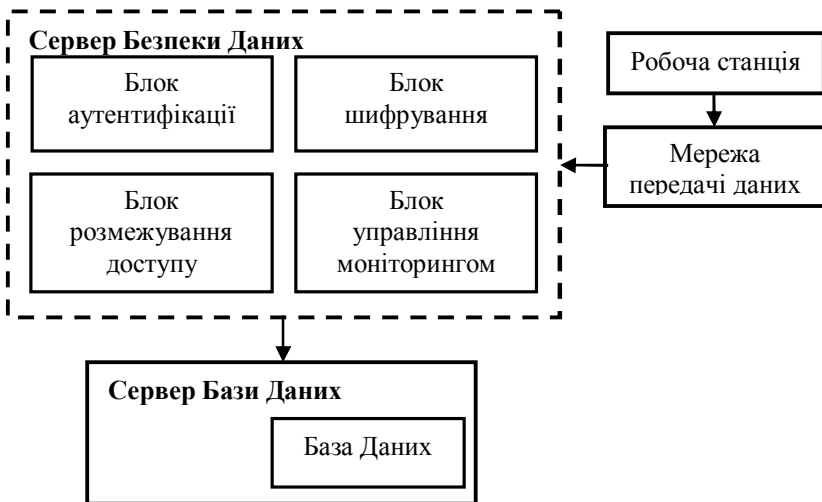


Рис. 1. Засоби підтримки безпечної обробки даних в розподілених базах даних

Клієнт в даній моделі в залежності від поставленої задачі виконує запит до бази даних, який через комп'ютерну мережу незалежно від її типу (локальна, місцева, регіональна, глобальна) попадає на сервер захисту даних [6, 7, 8].

Сервер безпеки даних складається з чотирьох блоків, які відповідають за свій напрямок безпеки.

Перший блок виконує внутрішню аутентифікацію, що проводиться засобами СУБД та зовнішню, яка проводиться засобами операційної системи. Процедуру аутентифікації реалізується шляхом перевірки ідентифікатора користувача та його паролю в залежності від розділу БД до якого він звертається.

Другим блоком сервера безпеки даних є використання механізму розмежування доступу. В клієнт-серверних системах зазвичай використовуються три моделі: дискреційна, мандатна та рольова. Перша та друга моделі використовуються для побудови захисту СУБД традиційно, а от рольова модель розроблена порівняно недавно, вона є більш складною та базується на принципах, що закладені як в дискреційній так і в мандатній моделях.

Третім блоком є блок шифрування даних. В СУБД дані шифруються прозорим та непрозорим способом, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Для шифрування зазвичай використовуються алгоритми

шифрування, зокрема: алгоритми групи AES, RSA. Шифрування запитів можна проводити як на рівні самої ОС так і в СУБД.

Четвертим блоком серверу безпеки даних є блок управління моніторингом. Важливим є фактор оперативного реагування на загрози, який пов'язаний з тим, що процедура моніторингу проводиться за накопченими статистичними даними на протязі певного періоду часу. З іншого боку цього недостатньо для підтримки комплексного захисту СУБД, тому потрібна розробка засобів моніторингу, які дозволять проаналізувати всі запити клієнтів-робочих станцій на сервер даних з точки зору ймовірності реалізації несанкціонованого доступу, про що сигналізується через внутрішні та зовнішні системи повідомлень адміністратора.

Актуальним питанням є механізм динамічного моніторингу, який являє собою процес оперативного оцінювання дій суб'єктів (клієнтів) в контексті їх небезпеки з точки зору реалізації несанкціонованого доступу. Визначимо інтервал ΔT – період комплексної оцінки дій суб'єктів на основі аналізу даних по моніторингу безпеки. При відносно великому значенню ΔT моніторинг фактично стає статичним, тобто, на протязі періоду ΔT дії суб'єктів не оцінюються з точки зору ймовірності реалізації несанкціонованого доступу і відповідно істотно зростає ймовірність загроз безпеці процесу обробки даних.

Відомо, що при проведенні моніторингу безпеки розподілених баз даних, особливо таких, які включають в себе значне число записів (понад 1 мільйон екземплярів), розміщених розподілено, виникає проблема оперативної обробки досить великого обсягу даних щодо подій моніторингу. Таким чином, потрібна розробка механізму динамічної обробки даних з моніторингу, який забезпечить оперативне відстеження потенційних вторгнень і атак на базу даних.

Мета статті. Розробити систему моніторингу безпеки з прискореною обробкою даних та експериментально дослідити її ефективність.

Система моніторингу безпеки з прискореною обробкою даних. Пропонується система моніторингу безпеки розподілених баз даних, що підтримує прискорену обробку даних з моніторингу, яка включає п'ять основних блоків: блок спеціальних механізмів збору даних з моніторингу; блок механізмів активації процесу моніторингу; блок перетворення, що виконує перетворення подій моніторингу в дані формату Oracle; блок накопичення даних щодо подій моніторингу та їх зберігання в базі даних, а також блок обробки даних з моніторингу. Структура даної системи наведена на рис. 2.

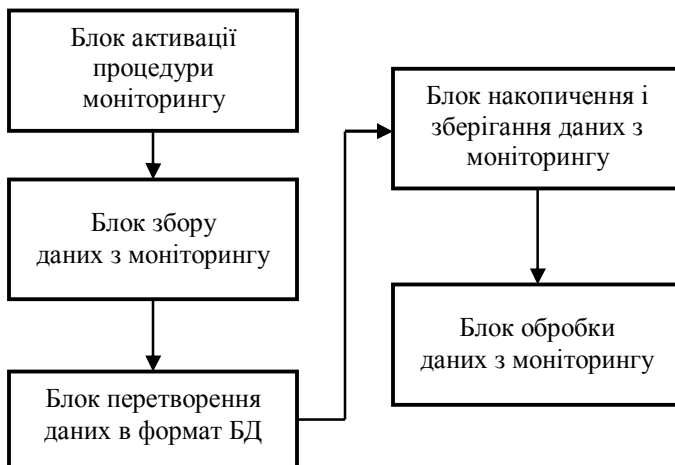


Рис. 2. Основні блоки системи моніторингу безпеки розподілених баз даних

Розглянемо детальніше особливості реалізації представлених вище блоків. Принципово новим елементом є блок перетворення даних з моніторингу в формат бази даних. В загальному випадку цей блок відсутній і дані накопичуються в єдиному файлі. Зокрема, в процесі моніторингу формується вектор критичних подій $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$, пов'язаних з подіями порушення безпеки, надалі цей вектор обробляється за певним алгоритмом. Зокрема, в якості аргументів x_i – виступають наступні фактори, що відслідковуються:

- x_1 – число спроб звернень до певних даних бази даних;
- x_2 – число спроб модифікації певних даних;
- x_3 – кількість спроб входу в базу під певним ім'ям і т.д.

Для реалізації ефективної системи моніторингу безпеки дії кожного із суб'єктів необхідно оцінювати за результатами декількох (в загальному випадку, не менш 10–15) сеансів його роботи з базою даних. У тому випадку, якщо БД є розподіленою, до неї звертається ряд суб'єктів, по кожному з яких необхідно зібрати відповідну інформацію в форматі вектора X . На практиці, з огляду на особливості функціонування розподілених систем, число записів щодо подій моніторингу в них виявляється значним, причому самі ці записи формуються в порядку взаємодії суб'єкта з БД, тим самим дані про події безпеки по одному суб'єкту виявляються розподіленими практично по всьому файлу записів.

В процесі обробки файлу записів по вектору моніторингу X фактично виконується пошук, вибір даних і кортежів даних за заданим шаблоном. З ростом розміру файлу записів щодо подій моніторингу

безпеки ускладнюється і уповільнюється процедура пошуку та обробки даних, що характерно при зборі статистики для розподілених баз даних, які містять значний обсяг даних. Затримки в процедурі аналізу даних з моніторингу безпеки можуть привести до виникнення ситуацій пропуску значної кількості атак, що, природно, знизить безпеку зберігання даних. Таким чином, виникає задача зниження часу пошуку і вибірки даних з моніторингу безпеки.

Для вирішення даної задачі пропонується формувати записи подій з моніторингу безпеки у вигляді бази даних, яка дозволить використовувати механізми СУБД для їх обробки. З огляду на те, що дані механізми є спеціалізованими механізмами обробки даних, представлених в форматі записів баз даних, можна припустити, що в даному випадку ми отримаємо зниження часу обробки даних з БД в порівнянні з механізмом прямого пошуку і вибірки даних з масиву векторів записів даних.

Експериментальні дослідження параметрів засобів моніторингу безпеки. Для аналізу ефективності запропонованих засобів моніторингу безпеки з прискореною обробкою даних проведено експериментальні дослідження часу пошуку і вибірки даних з моніторингу безпеки, представлених двояко: у першому випадку – у вигляді файлу як масиву векторів-записів, у другому – у вигляді формату записів бази даних.

У процесі експериментальних досліджень використовувалася локальна комп'ютерна система з наступними характеристиками: процесор Intel Core i7-263QM 2Gz, оперативна пам'ять – 4Гб, яка функціонує під управлінням операційної системи Windows 7. Для аналізу даних з моніторингу безпеки, представлених у вигляді файла-масиву векторів-записів, розроблений спеціальний модуль на мові Java7, а для аналізу даних, представлених в форматі записів бази даних використовувалася СУБД Oracle 10g.

В процесі досліджень оцінювалися такі характеристики: $T_{зб}$ – сумарний час збору даних з моніторингу безпеки (за всіма параметрами вектора X) і запису їх у файл векторів ($T_{зб1}$) або в формат бази даних ($T_{зб2}$); час вибірки даних з моніторингу безпеки $T_{вб1}$, відповідно, засобами Java з файлу векторів-записів ($T_{вб1}$) або вибірки даних в форматі БД з використанням СУБД Oracle ($T_{вб2}$). В результаті оцінювалося сумарний час аналізу даних з моніторингу безпеки $T_{ан}$ розподілених баз даних засобами Java і Oracle як: $T_{ан} = T_{зб} + T_{вб}$.

В процесі експериментальних досліджень генерувалися масиви даних щодо подій моніторингу різної розмірності в діапазоні від 10000 до 100000 (10000, 50000, 100000) векторів-записів, при цьому кожен вектор містив по 10 контрольованих подій.

В таблиці наведено отримані експериментальні дані по записам і обробці подій моніторингу безпеки для засобів на основі Java і Oracle.

Таблиця

Експериментальні дані по записам і обробці подій

№ експе-ри-менту	Розмір-ність, Кз	10000		50000		100000	
	Час Т,с	Java 7	Oracle 10g	Java 7	Oracle 10g	Java 7	Oracle 10g
1	Тзб	0,097	1,265	0,163	8,719	0,208	21,188
	Твб	2,519	0,031	39,948	0,047	163,37	0,109
2	Тзб	0,077	1,211	0,161	8,626	0,238	23,128
	Твб	2,485	0,031	38,348	0,046	156,15	0,062
3	Тзб	0,077	1,362	0,159	8,989	0,284	22,643
	Твб	2,259	0,032	39,562	0,047	144,64	0,081
4	Тзб	0,083	1,269	0,162	8,413	0,245	21,972
	Твб	2,412	0,031	36,216	0,047	158,66	0,083
5	Тзб	0,098	1,271	0,161	8,692	0,272	21,864
	Твб	2,491	0,031	37,143	0,047	152,44	0,101
6	Тзб	0,087	1,311	0,161	8,291	0,291	22,002
	Твб	2,222	0,035	38,921	0,045	161,99	0,103
7	Тзб	0,094	1,27	0,158	8,95	0,283	21,892
	Твб	2,431	0,031	39,443	0,047	159,05	0,098
8	Тзб	0,092	1,376	0,163	8,878	0,256	21,674
	Твб	2,501	0,031	37,248	0,047	163,24	0,101
9	Тзб	0,096	1,324	0,16	8,71	0,209	21,225
	Твб	2,432	0,034	37,549	0,048	149,58	0,087
10	Тзб	0,089	1,291	0,161	8,64	0,243	22,019
	Твб	2,199	0,031	38,243	0,051	152,31	0,108
Серед-не значен-ня	Тзб	0,089	1,295	0,1609	8,6908	0,2529	21,960
	Твб	2,3951	0,0318	38,262	0,0472	156,1474	0,0933
Сума	Тан= =Тзб+ +Твб	2,484	1,327	38,423	8,738	156,40	22,054

Всього проведено 10 незалежних експериментів по генерації масивів даних щодо подій моніторингу різної розмірності, далі виконано усереднення отриманих даних. На рис. 3 показана діаграма оцінки сумарного часу аналізу даних щодо подій моніторингу безпеки в розподілених БД засобами Java і Oracle.

Як показали отримані експериментальні дані, з ростом кількості векторів записів за даними моніторингу, істотно зростає вигравш за часом аналізу даних з моніторингу безпеки засобами Oracle в порівнянні із засобами Java. При цьому за параметром сумарного часу збору даних з

моніторингу безпеки ($T_{361} < T_{362}$) засоби на основі Java є більш ефективними, але вони істотно поступаються засобам Oracle по параметру часу вибірки даних з моніторингу безпеки ($T_{в61} >> T_{в62}$).

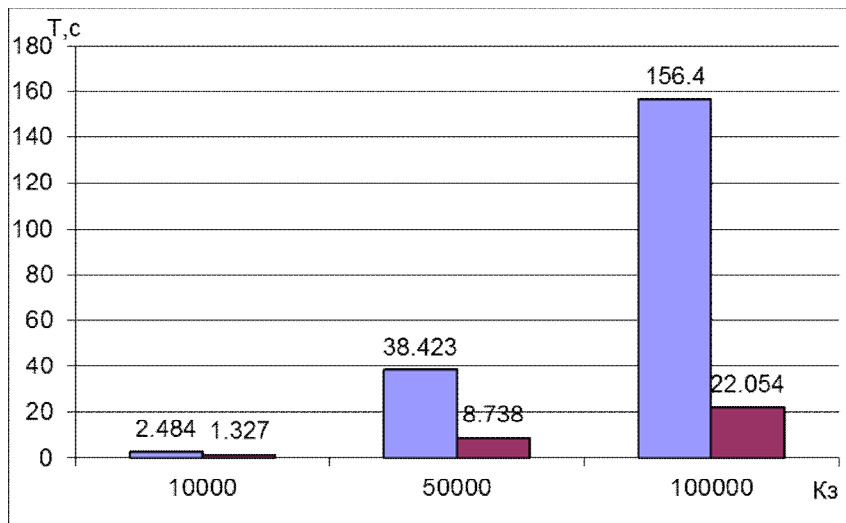


Рис.3. Діаграма оцінки сумарного часу аналізу даних щодо подій моніторингу безпеки

В результаті для 10000 векторів-записів вигреш за сумарним часу аналізу даних з моніторингу безпеки ($T_{ан}$) становить 88% (1.88 разів: $T_{ан1}=2.48$ с для засобів на основі Java і $T_{ан2}=1.32$ с для засобів на основі Oracle), а для 100000 векторів-записів – вже понад 800% (7.09 разів: $T_{ан1}=156.4$ с для засобів на основі Java і $T_{ан2}=22.05$ с для засобів на основі Oracle). В практичних застосуваннях в системах моніторингу має місце постійне накопичення, тобто зростання числа векторів-записів, таким чином, запропонований підхід дозволяє істотно підвищити швидкість обробки даних з моніторингу безпеки, зокрема, розподілених баз даних.

Висновок. В статті представлена необхідність підтримки реалізації прискореної обробки даних щодо подій моніторингу безпеки для підвищення ефективності аналізу подій безпеки розподілених баз даних. Запропоновано засоби моніторингу безпеки з прискореною обробкою даних. Показано, що, незважаючи на зростаючі обсяги даних щодо подій моніторингу, засоби моніторингу безпеки на основі запропонованого підходу дозволяють динамічно обробляти інформацію з моніторингу безпеки, що забезпечує оперативне формування рівня підозрілості дій

суб'єктів в процесі їх взаємодії з розподіленою базою даних і що дозволить знизити ймовірність вторгнень і атак на базу даних.

Список літератури: 1. *Смирнов С.Н.* Безопасность систем баз данных / *С.Н. Смирнов.* – М.: "Гелиус АРБ", 2007. – 352 с. 2. *Мельников В.П.* Информационная безопасность и защита информации / *В.П. Мельников.* – М.: "Academiya", 2007. 3. *Поляков А.* Безопасность Oracle глазами аудитора: нападение и защита / *А. Поляков.* – М.: "ДМК Пресс", 2009. – 336 с. 4. *Ладыженский Г.М.* Системы управления базами данных / *Г.М. Ладыженский.* – М.: "Jet Infosystems", 2007. 5. *Гринченко Н.Н.* Проектирование баз данных / *Н.Н. Гринченко, Е.В. Гусев, Н.П. Макаров.* – М.: Горячая Линия-Телеком, 2007. – 468 с. 6. *Шварц Б.* Базы данных. Оптимизация производительности / *Б. Шварц, П. Зайцев, В. Ткаченко.* – Санкт-Петербург: Символ-Плюс, 2010. – 832 с. 7. *Герберт Шилдт.* Java 7. Полное руководство / *Шилдт Герберт.* – М.: "Вильямс", 2012. – 1104 с. 8. *Бородин А.И.* Технологии баз данных и знаний / *А.И. Бородин* – Минск.: БГЭУ, 2008. – 505 с. 9. *Черноусова А.М.* Создание и использование баз данных / *А.М. Черноусова.* – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009. – 244 с. 10. *Фуфаев Э.В.* Разработка и эксплуатация удаленных баз данных / *Э.В. Фуфаев, Д.Э. Фуфаев.* – М.: "Academiya", 2010. – 256 с.

Статью представил д.т.н., проф. кафедры ТПТ, проректор НТУУ "КПІ" Варламов Г.Б.

УДК 681.325

Механизмы повышения эффективности процедуры мониторинга безопасности в распределенных базах данных / Мухин В.Е., Корнага Я.И. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2012. – № 38. – С. 128 – 135.

Рассмотрены средства поддержки безопасной обработки данных в распределенных базах данных. Определены основные компоненты системы управлением мониторинга сервера безопасности данных. Предложены средства мониторинга безопасности с ускоренной обработкой данных. Для анализа эффективности этих средств проведены экспериментальные исследования времени поиска и выборки данных по мониторингу безопасности. Ил.: 3. Табл. 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: базы данных, сервер безопасности, мониторинг, поиск и выборка данных.

UDC 681.325

Mechanisms of increase of efficiency of procedure of monitoring of safety are in the distributed databases / Muhin V.E., Kornaga Ja.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – № 38. – P. 128 – 135.

In the paper are considered the mechanisms for secured data processing in distributed databases (DB). The main components of the control system for monitoring of the data security server are presented. The security monitoring mechanisms based on the data processing acceleration are suggested. Also, there is performed the experimental analysis of the suggested mechanisms effectiveness on the time of data searching and retrieving. Figs.: 3. Tab.: 1. Refs.: 10 titles.

Keywords: database, server security, monitoring, data search and retrieval.

Надійшла до редакції 26.07.2012

А.И. ПОВОРОЗНЮК, д-р техн. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харьков,
А.Е. ФИЛАНОВА, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харьков

ОПИСАНИЕ ЭТАЛОНА ДЛЯ СИНТЕЗА ФУНКЦИИ ОТКЛИКА НЕЛИНЕЙНОГО ФИЛЬТРА В ЗАДАЧЕ СТРУКТУРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ БИМЕДИЦИНСКИХ СИГНАЛОВ С ЛОКАЛЬНО СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПРИЗНАКАМИ

В работе рассматривается задача структурной идентификации биомедицинских сигналов с локально сосредоточенными признаками с помощью цифрового нелинейного фильтра, а также способы описания эталона искомого класса структурных элементов на основе моделей полезного сигнала для синтеза функции отклика проектируемого фильтра. Ил.: 2. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: структурная идентификация, биомедицинский сигнал, локально сосредоточенные признаки, цифровой нелинейный фильтр, эталон, структурный элемент.

Постановка проблемы. Создание новых информационных технологий оценки состояния сердца и сердечно-сосудистой системы при проектировании интеллектуальных компьютерных кардиологических систем поддержки принятия решений (ИККСППР) является актуальной научно-технической проблемой. При проектировании ИККСППР можно выделить следующие основные этапы обработки биомедицинских сигналов (БМС) с локально сосредоточенными признаками (ЛСП): регистрация и оцифровка сигнала; предварительная обработка сигнала; структурная идентификация (СИ) сигнала; расчет диагностических показателей; синтез решающих правил; постановка диагноза [1]. Рассматриваемые БМС с ЛСП являются квазипериодическими сигналами, имеющими сложную форму и несущие информацию о состоянии объекта на небольших фрагментах интервала наблюдения сигнала. Одним из ответственных и трудно формализуемых этапов обработки БМС является этап СИ, который заключается в выделении на фоне помех информативных фрагментов сигнала, называемых структурными элементами (СЭ). Повышение эффективности методов СИ является актуальной задачей при проектировании ИККСППР.

Анализ литературы. Задачу структурной идентификации БМС с ЛСП можно рассматривать как локальную цифровую обработку сигнала скользящим окном или апертурой, что по определению является цифровой фильтрацией [2 – 4]. При этом размер окна выбирается намного меньше длины обрабатываемого сигнала, и для каждого

положения окна выполняются однотипные действия, которые определяют так называемый отклик или выход фильтра. Т.к. обычно действия, определяющие отклик фильтра, не изменяются в процессе перемещения по сигналу и описываются нелинейными функциями, то СИ выполняется с помощью стационарного нелинейного фильтра (НФ).

Целью цифровой фильтрации БМС с ЛСП является обнаружение СЭ заданного вида, а также их локализация на рассматриваемом сигнале. Задача обнаружения сигнала широко рассмотрена в радиолокации [5]. При этом на основании параметров сигнала для обнаружения проектируются соответствующие фильтры, например, согласованные фильтры, целью применения которых является вычисление некоторого показателя. Анализ показателя с помощью порогового правила дает возможность решить, действительно ли присутствует нужный сигнал во входной смеси сигнала с шумом. Эти идеи были положены в основу синтеза НФ для решения задачи структурной идентификации БМС с ЛСП. Для построения НФ были рассмотрены различные модели полезного сигнала (МПС), анализ которых приведен в [6 – 8]. В модели МПС-1 БМС может быть описан в виде решетчатой функции времени. Это наиболее простая модель, в которой не учитываются особенности БМС с ЛСП. Модель МПС-2 – это модель разложения БМС по базисным функциям. В МПС-2 могут использоваться, например, ряды Фурье или вейвлеты. В модели МПС-3 БМС представлен в виде функции, кусочно-заданной на периоде последовательностью фрагментов. При этом на каждом временном отрезке задается своя аппроксимирующая функция, характеризующая СЭ. Модель МПС-4 – это структурно-лингвистическая модель представления периода БМС. В модели МПС-5 БМС с ЛСП представлен в виде множества объектов в пространстве параметров. В модели МПС-5 учитываются некоторые особенности МПС-3 (при описании объектов используются параметры кусочно-заданных аппроксимирующих функций) и МПС-4 (БМС рассматривается как множество объектов). На основе рассмотренных в [6] МПС были выделены следующие методы преобразования БС с ЛСП: контурный анализ [9, 10]; преобразование Фурье и вейвлет-преобразование [2 – 4]; структурное преобразование сигнала на основе грамматического разбора [1]; преобразование в фазовое пространство [7, 8]; преобразование в адаптивное пространство параметров аппроксимирующих функций [1]. Таким образом, для проектирования НФ необходимо описать эталон искомого класса структурных элементов БМС с ЛСП.

Цель статьи – исследование способов описания эталона для синтеза функции отклика НФ в обобщенном методе структурной идентификации биомедицинских сигналов с локально сосредоточенными признаками.

Проектирование нелинейного фильтра. Анализ МПС и методов преобразования БМС с ЛСП позволил выделить ряд однотипных действий при решении задачи СИ. В результате предложена обобщенная схема структурной идентификации БМС с ЛСП на основе НФ (рис. 1).

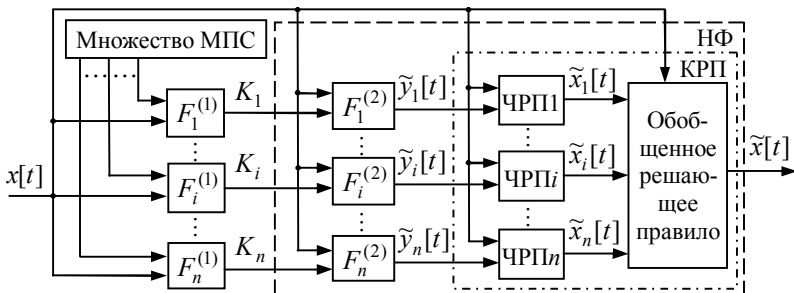


Рис. 1. Обобщенная схема структурной идентификации БС с ЛСП на основе НФ

На вход схемы подается дискретный сигнал $x[t]$ ($t = \overline{0; T_s - 1}$), где T_s – длина входного сигнала. Преобразование 1-го уровня $F_i^{(1)}$ ($i = \overline{1; n}$) – это метод преобразования сигнала $x[t]$ на основе МПС, в результате которого получаем кортеж $K_i = \langle x_0[t], \bar{p}_i, f_i(x[t], \bar{p}_i) \rangle$, где $x_0[t]$ ($t = \overline{0; T_0 - 1}$) – эталонный сигнал (эталон СЭ заданного класса); $T_0 \ll T_s$ – длина эталона; $\bar{p}_i$ – вектор параметров преобразования; $f_i(x[t], \bar{p}_i)$ – функция преобразования сигнала $x[t]$ ($t = \overline{0; T_s - 1}$) в пределах апертуры для синтеза отклика НФ. Преобразование 2-го уровня $F_i^{(2)}$ (см. рис. 1) – это получение новой функции во временной области $\tilde{y}_i[t]$, на основании анализа которой выполняется СИ с помощью частного решающего правила (ЧРП). Т.к. адекватность каждой МПС для данного типа СЭ различна, то при проектировании НФ предлагается объединять ЧРП в коллектив решающих правил (КРП). Таким образом, отклик фильтра определяется видом преобразования $F_i^{(2)}$ и видом КРП. В свою очередь, вид функции $\tilde{y}_i[t]$ в результате преобразования $F_i^{(2)}$ напрямую зависит от описания эталона $x_0[t]$ искомого класса СЭ.

Способы описания эталона. Как было отмечено выше, в результате преобразования $F_i^{(1)}$ получаем кортеж $K_i = \langle x_0[t], \bar{p}_i, f_i(x[t], \bar{p}_i) \rangle$. При

этом полученная функция преобразования $f_i(x[t], \bar{p}_i)$ используется не только для описания сигнала ω_i^t в пределах аперттуры фильтра, но и для описания эталона ω_i^3 искомого класса СЭ, т.е. $y_{ij}^3 = f_i(x_0[t], \bar{p}_i)$, $y_{ij}^t = f_i(x[t], \bar{p}_i)$, где y_{ij}^3 , y_{ij}^t – координаты ω_i^3 и ω_i^t соответственно. Рассмотрим способы описания эталона на основе МПС-2 и МПС-5.

Эталонный сигнал на основе МПС-2 с помощью базисных функций

$$\varphi_k[t] \text{ можно задать следующим образом: } x_0[t] = \sum_{k=0}^{T_0-1} a_k \varphi_k[t], \quad t = \overline{0; T_0 - 1},$$

где $\vec{a} = (a_0, \dots, a_k, \dots, a_{T_0-1})$ – вектор координат базиса. Если использовать преобразование Фурье, то в качестве базисных функций выступают гармонические функции, если вейвлет-преобразование – то вейвлеты различной формы. В результате эталон описывается вектором $\vec{a}$, а функция перехода от описания эталона во временной области к описанию с помощью вектора коэффициентов $\vec{a}$ – это искомая функция $f_i(x[t], \bar{p}_i)$ в кортеже K_i . Тогда описание эталона ω_i^3 на основе МПС-2 имеет следующий вид: $y_{ij}^3 = a_k$ для $j = \overline{1, N_i}$ и $k \in \mathbf{M}_k$, где $N_i = |\mathbf{M}_k|$ – количество координат, используемых для описания эталона; $\mathbf{M}_k \subseteq \{0, 1, \dots, T_0 - 1\}$ – множество индексов коэффициентов a_k , необходимых для описания эталона. При этом вектор параметров $\bar{p}_i$ содержит T_0 и $\mathbf{M}_k$. Если все коэффициенты a_k ($k = \overline{0; T_0 - 1}$) используются для описания эталона, то $\mathbf{M}_k = \{0, 1, \dots, T_0 - 1\}$ и $N_i = T_0$.

Эталонный сигнал $x_0[t]$ на основе МПС-5 может быть описан с использованием различных базисных функций (БФ), предложенных в [1]. В качестве БФ могут использоваться разделенные разности, коэффициенты аппроксимирующих полиномов и другие функции. Надо отметить, что в отличие от МПС-2 обратного преобразования не существует. При этом $x_0[t]$ разбивается на участки опорными точками таким образом, что каждый полученный фрагмент эталона может быть описан соответствующей БФ. Например, если расставить опорные точки так, как показано на рис. 2, и в качестве БФ использовать разделенную разность 1-го порядка, то описание эталона имеет вид: $y_{ij}^3 = (x_0[t_{k+1}] - x_0[t_k]) / (t_{k+1} - t_k)$ для $j, k = \overline{1, N_i}$, где t_k – индексы опорных точек. При этом $f_i(x[t], \bar{p}_i)$ – это совокупность БФ, а $\bar{p}_i$

содержит положение опорных точек в апертуре фильтра.

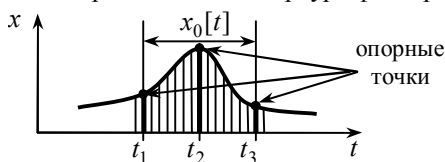


Рис. 2. Пример расстановки опорных точек при задании эталона

Синтез функции отклика нелинейного фильтра. Линейные размеры аперттуры N_a НФ определяются линейными размерами эталона $x_0[t]$ искомого класса СЭ, т.е. $N_a = T_0$. Т.к. в основу преобразования $F_i^{(2)}$ положена идея расчета функции $\tilde{y}_i[t] \in [0;1]$, которая показывает степень схожести эталона ω_i^3 с фрагментом сигнала ω_i^t в пределах аперттуры, то в качестве такой функции предлагается использовать следующую функцию дифференциации расстояний, предложенную в [1]:

$$\tilde{y}_i[t] = d^{(\alpha)}(\omega_i^3, \omega_i^t) = \sqrt{\alpha \sum_{j=1}^{N_i} (y_{ij}^3 - y_{ij}^t)^2} / \left(1 + \alpha \sum_{j=1}^{N_i} (y_{ij}^3 - y_{ij}^t)^2 \right),$$

где y_{ij}^3 , y_{ij}^t – координаты эталона ω_i^3 и фрагмента сигнала в пределах аперттуры ω_i^t соответственно; $\alpha \in (0; 1]$ – коэффициент, отражающий чувствительность к изменениям СИ одного класса за счет наложения помех и вариации параметров.

На основании функции $\tilde{y}_i[t]$ выполняется структурная идентификация с помощью порогового решающего правила:

$$\tilde{x}_i(t) = \begin{cases} x[t] & \forall t \in [t_{0j}; t_{0j} + T_0], \text{ если } \tilde{y}_i[t_{0j}] < Pd; \\ const & \text{в остальных случаях,} \end{cases}$$

где t_{0j} – точка локального минимума функции $\tilde{y}_i[t]$ такая, что $y_i[t_{0j}] \leq \tilde{y}_i[t] \quad \forall t \in \dot{\mathbf{M}}(t_{0j})$; $\dot{\mathbf{M}}(t_{0j}) = \mathbf{M}(t_{0j}) \setminus \{t_{0j}\}$ – проколотая окрестность точки t_{0j} ; $\mathbf{M}(t_{0j})$ – окрестность точки t_{0j} ; Pd – пороговое значение.

Выводы. В данной работе рассмотрены способы описания эталона искомого класса СЭ на основе различных МПС в обобщенном методе структурной идентификации БМС с ЛСП, а также синтез функции отклика проектируемого НФ. Дальнейшие исследования направлены на экспериментальную проверку эффективности различных способов

описания эталона и исследование методов синтеза КРП.

Список литературы: 1. *Філатова Г.С.* Структурна ідентифікація сигналів у кардіологічних системах: дис. канд. техн. наук: спец. 05.11.17 / *Філатова Ганна Євгенівна*. – Харків, 2002. – 177 с. 2. *Айфичер Э.* Цифровая обработка сигналов: Практический подход / *Айфичер Э., Джервис Б.* – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 992 с. 3. *Сергиенко А.Б.* Цифровая обработка сигналов: Учебное пособие. Второе издание. / *Сергиенко А.Б.* – СПб.: Питер, 2006. – 752 с. 4. *Оппенгейм А.* Цифровая обработка сигналов / *Оппенгейм А., Шафер Р.* – М.: "Техносфера", 2007. – 856 с. 5. *Татарский Б.Г.* Многофункциональные радиолокационные системы. Учебное пособие для вузов / *Татарский Б.Г., Дудник П.И., Ильчук А.Р.* – М.: Дрофа, 2007. – 283 с. 6. *Філатова Г.С.* Нелинейная фильтрация биомедицинских сигналов с локально сосредоточенными признаками в задаче структурной идентификации / *Філатова Г.С.* // Вісник НТУ "ХПИ". – Харків: НТУ "ХПИ". – 2011. – № 17. – С. 168-174. 7. *Файнзильберг Л.С.* Методи та інструментальні засоби оцінювання стану об'єктів за сигналами з локально зосередженими ознаками: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук: спец. 05.13.06 / *Файнзильберг Л.С.* – К., 2004. – 35 с. 8. *Файнзильберг Л.С.* ФАЗАГРАФ® – ефективна інформаційна технологія обробки ЕКГ в задачі скринінга ішемічної хвороби серця / *Файнзильберг Л.С.* // Клиническая информатика и телемедицина. – 2010. – Т. 6. – Вып. 7. – С. 22-30. 9. *Абакумов В.Г.* Біомедичні сигнали. Генезис, обробка, моніторинг. Навчальний посібник / *Абакумов В.Г., Рибін О.І., Сватош Й.* – К.: Нора-прінт, 2001. – 516 с. 10. Вычислительные системы и автоматическая диагностика заболеваний сердца / Под ред. *Ц. Касереса, Л. Дрейфуса*. – М.: Мир, 1974. – 504 с.

УДК 61:007+004.932.72

Опис еталону для синтезу функції відгуку нелінійного фільтру у задачі структурної ідентифікації біомедичних сигналів з локально зосередженими ознаками / Поворожнюк А.І., Філатова Г.Є. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2012 – № 38. – С. 136 – 141.

В роботі розглядається задача структурної ідентифікації біомедичних сигналів з локально зосередженими ознаками за допомогою цифрового нелінійного фільтру, а також способи опису еталона шуканого класу структурних елементів на основі моделей корисного сигналу для синтезу функції відгуку проектованого фільтру. Іл.: 2. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: структурна ідентифікація, біомедичний сигнал, локально зосереджені ознаки, цифровий нелінійний фільтр, еталон, структурний елемент.

UDC 61:007+004.932.72

The description of the standard template, used for the non-linear filter response function synthesis, in the problem of structure identification of biomedical signals with locally focused characteristics / Povoroznyuk A.I., Filatova A.E. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – №. 38. – P. 136 – 141.

This work is devoted to the problem of structural identification of biomedical signals with locally focused characteristics using a digital non-linear filter. The methods, used to specify the standard template for the required class of structural elements, based on the useful signal models, for the projected filter response function synthesis, are overviewed too. Figs: 2. Refs: 10 titles.

Keywords: structural identification, biomedical signal, locally focused features, digital non-linear filter, a standard template, a structural element.

Поступила в редакцію 12.04.2012

П.Е. ПУСТОВОЙТОВ, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харьков,
Ж.Д. КРАВЧЕНКО, зам. главного врача, ХГСБ, Харьков

АНАЛИЗ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ НОЗОЛОГИЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ЭФФЕКТИВНОГО СТРУКТУРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕДИЦИНСКОГО ЦЕНТРА ВУЗА

В работе предлагается методика планирования нагрузки врача-специалиста, основанная на анализе парной стохастической зависимости количества обращений по двум выбранным нозологиям за сутки. На примере двух заболеваний был проведен анализ парной корреляции, проверена значимость коэффициента корреляции, построена модель регрессии. В работе используются реальные данные со статистических талонов Харьковской городской студенческой больницы. Ил.: 1. Табл.: 1. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: коэффициент корреляции, стохастическая зависимость нозологий, парная корреляция, нозология.

Постановка задачи и анализ литературы. При эффективном планировании структурно-функционального обеспечения медицинского центра ВУЗа необходимо учитывать стохастическую зависимость между некоторыми нозологиями [1]. Принимая во внимание такую зависимость, можно делать выводы как относительно качества выставления диагнозов, так и эффективного планирования штатных единиц медицинского центра [2]. Использование математического аппарата в медицине позволяет предсказать вспышки эпидемии и снизить вред от их последствий [3 – 4].

Для примера рассмотрим зависимость между классами нозологий J35 (хронический тонзиллит) и J32 (хронический синусит). Общую картину их взаимной изменчивости можно получить, изобразив на координатной плоскости все пары чисел, соответствующие количеству обращений по каждому виду нозологий в день.

Полученное корреляционное поле построено по данным со статистических талонов Харьковской городской студенческой больницы за период с 01.01.2011 по 31.12.2011 (рис.).

По графику видно, что в целом для всей совокупности значений увеличение количества случаев появления больных заболеванием J35 приводит к увеличению количества больных заболеванием J32.

Целью статьи является определение известными математическими методами функциональной зависимости между количествами обращений за день по двум классам болезней.

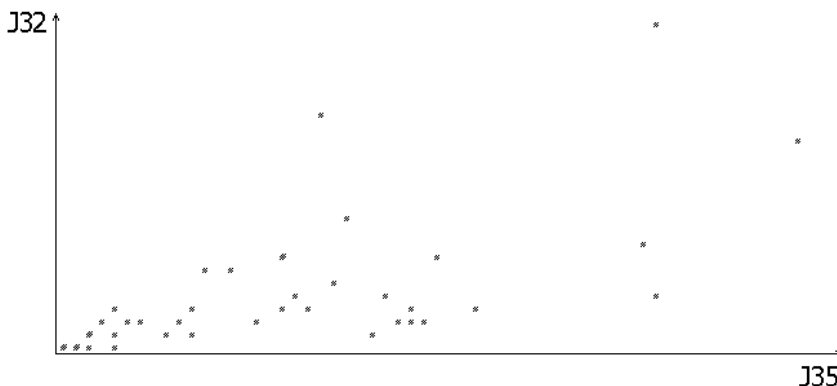


Рис. Взаимная зависимость количества
нозологий J35 и J32 в день

Основные результаты. Для построения корреляционной таблицы разобьем данные о количестве обращений пациентов по каждой из рассматриваемых болезней на интервалы. Длина интервала вычисляется по формуле Стерджесса [5 – 7]:

$$l = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + 3.322 * \lg n},$$

где $x_{\max}$ и $x_{\min}$ – максимальное и минимальное значения выборки соответственно, n – объем выборки.

В рассматриваемой задаче получены следующие параметры:

Всего пар значений: 76.

Длина интервала по J35: 8.

Длина интервала по J32: 4.

Количество интервалов по J35: 7.

Количество интервалов по J32: 6.

По полученным данным со статистических талонов, учитывая указанные выше параметры, строится корреляционная таблица [8 – 9] (табл.). Здесь $\bar{x}_i$ и $\bar{y}_j$ – средние значения случайной величины для интервалов, а $n_{i\bullet}$ и $n_{\bullet j}$ абсолютная частота попадания случайных величин в соответствующие интервалы.

Коэффициент корреляции Пирсона вычисляется по формуле

$$\rho_{X,Y}^* = \frac{S_{X,Y}}{S_X S_Y},$$

где $S_{X,Y}$ – ковариация случайных величин [8], а S_X^2 и S_Y^2 – соответственно дисперсии случайных величин [8].

Таблица

Корреляционная таблица

$\bar{x}_i$ $\bar{y}_j$	3	11	19	27	33	46	58	$n_{\bullet j}$
2	21	6	2	8	0	0	0	37
6	2	6	8	4	2	2	0	24
10	0	0	5	2	0	2	0	9
14	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	2	0	0	0	0	2	4
22	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	2	0	2
$n_{i\bullet}$	23	14	15	14	2	6	2	

В примере получен коэффициент корреляции Пирсона [10] $\rho^* \approx 0.627$, что говорит о наличии прямой линейной зависимости.

Для проверки значимости коэффициента корреляции выдвинем основную гипотезу ($H_0: \rho = 0$). В роли альтернативной гипотезы выступит ($H_1: \rho \neq 0$). Используем статистику Фишера [11]. Известно, что случайная величина

$$V = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + \rho^*}{1 - \rho^*}$$

распределена по нормальному закону, а ее математическое ожидание и дисперсия равны соответственно

$$m_V \approx \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{1 - \rho}{1 + \rho}, \quad \sigma_V^2 = \frac{1}{n - 3}.$$

Тогда, стандартизуя V , получаем нужную статистику Фишера:

$$U = \frac{V - m_V}{\sigma_V} = \frac{\sqrt{n-3}}{2} \ln \frac{1 + \rho^*}{1 - \rho^*} \sim N(0, 1),$$

$$U = \frac{\sqrt{76-3}}{2} \cdot \ln \frac{1+0.627}{1-0.627} = \frac{8.544}{2} \cdot \ln \frac{1.627}{0.373} \approx 6.293.$$

Квантиль нормального стандартного распределения уровня 6.293 равен 0,9999999998443, откуда следует, что полученный коэффициент корреляции значим на уровне значимости 0,000000000078.

Предложим для данного случая модель линейной регрессии

$$y(x) = a_0 x + a_1. \quad (1)$$

Найдем МНК-оценки [12] параметров регрессии из соотношения

$$\psi(a_0, a_1) = \sum_{k=1}^n [y_k - a_1 - a_0 x_k]^2 \rightarrow \min. \quad (2)$$

Продифференцируем соотношение (2) по параметрам

$$\begin{cases} \frac{d\psi}{da_0} = 0, \\ \frac{d\psi}{da_1} = 0. \end{cases} \quad \begin{cases} a_0 \sum_{k=1}^n x_k^2 + a_1 \sum_{k=1}^n x_k = \sum_{k=1}^n x_k y_k, \\ a_0 \sum_{k=1}^n x_k^2 + a_1 n = \sum_{k=1}^n y_k. \end{cases} \quad (3)$$

Получим систему 2-х уравнений с двумя неизвестными

$$\begin{cases} a_0 \alpha_{2,0}^\bullet + a_1 \bar{x} = \alpha_{1,1}^\bullet, \\ a_0 \bar{x} + a_1 = \bar{y}, \end{cases} \quad (4)$$

где $\alpha_{r,s}^\bullet$ – начальный выборочный момент порядка $r + s$, а $\bar{x}$ и $\bar{y}$ – средние значения.

Решение системы имеет вид

$$\tilde{a}_0 = \frac{S_{X,Y}}{S_X} = \rho^\bullet \cdot \frac{S_Y}{S_X}, \quad (5)$$

$$\tilde{a}_1 = \bar{y} - \bar{x} \rho^\bullet \cdot \frac{S_Y}{S_X}. \quad (6)$$

Тогда подставляя (5) и (6) в (1) получаем соотношение для уравнения регрессии

$$y(x) = \bar{y} + \rho^\bullet \cdot \frac{S_Y}{S_X} \cdot (x - \bar{x}). \quad (7)$$

Для предлагаемого примера параметры регрессии имеют следующие значения

$$\tilde{a}_0 = 0.627 \cdot \frac{27}{201} = 0.084, \quad (8)$$

$$\tilde{a}_1 = 5.289 - 18.447 \cdot 0.627 \cdot \frac{27}{201} = 3.735. \quad (9)$$

Тогда, с учетом (8) и (9), уравнение регрессии для примера задается соотношением

$$y(x) = 0.084x + 3.735. \quad (10)$$

Выводы. Таким образом, был проведен анализ зависимости нозологий для двух выбранных видов болезней по данным Харьковской городской студенческой больницы. Вычисленный коэффициент корреляции Пирсона позволил предположить наличие линейной зависимости между количествами обращений по каждому из рассмотренных видов болезней за сутки. Была проверена значимость коэффициента корреляции, построена модель регрессии, найдены параметры функции регрессии.

Оценивание парных зависимостей между нозологиями позволяет планировать эффективное структурно-функциональное обеспечение медицинского центра ВУЗа, вычислять нагрузку врачей-специалистов, медицинских сестер.

Рассмотренная методика может быть внедрена в виде программного обеспечения для полного охвата нозологий международного классификатора болезней МКБ-10.

Список литературы: 1. Баевский Р.М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии / Р.М. Баевский. – М.: "Знание", 1979. – 74 с. 2. Бароян О.В. Математика и эпидемиология / О.В. Бароян, Л.А. Рвачев. – М.: "Знание", 1977. – 63 с. 3. Бароян О.В. Моделирование и прогнозирование эпидемий гриппа / О.В. Бароян, Л.А. Рвачев, Ю.Г. Иванников. – М.: ИЭМ им. Н.Ф. Гамалеи, 1977. – 546 с. 4. Беляков В.Д. Эпидемиология / В.Д. Беляков, Р.Х. Яфаев. – М.: Медицина, 1989. – 104 с. 5. Айвазян С.А. Прикладная статистика и основы эконометрики / С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян. – М.: ЮНИТИ, 1998. – 1005 с. 6. Боровков А.А. Математическая статистика. Оценка параметров. Проверка гипотез / А.А. Боровков. – М.: Наука, 1984. – 472 с. 7. Гнеденко Б.В. Элементарное введение в теорию вероятностей / Б.В. Гнеденко, А.Я. Хинчин. – М.: Наука, 1970. – 169 с. 8. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для вузов / В.Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 2003. – 479 с. 9. Рыков В.В. Математическая статистика и планирование эксперимента / В.В. Рыков, В.Ю. Иткин. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2009. – 303 с. 10. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Академия, 2003. – 464 с. 11. Айвазян С.А. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное изд. / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с. 12. Горяинов В.Б. Математическая статистика: Учеб. для вузов / В.Б. Горяинов, И.В. Павлов, Г.М. Цветкова и др. / Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 424 с.

Статью представил д.т.н., проф. НТУ "ХПИ" Серков А.А.

УДК 519.2

Аналіз стохастичної залежності нозологій при плануванні ефективного структурного забезпечення медичного центра ВНЗ / Пустовойтов П.Е., Кравченко Ж.Д. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2012. – № 38. – С. 142 – 147.

У роботі пропонується методика планування навантаження лікаря-спеціаліста, заснована на аналізі парних стохастичних залежностей кількості звернень по двом обраним нозологіям за добу. На прикладі двох захворювань було проведено аналіз парної кореляції, перевірено значимість коефіцієнту кореляції, побудовано модель регресії. У роботі використовуються реальні дані зі статистичних талонів Харківської міської студентської лікарні. Іл.: 1. Табл.: 1. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: коефіцієнт кореляції, стохастична залежність нозологій, парна кореляція, нозологія.

UDC 519.2

Stochastic analysis of nosologies dependences during the effective structure supply planning in campus medical center / Pustovoitov P., Kravchenko Z. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – №. 38. – P. 142 – 147.

It was suggested the technique of doctor loading planning, based on the analysis of pair stochastic dependence of statistic talons number during the day. It was showed the example of two diseases. The analysis of pair correlation was carried out, the importance of factor of correlation is checked, the regression model is constructed. It was used real data from statistical talons of the Kharkiv municipal student's hospital. Figs.: 1. Tab.: 1. Refs.: 12 titles.

Keywords: correlation coefficient, stochastic dependence, pair correlation, nosology.

Поступила в редакцію 20.04.2012

Н.О. РИЗУН, канд. техн. наук, доц., Днепропетровский университет им. А. Нобеля, Днепропетровск

МОДЕЛЬ ПОВЫШЕНИЯ МОТИВАЦИИ СТУДЕНТОВ К ОБУЧЕНИЮ (АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ТЕСТОВОГО СЕАНСА)

Предложена модель повышения уровня мотивации студентов к обучению путем усовершенствования адаптивной методики организации и проведения тестового сеанса, позволяющей оптимизировать показатели эффективности процесса организации и проведения процедуры замера знаний студентов, качества формализованной методики оценки степени сложности тестового задания, а также объективности процедуры идентификации результатов тестирования. Библиогр.: 12 назв.

Ключевые слова: мотивация студентов к обучению, тестовый сеанс, эффективность, степень сложности тестового задания, идентификация результатов тестирования.

Постановка проблемы и анализ литературы. Обучение в ВУЗе является одним из важнейших этапов в профессиональном становлении личности. Именно в этот период закладываются основы профессионализма, формируется адекватное представление о будущей профессии и мотивационно-ценностное отношение к ней. Сложившаяся система высшего профессионального образования, ориентирована преимущественно на "знаниевую" парадигму, поэтому успешность профессиональной подготовки студентов традиционно принято оценивать по объему и качеству усвоенных ими знаний, профессиональным умениям и навыкам, развитию специальных способностей и уровню интеллекта. Однако, как показывают исследования, "сильные" и "слабые" студенты отличаются друг от друга не столько по уровню интеллекта, сколько по мотивации учебной деятельности. Более того, высокая позитивная мотивация может играть роль компенсаторного фактора в случае недостаточного запаса необходимых знаний, умений и навыков или недостаточно развитых специальных способностей.

Компьютерное тестирование, как часть образовательного процесса, стоит в первую очередь рассматривать с точки зрения целей самого этого процесса. В этой связи, исходными предпосылками к разработке модели повышения мотивации студентов к обучению являются следующие факты, характеризующие современное состояние методики организации и проведения тестового сеанса:

– использование общепринятой методики организации тестового сеанса предполагает, что студенты с сильной и средней подготовкой

тратят значительную часть времени на решение достаточно простых и не приносящих большого количества баллов заданий. Как следствие – неоправданное уставание тестируемых, отсутствие поощрения и мотивации сильных студентов, нерациональное распределение затрачиваемых ими времени и сил на установление фактического уровня знаний, низкий уровень дифференцирующей способности теста, снижение объективности интерпретации результатов тестирования [1 – 6];

– общеизвестным недостатком компьютерного тестирования являются отсутствие единой формализованной методики определения весового коэффициента сложности тестовых заданий и эффективных инструментов выявления факта угадывания правильного ответа, что значительно снижает степень адекватности полученных результатов реальному уровню знаний студентов, и, как следствие, минимизирует возможности использования при обучении рычагов мотивации обучающихся к качественным и устойчивым знаниям [7 – 10].

Целью статьи является разработка модели повышения уровня мотивации студентов к обучению Z путем усовершенствования адаптивной методики организации и проведения тестового сеанса, позволяющей оптимизировать основные параметры системы компьютерного тестирования как методологического инструмента управления учебным процессом:

$$Z = P + S(V, K) + R \rightarrow \text{extr.},$$

где P – эффективность процесса организации и проведения процедуры замера знаний студентов; $S(V, K)$ – качество формализованной методики оценки степени сложности тестового задания; V – объективность инструмента количественной оценки степени сложности тестового задания; K – адекватность показателя степени сложности тестового задания реальному уровню его восприятия конкретной аудиторией; R – объективность процедуры идентификации результатов тестирования.

Результаты исследований. Авторами предлагаются следующие методологические решения по усовершенствованию адаптивной методики организации и проведения тестового сеанса:

1. Тестовый сеанс формируется из заданий закрытой формы четырех видов – с одним правильным ответом; с множественным выбором; на установление соответствия; на установление правильной последовательности.

2. Каждый из перечисленных видов тестовых заданий характеризуется набором знаний, умений и навыков, соответствующих

определенному уровню усвоения знаний, которые проверяются с помощью тестовых заданий данного вида (уровень узнавания, представления; уровень репродуктивного воспроизведения; уровень продуктивного воспроизведения).

3. Набор знаний, умений и навыков, проверяемый с помощью тестовых заданий следующего уровня усвоения, включает в себя знания, умения и навыки, проверяемые более низкими по уровню усвоения, тестовыми заданиями.

4. Тестовый сеанс целесообразно начинать с подачи заданий самого высокого уровня усвоения (задания на установление правильной последовательности), выполнение которых требует наличия навыков продуктивного воспроизведения, а именно – проведения анализа ситуаций, разработки и реализации алгоритмов решения нетиповых задач на основе освоенных операций (уровень репродуктивного воспроизведения).

5. Успешное решение большего количества заданий данного уровня усвоения может быть интерпретировано как: достижение максимального установленного (желаемого с точки зрения преподавателя-эксперта) уровня усвоения знаний; успешное овладение всем объемом контролируемого учебного материала; информационный сигнал о возможности досрочного окончания тестового сеанса.

В данном случае обоснование правила целесообразности и объективности "заслуженного" досрочного окончания тестового сеанса, а также идентификации результатов тестирования по данным о прохождении индивидуального количества типов тестовых заданий конкретным студентом, является *первой* мотивационной составляющей предлагаемой модели, а также эффективным инструментом интенсификации процесса обучения в целом с точки зрения экономии временного учебного ресурса $P \rightarrow extr$ [11].

6. В случае неудовлетворительного результата прохождения тестовых заданий текущего уровня студент может улучшить свои показатели на необходимом для него количестве K более низких уровней усвоения знаний тестовых заданий (уровень репродуктивного воспроизведения; уровень представления; уровень узнавания), что, во-первых, не нарушает принцип демократичности процедуры тестирования, во-вторых, гарантирует высокий уровень дифференцирующей способности теста.

7. Нормативное количество баллов за правильное решение тестового задания идентифицируется весовым коэффициентом его сложности L_{Di}^S , определяемым как чистое (без учета технологического) время, затраченное на правильный ответ. Чистое время предлагается

рассчитывать как разность между временем нажатия кнопки завершения работы с текущим тестовым заданием и временем очистки кэша видеопамати при полной загрузке изображения текущего тестового задания $T_i^j = Start_i^j - Finish_i^j$.

Данный подход к определению весового коэффициента сложности тестового задания является *второй* мотивационной составляющей предлагаемой модели $V \rightarrow extr$, поскольку позволяет:

- унифицировать и формализовать алгоритм формирования данного показателя, используя объективные показатели сложности тестового задания, а именно – суммарное чистое время, необходимое на прочтение (визуальное восприятие) тестового задания и время на обдумывание и предоставление правильного ответа;

- в полной мере использовать информационный и мотивационный потенциал времени, фактически затраченного на правильный ответ, содержащего информацию о: психологической специфике как отдельной личности, что тестируется, так и среды измерения знаний вообще; вероятность угадывания правильного ответа; степень устойчивости и надежности знаний студента; объективность установления нормативного времени на предоставление правильного ответа, качество тестового задания.

8. С целью мотивации студентов к устойчивым знаниям и уменьшения эффекта "угадывания" рейтинг R^j j -го студента определяется с учетом весового коэффициента сложности тестового задания и значения коэффициента корреляции K_i как зависимости между значениями величин, пропорциональных соответственно нормативному L_{Di}^S и фактически затраченному времени на каждый ответ T_j^i [12].

Так, рейтинг студентов, продемонстрировавших уверенность в своих ответах – на большинство вопросов отвечают в стабильном темпе $K_i(T_j^i, L_{Di}^S) \geq 0,5$, определяется как сумма всех нормативных баллов за все

правильные решения тестовых задач $R^j = \sum_{i=1}^n Bal_i^{L_{Di}^L}$, где $Bal_i^{L_{Di}^L}$ –

нормативное количество баллов за правильный ответ на i -е тестовое задание.

Рейтинг студентов, в устойчивости и уверенности знаний которых возможно усомниться $0,3 \leq K_i(T_j^i, L_{Di}^S) < 0,5$, определяется по следующему алгоритму:

$$\text{Если } \sum_{i=1}^n T_j^i < \sum_{i=1}^n L_{Di}^S, \text{ то } R^j = \sum_{i=1}^n Bal_i^{L_{Di}^L} \left(\sum_{i=1}^n L_{Di}^S / \sum_{i=1}^n T_j^i \right), \text{ иначе}$$

$$R^j = \sum_{i=1}^n Bal_i^{L_{Di}^L} \left(\sum_{i=1}^n T_j^i / \sum_{i=1}^n L_{Di}^S \right).$$

Рейтинг студентов с неустойчивыми знаниями $R_i \leq 0,29$ определяется исходя из соотношения $R^j = \sum_{i=1}^n \left(Bal_i^{L_{Di}^L} V_i \right)$ по следующему алгоритму:

$$\text{Если } T_j^i < L_{Di}^S, \text{ то } V_i = \frac{T_j^i}{L_{Di}^S}, \text{ иначе } V_i = \frac{L_{Di}^S}{T_j^i}.$$

Данный алгоритм является *третьей* мотивационной составляющей предлагаемой модели, позволяющей учитывать психологию поведения и мышления тестируемого и поощрять устойчивые и уверенные знания, пресекая попытки получить оценку путем угадывания правильных ответов $R \rightarrow extr$.

9. С целью учета уровня знаний и специфики восприятия учебного материала средой, в которой выполняется измерение знаний (студенческие группы), и повышения точности весовых коэффициентов, используемых в тестовом сеансе, благодаря постепенному достижению достаточной с точки зрения достоверности и надежности количества выборочных данных для их определения, выполняется его актуализация (определение относительного весового коэффициента) с использованием статистического материала о результатах правильных ответов студентов с высокой степенью устойчивости знаний $K_i(T_j^i, L_{Di}^1) \geq 0,5$.

Адаптивный алгоритм актуализации весового коэффициента сложности основан на использовании следующей рекуррентной зависимости:

$$L_{Di}^S = \left(\frac{1}{ST_r^{S-1} + ST_r^S} \right) \cdot \left(ST_r^{S-1} \cdot L_{Di}^{S-1} + ST_r^S \cdot \bar{T}_i^S \right) + \ln \left(\frac{ST_H^{S-1} + ST_H^S}{ST_L^{S-1} + ST_L^S} \right),$$

где ST_r^{S-1} – количество студентов с достаточно устойчивыми знаниями, которые на всех предыдущих итерациях (сеансах тестирования) дали на

i -е тестовое задание правильный ответ (на первой итерации ST_R^{S-1} – количество преподавателей-экспертов);

ST_R^S – количество студентов с достаточно устойчивыми знаниями, которые на текущей S -й итерации дали на i -е тестовое задание правильный ответ;

L_{Di}^{S-1} – весовой коэффициент, установленный с учетом всех предыдущих итераций;

$\bar{T}_i^S$ – среднее фактическое время на правильное решение тестового задания студентами с достаточно устойчивыми знаниями на текущей S -й итерации;

ST_H^{S-1} – количество студентов с достаточно устойчивыми знаниями, которые дали на всех предыдущих итерациях правильный ответ на i -е тестовое задание с превышением нормативного времени;

ST_L^{S-1} – количество студентов с достаточно устойчивыми знаниями, которые дали на всех предыдущих итерациях правильный ответ на i -е тестовое задание за время, равное или меньшее нормативного;

ST_H^S – количество студентов с достаточно устойчивыми знаниями, которые дали на текущей S -й итерации правильный ответ на i -е тестовое задание с превышением нормативного времени;

ST_L^S – количество студентов с достаточно устойчивыми знаниями, которые дали на текущей S -й итерации правильный ответ на i -е тестовое задание за время, равное или меньшее нормативного.

Данный алгоритм является *четвертой* мотивационной составляющей предлагаемой модели, позволяющей гарантировать высокую степень адекватности показателя степени сложности тестового задания реальному уровню его восприятия аудиторией, в которой проводится тестирование, повышая тем самым уровень объективности и степень доверия к используемому инструменту измерения качества знаний студентов $K \rightarrow extr$.

Выводы. Таким образом, предложена модель повышения мотивации студентов к обучению, позволяющая:

– *повысить* эффективность процесса организации и проведения процедуры замера знаний студентов путем минимизации времени его проведения за счет формализации алгоритма определения индивидуальной "точки остановки" тестового сеанса;

– *повысить* объективность инструмента количественной оценки степени сложности задания путем ее идентификации с помощью нормативного чистого (без учета технологического) времени на его правильное решение;

– *повысить* адекватность показателя степени сложности тестового задания реальному уровню его восприятия аудиторией путем использования алгоритма его актуализации (определение относительного весового коэффициента) с использованием статистического материала о результатах правильных ответов студентов с высокой степенью устойчивости знаний;

– *снизить* вероятность угадывания правильного ответа на тестовое задание путем анализа особенностей поведения тестируемого во время тестового сеанса путем использования коэффициента корреляции как зависимости между значениями величин, пропорциональных соответственно нормативному и фактически затраченному времени на каждый ответ.

Предложенная авторами адаптивная методика организации и проведения тестового сеанса в настоящее время проходит этап апробации на кафедре экономической кибернетики и математических методов в экономике Днепропетровского университета имени Альфреда Нобеля.

Список литературы: 1. Мелехин В.Б. Автоматизированная система контроля знаний студентов в ВУЗе / В.Б. Мелехин, Е.И. Павлюченко // Транспортное дело России, 2009. – № 1. – С. 23-25. 2. Подоприсгора Н.Б. Создание автоматизированной системы тестового мониторинга знаний студентов / Н.Б. Подоприсгора, А.И. Машовец // Сборник научных трудов СевКавГТУ. Серия "Естественнонаучная", 2006 – № 2. – С. 19. 3. Пат. 43616 Україна, МПК G09B 7/00. Автоматизована система тестування, навчання та моніторингу / В.Д. Ціделко, Н.А. Яремчук, В.В. Шведова; замовник та патентовласник: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". – № 200902620; заявл. 23.03.2009; опубл. 25.08.2009. Бюл. 16, 2009. 4. Приходько М.А. Архитектура и основные функциональные возможности автоматизированной системы интерактивного контроля знаний "Аргус-М" / М.А. Приходько // Качество дистанционного образования: концепции, проблемы, решения (EDQ-2008): Материалы X Межд. научно-практ. конф.. – Москва, 2008. – № 1. – С. 19-21. 5. Прокофьева Н.О. Методы контроля знаний при компьютерном обучении / Н.О. Прокофьева // Образование и виртуальность – 2005: Сб. науч. трудов 9-й межд. конф. УАДО. – Харьков: ХНУРЭ, 2005. – С. 272-277. 6. Федорук П.І. Адаптивні тести: статистичні методи аналізу результатів тестового контролю знань / П.І. Федорук // Математичні машини і системи, 2007. – № 3, 4. – С. 122-130. 7. Аванесов В.С. Применение тестовых форм в Rasch Measurement / В.С. Аванесов // Педагогические измерения, 2005. – № 4. – С. 3-20. 8. Строганов В.Ю. Организация адаптивного тестового контроля / В.Ю. Строганов, А.Б. Николаев, И.О. Саркисова // Моделирование и оптимизация в управлении: Сб. науч. тр. – М, 2004, МАДИ(ГТУ). – С. 12-19. 9. Крылов Ю.Н. Абсолютная временная шкала оценки знаний при компьютерном тестировании / Ю.Н. Крылов // Тверской государственный университет (ТвГУ). – Тверь, 2000. – С. 13-15. 10. Углев В.А. Предобработка входной информации для базы знаний, реализующей механизм адаптации обучающего тестирования / В.А. Углев // Сборник

материалов Всероссийской научно-практической конференции "Информационные технологии в профессиональной деятельности и научной работе". – Йошкар-Ола, 2007. – С. 3-8. **11.** *Сметанюк Л.В.* Методические и организационные проблемы использования программных средств учебного назначения в высших учебных заведениях при проведении контроля знаний студентов в виде тестирования / *Л.В. Сметанюк* // Інформаційні технології в освіті: Збірник наукових праць. – Херсон: Видавництво ХДУ, 2008. – Вип. 1. – С. 141-145. **12.** Пат. 58657 Україна, МПК G06F 7/00. Спосіб проведення комп'ютерного тестування знань студентів; замовник та патентовласник: *Тараненко Ю.К., Різун Н.О.* – № u201009376, заявл. 26.07.2010; опубл. 26.04.2011. Бюл. № 8, 2011. **13.** Пат. 97149 Україна, МПК G06F 7/00 (2006.01). Спосіб виміру рівня знань учнів при комп'ютерному тестуванні / *Б.І. Холод, Ю.К. Тараненко, Н.О. Різун*; замовник та патентовласник: ЗАТ "Дніпропетровський університет економіки та права". – № a200912950, заявл. 14.12.2009; опубл. 10.01.2012. Бюл. № 1, 2012.

Статью представил д.т.н., с.н.с. ДУЭП Тараненко Ю.К.

УДК 681.3:378.146

Модель підвищення мотивації студентів до навчання (аспекти організації та проведення тестового сеансу) / Різун Н.О. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – № 38. – С. 148 – 155.

Запропоновано модель підвищення рівня мотивації студентів до навчання шляхом удосконалення адаптивної методики організації та проведення тестового сеансу, що дозволяє оптимізувати показники ефективності процесу організації та проведення процедури виміру знань студентів, якості формалізованої методики оцінки ступеня складності тестового завдання, а також об'єктивності процедури ідентифікації результатів тестування. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: мотивація студентів до навчання, тестовий сеанс, ефективність, ступінь складності тестового завдання, ідентифікація результатів тестування.

UDC 681.3:378.146

The model of increasing students' motivation to education (aspects of organization and conducting of the testing seance) / Rizun N.O. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – № 38. – P. 148 – 155.

The model of increasing the level of students motivation to education by means of improving the adaptive methodology of organization and conducting the testing seance is suggested. This methodology allows optimizing both the indices of efficiency of the process of organizing and conducting of the procedure of students' knowledge measurement and the indices of quality of the formalized evaluation methodology of the degree of the testing task complexity. It is also possible to optimize the objectivity of the procedure of testing results identification. Refs.: 12 titles.

Keywords: student's motivation to education, testing seance, efficiency, the degree of the testing task complexity, testing results identification.

Поступила в редакцию 15.04.2012

А.Ю. РОМАНОВ, асп., НТУУ "КПИ", Киев

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПСЕВДООПТИМАЛЬНОЙ И MESH ТОПОЛОГИЙ СЕТЕЙ НА КРИСТАЛЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ NETMAKER

Рассмотрены различные подходы к оптимизации подсистемы связи сетей на кристалле. Проведено моделирование псевдооптимальных и mesh топологий с 8-ю и 9-ю узлами с помощью System Verilog библиотеки Netmaker. Показано, что mesh топологии прямоугольного вида менее эффективны, чем квадратные; псевдооптимальные топологии обладают более высоким порогом насыщения по сравнению с mesh и при этом не имеют ограничений по количеству узлов. Ил.: 4. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: сеть на кристалле, моделирование псевдооптимальных и mesh топологий.

Постановка проблемы. Одной из основных тенденций развития современных систем на кристалле (СнК) является широкое использование сетевых решений (СтнК) [1 – 3]. СтнК – это множество вычислительных модулей, объединенных общей подсистемой связи, состоящей из роутеров и межсоединений. Подсистема связи СтнК занимает значительные ресурсы кристалла и является энергозатратной, что на фоне все возрастающих требований к ресурсоемкости и скорости передачи данных по сети обуславливает необходимость поиска оптимальных решений ее построения [4].

Анализ литературы. Оптимизация СтнК возможна в нескольких взаимосвязанных направлениях: в сторону увеличения пропускной способности сети, а также уменьшения транспортной задержки и затрат ресурсов на реализацию роутеров и межсоединений.

Транспортная задержка – это интервал времени между генерацией пакета и приемом его в пункте назначения. Данная характеристика во многом зависит от реализации роутеров. Пропускная способность – это максимальное количество данных, передаваемых по сети за единицу времени и ограниченных порогом насыщения, когда транспортная задержка пакетов возрастает в несколько раз.

В настоящее время наибольшее распространение получили СтнК с wormhole-управлением потоком, где пакет разбивается по ширине канала передачи на фрагменты – флиты, которые последовательно передаются по сети. Данный подход не требует буферизации всего пакета, а значит позволяет экономить ресурсы буферной памяти. Классические wormhole-роутеры применяются в сетях, например, на базе FPGA, где критичны используемые ресурсы [1]. Тем не менее, данный подход имеет большой недостаток – высокую вероятность блокировки головного флита

(deadlock) и взаимоблокировок пакетов, что может привести к полной остановке функционирования сети.

Группой ученых во главе с В. Дэлли [4] предложена схема wormhole-роутера с виртуальными каналами. Суть данного подхода состоит в том, что одному физическому каналу ставятся в соответствие несколько параллельных очередей – виртуальных каналов на входных портах роутеров. Это позволяет уменьшить штраф из-за блокировки головы колонны в одном из виртуальных каналов, т.к. по остальным передача продолжается. В то же время с введением виртуальных каналов увеличиваются ресурсные затраты на дополнительные очереди и мультиплексоры каналов, а также задержка на роутере. Кроме того, результаты моделирования, проведенного вышеуказанными авторами, показали, что увеличение количества виртуальных каналов оказывает положительный эффект на пропускную способность только в определенных пределах [2]. Это обусловлено тем, что виртуальные каналы разделяют один физический канал. В связи с этим предложена оптимизация роутера с виртуальными каналами (маршрутизатор с параллельной архитектурой и с прогнозированием), позволяющая уменьшить транспортную задержку [5].

Дальнейшим усовершенствованием сетей с виртуальными каналами может быть использование специализированных роутеров с конфигурируемым количеством виртуальных каналов в зависимости от загруженности той или иной линии связи и отсутствующими незадействованными портами.

Другим способом увеличения пропускной способности сети является увеличение ширины каналов (обычно в разных реализациях выбирают ширину канала от 8 до 32 бит), однако это вызывает увеличение ресурсных затрат на соединительные линии и буферную память [1].

Заслуживает внимания и реализация роутера с агрегацией каналов – здесь вместо виртуальных каналов используются несколько физических соединений, объединенных в одно логическое (транк). Данный подход позволяет экономить на буферной памяти под очереди виртуальных каналов и позволяет в 1.5 раза увеличить пропускную способность сети по сравнению с виртуальными каналами, но приводит к увеличению расхода ресурсов на организацию соединений в несколько раз [3].

Таким образом, оптимизация СтнК в сторону увеличения пропускной способности путем усовершенствования роутеров или расширения емкости каналов связи неизбежно приводит к увеличению затрат ресурсов (в первую очередь, на соединительные линии). В тоже время, данные ресурсы также ограничены, и существует потребность в

оптимизации сетей и в этом направлении. Один из способов – уменьшение разрядности физических соединительных линий путем установки на входе и на выходе сериализаторов/десериализаторов, которые разбивают флиты на пфиты и последовательно их передают. Для того чтобы не было дополнительной задержки, каналы передачи обычно тактируются на более высокой, чем роутеры, частоте – так, чтобы для роутеров передача происходила за 1 такт [7]. Данный подход достаточно сложен в реализации и требует дополнительных затрат ресурсов на реализацию передачи пфитов.

Кроме структуры роутеров и алгоритма управления потоком данных, на эффективность СтнК оказывает большое влияние ее топология. В общем случае топология СтнК представляет собой неориентированный связный граф, состоящий из вершин – роутеров и ребер – физических линий связи между ними. Топология описывает, каким образом роутеры соединены между собой. Основными характеристиками топологии являются: количество вершин-роутеров (N); количество ребер – физических соединений между роутерами (Ed); степень вершины – количество ребер, исходящих из нее (St); диаметр графа – максимум среди минимальных расстояний между любыми двумя вершинами (D); среднее расстояние среди наиболее коротких путей между всеми узлами графа (L_{av}) [1, 4].

Наиболее распространенной является mesh топология, представляющая собой сеть из $N = m \cdot n$ (обычно $N = n \cdot n$) узлов, каждый из которых соединен с четырьмя соседними (рис. 1). Крайние узлы имеют незадействованные порты. Характеристики сети: $D = 2 \cdot (\sqrt{N} - 1)$, $Ed = 2 \cdot (N - \sqrt{N})$, а $St = 2 \div 4$, т.е. между роутерами в противоположных углах сети, например, размером 3×3 расстояние составляет 4 хопы.

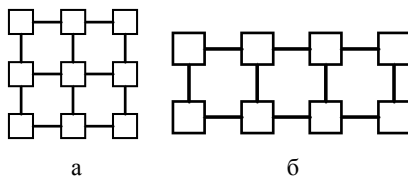


Рис. 1. Mesh топологии СтнК вида 3×3 и 2×4

Несмотря на широкое использование mesh топологий СтнК, обусловленное тем, что они легко масштабируются, имеют простую структуру и алгоритмы маршрутизации, им присущ и ряд недостатков, среди которых: в классическом виде mesh топологии позволяют

реализовать только "квадратные" сети с количеством узлов, равным натуральным числам в степени 2 (4, 9, 16, 25, ...); имеется возможность строить прямоугольные сети вида $m \times n$, что приводит к увеличению диаметра сети, а создать сеть, например, из 11 роутеров не представляется возможным; перегруженность центральных роутеров в mesh сетях из-за особенностей XY-алгоритма маршрутизации; большой диаметр mesh сетей, что негативно сказывается на качестве обслуживания; наличие других ограничений, связанных с особенностями реализации сетей mesh.

В работе [7] предложен новый подход, основанный на использовании при построении СтнК нерегулярных топологий, оптимизированных по критерию минимизации среднего расстояния между роутерами и количества соединений в условиях ограничения диаметра и максимального числа портов роутеров. Предложенное решение позволяет синтезировать ряд псевдооптимальных топологий СтнК с любым количеством узлов [7]. При этом отсутствие для них алгоритмов маршрутизации решается использованием таблиц маршрутизации, а повышение вероятности deadlock-ов компенсируется применением whormhole-роутеров с виртуальными каналами.

Результаты компьютерного моделирования. Для оценки эффективности предложенных псевдооптимальных топологий относительно mesh использована System Verilog библиотека с открытым исходным кодом Netmaker (Р. Муллинз) [5, 8]. С этой целью сгенерированы mesh-сети размером 4×2 и 3×3 (рис. 1), а также, путем модификации модуля построения связей между узлами и модуля маршрутизации, синтезированы сети из 8-ми и 9-ти узлов с псевдооптимальной топологией и диаметром 2 хопа (рис. 2).

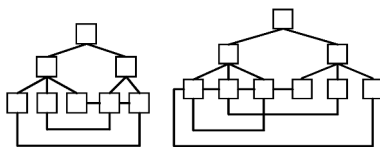


Рис. 2. Псевдооптимальная топологии СтнК с 8-ю и 9-ю вершинами

В Netmaker используются whormhole-роутеры с четырьмя внешними и одним локальным портами [5, 8]. При этом каждый внешний порт содержит четыре виртуальных канала, а локальный порт связан с генератором-потребителем трафика, имитирующим работу

вычислительного IP-ядра. Пакеты размером в 10 флитов инжектируются в сеть генераторами трафика с заданной интенсивностью, выбор узла назначения выполняется случайным образом. С начала моделирования каждый источник трафика генерирует по 1100 пакетов, первые 100 из которых используются для достижения установившегося режима. Размер буферов виртуальных каналов составляет 4 флита. Окончанием моделирования считается прием всех отправленных пакетов в пунктах назначения. Моделирование проводилось при различной интенсивности введения флитов в сеть ($I_f = N_f/N_c/N_n$, где N_f – количество флитов, введенных за время моделирования; N_c – число циклов, N_n – количество узлов в сети) в среде ModelSim 6.5 на персональном компьютере Asus K40AB. Для множественного прогона модели при различных значениях нагрузки на сеть созданы специальные bash-скрипты, которые запускаются из среды Cygwin, эмулирующей работу Unix-системы под управлением Windows XP. Построение графиков и обработка результатов моделирования выполнялось в среде MathCad 12.

На рис. 3 приведены полученные зависимости между транспортной задержкой и приложенной нагрузкой для сетей с mesh и псевдооптимальной топологией для 8 и 9 узлов.

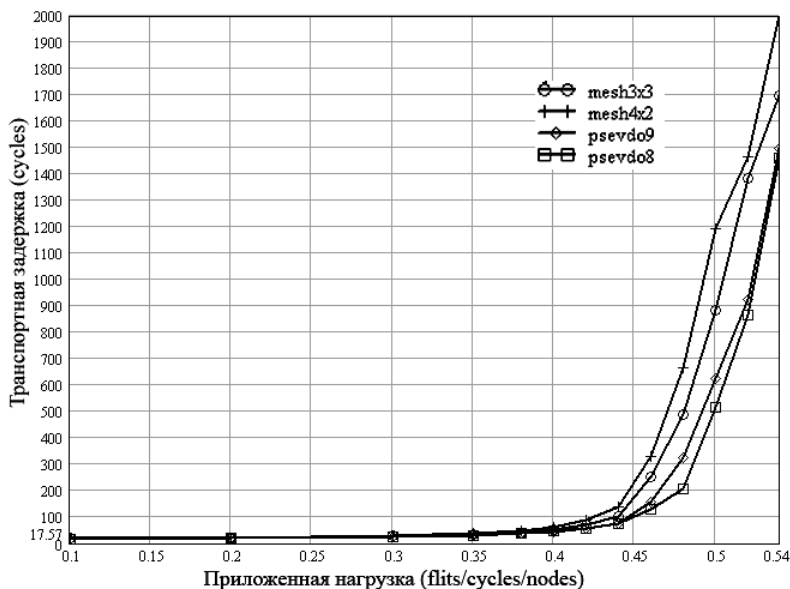


Рис. 3. Зависимость транспортной задержки от приложенной нагрузки

Для наглядности вертикальная ось линейная (рис. 3) и логарифмическая (рис. 4). Из полученных графиков видно, что порог насыщения для СтнК с псевдооптимальной топологией выше, чем у mesh сети. Кроме того, порог насыщения для сети mesh с 8-ю узлами оказался ниже, чем у mesh с 9-ю узлами. Это обусловлено большим диаметром и малой шириной сечения mesh сети из 8-ми узлов из-за использования неоптимальной топологии прямоугольной формы.

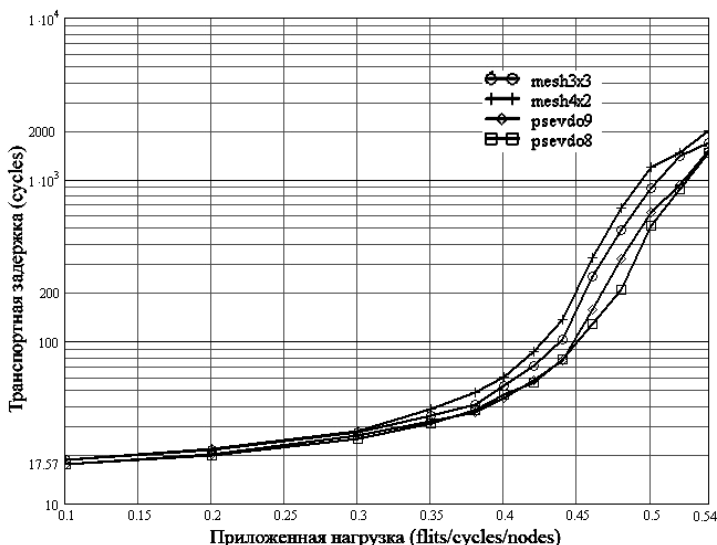


Рис. 4. Зависимость транспортной задержки от приложенной нагрузки

Минимальная транспортная задержка для моделируемых сетей не превышает 20-ти циклов, исходя из чего осуществлен выбор порогового значения в 200 циклов. Линейной интерполяцией графиков функций получены пороговые значения приложенной нагрузки для mesh с 8-ю (0.447) и 9-ю (0.453) узлами, а также псевдооптимальной топологией с 8-ю (0.478) и 9-ю (0.465) роутерами. Таким образом, применение предложенных псевдооптимальных топологий обеспечивает прирост порога насыщения для сетей с 8-ю и 9-ю узлами соответственно на 7.1% и 2.7%.

Выводы. Сравнительный анализ эффективности mesh и псевдооптимальной топологий СтнК показал: использование предложенных псевдооптимальных топологий обеспечивает прирост порога насыщения сетей, по сравнению с mesh, от 2.7% до 7.1%;

применение неоптимальной прямоугольной топологии mesh свидетельствует о том, что mesh топологии актуальны только для сетей квадратной формы, в то время как псевдооптимальные топологии применимы и эффективны для СтнК с любым количеством узлов.

Список литературы: 1. *Moraes F.* HERMES: an Infrastructure for Low Area Overhead Packet-switching Networks on Chip / *F. Moraes, N. Calazans, A. Mello* // Integration, the VLSI Journal. – 2004. – Vol. 38. – No. 1. – P. 69-93. 2. *Mello A.* Virtual channels in networks on chip: implementation and evaluation on Hermes NoC / *A. Mello, L. Tedesco, N. Calazans, F. Moraes* // Proc. 18th SICSD. – NY, USA, 2005. – P. 178-183. 3. *Korotkiy E.V.* Link aggregation in networks on chip / *E.V. Korotkiy, O.M. Lysenko, M.O. Tereshin* // Прикладная радиоэлектроника. – 2011.– № 3 (10). – С. 330-336. 4. *Dally W.* Virtual-channel flow control / *W. Dally* // IEEE Trans. on Parallel Distrib. Syst. – 1992. – Vol. 3. – No. 2. – P. 194-205. 5. *Mullins R.* The design and implementation of low-latency on-chip network / *R. Mullins, A. West, S. Moore* // Proc. of 11 ASPDAC. – Japan, 2006. – P. 164-169. 6. *Ogg S.* Serialized Asynchronous Links for NoC / *S. Ogg, E. Valli, B. Al-Hashimi, L. Benini*. – DATE. – Southampton, 2008. – P. 1003-1008. 7. *Романов А.Ю.* Оптимизация топологий сетей на кристалле / *А.Ю. Романов* // Вісник НТУ "ХПІ". – Х.: НТУ "ХПІ", 2011. – № 36. – С. 149-155. 8. Fully-synthesizable parameterized NoC implementations library: Netmaker, <http://www-dyn.cl.cam.ac.uk/~rdm34/wiki>.

Статью представил д.т.н., проф. НТУУ "КПІ" Лысенко А.Н.

УДК 004.722

Порівняльний аналіз ефективності псевдооптимальної та mesh топологій мереж на кристалі з використанням Netmaker / Романов О.Ю. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", – 2012. – № 38. – С. 156 – 162.

Розглянуто різні підходи до оптимізації підсистеми зв'язку мереж на кристалі. Проведено моделювання псевдооптимальних і mesh топологій з 8-ма і 9-ма вузлами за допомогою System Verilog бібліотеки Netmaker. Показано, що топології mesh прямокутного виду менш ефективні, ніж квадратні; псевдооптимальні топології мають більш високий поріг насичення порівняно з mesh і при цьому не мають обмежень на кількість вузлів. Іл.: 4. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: мережа на кристалі, моделювання псевдооптимальних і mesh топологій.

UDC 004.722

The Comparative Analysis of Efficiency of Pseudo-optimal and Mesh Topologies of Networks on Chip, Using Netmaker / Romanov A.Y. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – № 38. – P. 156 – 162.

The different approaches to the optimization of network communications subsystem on a chip are considered. The mesh and pseudo-optimal topologies with 8 and 9 nodes using System Verilog library Netmaker are modelled. It is shown, that mesh topologies of rectangular form are less efficient, than square ones; pseudo-optimal topologies have a higher threshold of saturation compared to the mesh and they have no restrictions on the number of nodes. Figs.: 4. Refs.: 8 titles.

Keywords: network on chip, pseudo-optimal topology, model.

Поступила в редакцію 15.03.2012

С.Г. СЕМЕНОВ, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харьков,
В.В. ДАВЫДОВ, асп., НТУ "ХПИ", Харьков

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ВИРУСОВ В ГЕТЕРОГЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

Усовершенствованы математические модели распространения компьютерных вирусов в гетерогенной компьютерной сети, учитывающие ее топологические и архитектурные особенности. Проведены сравнительные исследования разработанных математических моделей и построены сравнительные графики зависимости количества зараженных узлов от времени функционирования компьютерной системы при распространении эпидемии. Ил.: 4. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: математическая модель, компьютерные вирусы, топологические особенности, гетерогенная компьютерная сеть.

Постановка задачи. На современном этапе развития средств и систем управления в различных отраслях производства, одним из основных факторов, влияющих на эффективность их функционирования, является степень защищенности существующих средств автоматизации и компьютеризации в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУТП). Как показали исследования, существующие компьютерные системы зачастую подвержены различного рода атакам злоумышленного программного обеспечения (ПО). Особым опасностям подвергаются компьютерные системы, используемые для контроля и управления технологическими процессами в системах критического применения.

Исследование систем атак и защиты информации показали высокую степень их взаимозависимости, при этом уровень технического и программного обеспечения злоумышленников в большинстве практических случаев выше. В связи с этим существующие средства защиты АСУТП не всегда своевременно справляются с идентификацией злоумышленного ПО и его локализацией в случае распространения эпидемии. Именно поэтому вопросы разработки и внедрения новых методов, моделей, алгоритмов и систем защиты информации от злоумышленного ПО остается актуальным и в настоящее время. Особо острой в указанном перечне представляется проблематика разработки и внедрения адекватных математических моделей распространения

компьютерных вирусов, учитывающих специфику их злоумышленного воздействия в гетерогенных компьютерных сетях.

Анализ литературы показал, что в работах [1 – 5] ряд авторов уделяют особое внимание биологическим подходам математического моделирования. Так, в работах [3, 6 – 8] были проведены анализ и сравнительные исследования существующих биологических моделей распространения компьютерных вирусов. Это позволило выявить ряд характерных особенностей распространения компьютерных вирусов в компьютерных сетях и получить математическую оценку скорости заражения отдельных объектов в различных режимах функционирования.

Однако анализ существующих математических моделей распространения компьютерных вирусов позволил выявить ряд их недостатков, связанных, в первую очередь, с пренебрежением учета топологических и архитектурных особенностей компьютерной сети. Поэтому разработка математической модели распространения компьютерных вирусов в АСУТП с учетом топологических и архитектурных особенностей компьютерной сети является актуальной научной задачей.

Целью статьи является разработка математической модели распространения компьютерных вирусов в гетерогенных компьютерных сетях с учетом топологических особенностей компьютерной сети.

В работе [8] были выделены следующие математические модели компьютерных вирусов: *SI* (Suspected-Infected), *SIR* (Suspected-Infected-Recovered), *SEIQR* (Suspected-Exposed-Infected-Quarantined-Recovered), *PSIDR* (Progressive Suspected-Infected-Detected-Recovered). Анализ их достоинств и недостатков позволил определить модели *SI*, *SIR*, *PSIDR* как наиболее адекватно описывающие процесс распространения компьютерных вирусов.

1. Модель SIT. Исследования показали, что модель *SI* [1, 2] характеризуется наличием двух типов объектов управления: зараженные (*I*) и не зараженные (*S*). Характерной особенностью данной модели является пренебрежение антивирусным ПО (лечащего фактора), что приводит к тому, что эпидемия не может угаснуть.

Обобщенная структура компьютерной системы на основе модели *SI* может быть представлена с помощью выражения:

$$N = S(t) + I(t), \quad (1)$$

где: *N* – общее количество объектов в системе; *S(t)* – количество уязвимых объектов; *I(t)* – количество зараженных объектов.

В данной математической модели отсутствует учет топологических характеристик. Такой учет возможен путем введения функции связности $f(c_i)$, где $c_i \in C$, C – множество топологий в системе.

В этом случае, с учетом топологических особенностей компьютерной сети, модель SI претерпевает ряд изменений и трансформируется в модель SIT (SI -Topology), а динамическое изменение характеристик данной модели описывается с помощью системы:

$$\begin{cases} \frac{dS_i(t)}{dt} = -\frac{\beta f(c_i)I(t)}{N}S_i(t), \\ \frac{dI(t)}{dt} = \frac{\beta f(c_i)I(t)}{N}S(t), \\ \frac{dS(t)}{dt} = \sum_{i=1}^K \frac{dS_i(t)}{dt} / k, \\ \frac{dI(t)}{dt} + \frac{dS(t)}{dt} = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где: β – частота заражения; c_i – топология конкретной подсети; k – количество топологий в исследуемой сети.

Исследуем временные характеристики поведения компьютерных вирусов в соответствии с моделью SIT .

Графики зависимостей изменения количества зараженных узлов от времени функционирования компьютерной системы в условиях распространения эпидемии по моделям SI и SIT представлены на рис. 1. Предполагается, что в рассматриваемой АСУТП архитектура компьютерной сети представлена определенной, заранее известной, топологией (тип "звезда"), где $f(c_i) = 0.6$.

Анализ графиков на рис. 1 показал, что в соответствии с моделью SIT время распространения эпидемии меньше до 2 раз по сравнению с моделью SI , при этом скорость заражения в модели SI выше в 1.1 раз.

Среди достоинств приведенной модели является простота реализации. Однако, пренебрежение наличием антивирусного ПО ограничивает применение математической модели SIT стадий заражения.

2. Модель $SIRT$. Исследования показали, что модель SIR [1, 2] характеризуется наличием трех типов объектов управления: зараженные (I), не зараженные (S), вылеченные объекты, обладающие иммунитетом (R).

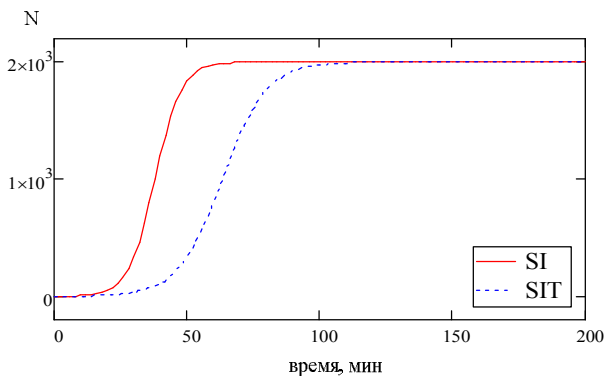


Рис. 1. Графики зависимостей изменения количества зараженных узлов от времени функционирования компьютерной системы в условиях распространения эпидемии по моделям *SI* и *SIT*, при коэффициенте заражения $\beta = 0.2$

Обобщенная структура компьютерной системы на основе данной модели может быть представлена с помощью выражения:

$$N = S(t) + I(t) + R(t), \quad (3)$$

где: N – общее количество объектов в системе; $S(t)$ – количество уязвимых объектов; $I(t)$ – количество зараженных объектов; $R(t)$ – количество вылеченных объектов, обладающих иммунитетом.

С учетом топологических особенностей компьютерной сети (функции связности $f(c_i)$), модель *SIR* претерпевает ряд изменений и трансформируется в модель *SIRT* (*SIR-Topology*), а динамическое изменение характеристик данной модели описывается с помощью системы:

$$\begin{cases} \frac{dS_i(t)}{dt} = -\frac{\beta f(c_i)I(t)}{N}S_i(t), \\ \frac{dI(t)}{dt} = \frac{\beta f(c_i)I(t)}{N}S(t) - \delta I(t), \\ \frac{dR(t)}{dt} = \delta I(t), \\ \frac{dS(t)}{dt} = \sum_{i=1}^K \frac{dS_i(t)}{dt} / k, \\ \frac{dS(t)}{dt} + \frac{dI(t)}{dt} + \frac{dR(t)}{dt} = 0, \end{cases} \quad (4)$$

где: β – частота заражения; c_i – топология конкретной подсети; δ – частота лечения, "скорость иммунизации"; k – количество топологий в исследуемой сети.

Данная модель подразумевает, что эпидемия возможна лишь при $\beta > \delta$.

Исследуем временные характеристики поведения компьютерных вирусов в соответствии с моделью *SIRT*.

Графики зависимостей изменения количества зараженных узлов от времени функционирования компьютерной системы в условиях распространения эпидемии по моделям *SIR* и *SIRT* представлены на рис. 2. Топологические допущения условий моделирования аналогичны модели *SIT*.

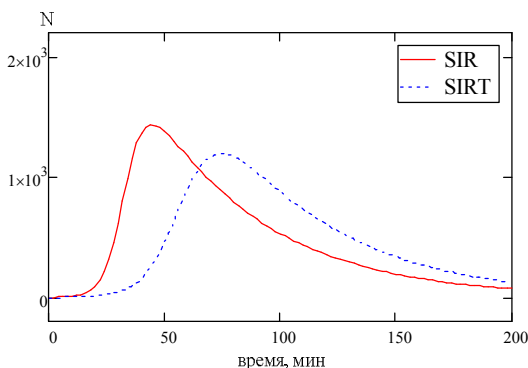


Рис. 2. Графики зависимостей изменения количества зараженных, незараженных и вылеченных узлов от времени функционирования компьютерной системы в условиях распространения эпидемии по моделям *SIR* и *SIRT* при коэффициенте заражения $\beta = 0.25$ и частоте лечения $\delta = 0.02$

Проведенные исследования модели *SIRT* показали, что введение дополнительного типа объекта управления и учет возможного фактора лечения, позволило повысить точность конечного результата в условиях наличия обновляемого антивирусного ПО.

В реальных условиях для лечения компьютерных систем существует необходимость идентификации и локализации злоумышленного ПО. Данная процедура требует определенных (от доли секунды до десятка часов) временных затрат. Данный фактор в модели *SIRT* не учитывается, что также снижает область применения данной модели [8].

3. Модель PSIDRT. Модель *PSIDR* [5] характеризуется наличием четырех типов объектов управления: зараженные (*I*), не зараженные (*S*),

вылеченные объекты, обладающие иммунитетом (R) и найденные зараженные объекты (D).

Эта модель, описывающая поведение системы в условиях воздействия злоумышленного ПО, выделяет 2 этапа:

- 1) Только заражение объектов (модель идентична модели SI);
- 2) Добавление фактора лечения, при этом вылеченные узлы не заражаются повторно.

Обобщенная структура компьютерной системы на основе модели $PSIDR$ может быть представлена с помощью выражения:

$$N = S(t) + I(t) + D(t) + R(t), \quad (5)$$

где: N – общее количество объектов в системе; $S(t)$ – количество уязвимых объектов; $I(t)$ – количество зараженных объектов; $R(t)$ – количество вылеченных объектов, обладающие иммунитетом; $D(t)$ – количество объектов, в которых обнаружен вирус.

С учетом топологических особенностей компьютерной сети (функции связности $f(c_i)$), модель $PSIDR$ претерпевает ряд изменений и трансформируется в модель $PSIDRT$ ($PSIDR$ -Topology), а динамическое изменение характеристик данной модели описывается с помощью системы:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dS_i(t)}{dt} = -\beta S_i(t)I(t) - \mu f(c_i)S_i(t), \\ \frac{dI(t)}{dt} = \beta S(t)I(t) - \mu I(t), \\ \frac{dR(t)}{dt} = \delta D(t) + \mu f(c_i)S(t), \\ \frac{dD(t)}{dt} = \mu I(t) - \delta D(t), \\ \frac{dS(t)}{dt} = \sum_{i=1}^K \frac{dS_i(t)}{dt} / k, \\ \frac{dS(t)}{dt} + \frac{dI(t)}{dt} + \frac{dR(t)}{dt} + \frac{dD(t)}{dt} = 0, \end{array} \right. \quad (6)$$

где: β – частота заражения; $I(t)$ – количество зараженных объектов; μ – вероятность вылечивания (переход в состояние R); c_i – топология конкретной подсети; $S(t)$ – количество уязвимых объектов; $R(t)$ – количество вылеченных (с иммунитетом) объектов; $D(t)$ – количество

обнаруженных зараженных объектов (на первой стадии $D(t) = 0$); k – количество топологий в исследуемой сети; δ – частота лечения.

Исследуем временные характеристики поведения компьютерных вирусов в соответствии с моделью *PSIDRT*.

Графики зависимостей изменения количества обнаруженных зараженных узлов от времени функционирования компьютерной системы в условиях угасания эпидемии (второй этап) по моделям *PSIDR* и *PSIDRT* представлены на рис. 3. Графики зависимостей изменения количества зараженных узлов от времени функционирования компьютерной системы в условиях угасания эпидемии по моделям *PSIDR* и *PSIDRT* представлены на рис. 4. Топологические допущения условий моделирования аналогичны модели *SIT*.

Анализ графиков рис. 3 и рис. 4 показал, что в соответствии с моделью *PSIDRT* происходит замедление процесса обнаружения вируса в 1.65 раз и уменьшение максимального количества обнаруженных объектов в 1.1 раз. Это приводит к замедлению процесса лечения компьютерной системы до 1.01 раз.

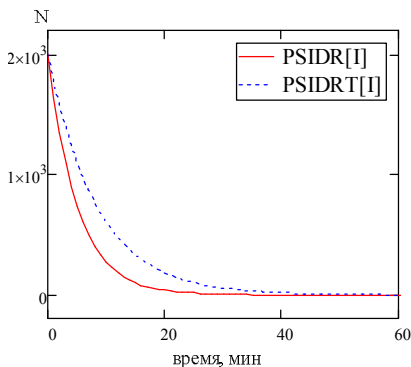


Рис. 3. Графики зависимостей изменения количества обнаруженных зараженных узлов от времени функционирования компьютерной системы в условиях угасания эпидемии (второй этап) по модели *PSIDR* и *PSIDRT*, при коэффициенте заражения $\beta = 0.25$, частоте лечения $\delta = 0.02$, вероятности вылечивания $\mu = 0.2$

Проведенный анализ модели *PSIDRT* показал, что разбиение модели распространения компьютерных угроз на два этапа дает возможность независимого анализа процесса заражения и лечения. Введение задержки между началами этих двух этапов, идентификации, локализация и лечение злоумышленного ПО, позволило устранить один из недостатков модели *SIRT*. Введение коэффициента связности сети не повлияло на время вылечивания системы. Максимальное количество обнаруженных

зараженных объектов уменьшилось в 1.1 раз, что негативно влияет на процесс лечения.

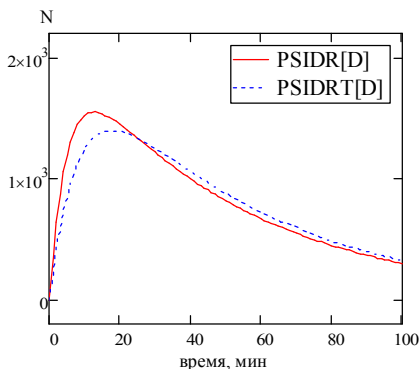


Рис. 4. Графики зависимостей изменения количества зараженных узлов от времени функционирования компьютерной системы в условиях угасания эпидемии (второй этап) по моделям *PSIDR* и *PSIDRT*, при коэффициенте заражения $\beta = 0.25$, частоте лечения $\delta = 0.02$, вероятности выздоровления $\mu = 0.2$

Выводы. В результате проведенной работы были разработаны математические модели распространения компьютерных вирусов в гетерогенных компьютерных сетях с учетом топологических особенностей компьютерной сети. Анализ и сравнительные исследования разработанных математических моделей позволили сделать вывод о повышении их точности по сравнению с известными математическими моделями до двух раз, что позволило сделать вывод о целесообразности применения разработанных моделей в компьютерных сетях АСУТП.

Список литературы: 1. Котенко И.В. Аналитические модели распространения сетевых червей / И.В. Котенко, В.В. Воронцов // Труды СПИИРАН. Вып. 4. – СПб.: Наука, 2007. 2. Rohloff K. Stochastic Behavior of Random Constant Scanning Worms / K. Rohloff, T. Basar // Computer Communications and Networks, 2005. ICCCN 2005. – Proceedings. 14th International Conference on 17-19 Oct. 2005, – P. 339 – 344. 3. Cohen F. Computer viruses, theory and experiments, Computers & Security. – 1987. – Vol. 6. – P. 22 – 35. 4. Jeffrey O. Directed-Graph Epidemiological Model of Computer Viruses / O. Jeffrey Kephart, R. Steve White // IEEE Symposium on Security and Privacy, 1991. – P. 343. 5. Williamson M. Epidemiological model of virus spread and cleanup / M. Williamson, J. Leveille // HP Laboratories Bristol (February 27th, 2003) [Электронный ресурс]. 6. Zesheng Chen, Lixin Gao, Kevin Kwiat. Modeling the spread of active worms. INFOCOM 2003. [Электронный ресурс] 7. Williamson M.M., Leveille J. Epidemiological model of virus spread and cleanup. HPL-2003-39 [Электронный ресурс] 8. Давыдов В.В. Сравнительный анализ моделей распространения компьютерных вирусов в автоматизированных системах управления технологическим процессом / В.В. Давыдов // Системи обробки інформації / Харків: ХУПС, 2012. – Вип. 3 (101). – Том 2. – С. 147 – 151.

Статтю представил д.т.н., проф. НТУ "ХПИ" Серков А.А.

УДК 004.49.5

Математична модель розповсюдження комп'ютерних вірусів в гетерогенних мережах автоматизованих систем керування технологічним процесом / Семенов С.Г., Давидов В.В. // НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2012. – № 38. – С. 163 – 171.

Удосконалені математичні моделі розповсюдження комп'ютерних вірусів в гетерогенній комп'ютерній мережі, що враховує її топологічні та архітектурні особливості. Було проведено порівняльні дослідження розроблених математичних моделей та побудовані порівняльні графіки залежності кількості заражених вузлів від часу функціонування комп'ютерної мережі при розповсюдженні епідемії. Іл.: 4. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: математична модель, комп'ютерні віруси, топологічні особливості, гетерогенна комп'ютерна мережа.

UDC 004.49.5

Mathematic model of computer virus spread in heterogeneous computer networks of SCADA systems / Semenov S.G., Davydov V.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – № 38. – P. 163 – 171.

Improved mathematical models of computer viruses spread in heterogeneous computer network, taking into account its topological and architectural features. Comparative analyses of mathematical models developed and built by comparative graphs of the number of infected nodes on a computer system operating time during propagation of the epidemic. Figs.: 4. Refs.: 8 titles.

Keywords: mathematical model, computer viruses, topological specifics, heterogeneous computer network.

Поступила в редакцію 18.06.2012

Б.Н. СУДАКОВ, канд. техн. наук, проф., НТУ "ХПИ", Харьков,
А.С. МАЛЁНКИН, магистр, НТУ "ХПИ", Харьков

МЕТОДЫ СИНТЕЗА ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВЫХ ТЕКСТОВ В ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ

Был проведен анализ методов синтеза естественно-языковых текстов в экспертных системах, определены и проанализированы основные этапы синтеза, а также определена целесообразность использования того или иного метода в различных задачах. Рассмотрены проблемы, которые встречаются при семантическом синтезе естественно-языковых текстов. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: естественно-языковой текст, анализ, синтез, экспертные системы.

Постановка проблемы и анализ литературы. Методы синтеза естественно-языковых текстов являются важной составляющей при построении интерфейса человек-компьютер, который основан на лингвистическом процессоре. Вследствие чего представляется целесообразным провести анализ существующих методов синтеза, для дальнейшего использования их на практике.

В [1] описываются механизмы работы лингвистического процессора. Классификация интеллектуальных систем по структуре и по решаемым задачам представлена в [2, 3]. В [4] представлена проблема создания систем, предоставляющих человеку возможность общаться с вычислительными машинами на естественном языке (в частности, на русском). Модели хранения знаний, а также методы работы с ними представлены в [5]. В [6] рассмотрены экспертные системы и примеры их реализации. Приведены варианты реализации основных блоков экспертной системы. Новые тенденции и прикладные аспекты инженерии знаний, а также программный инструментарий разработки систем, основанных на знаниях, изложен в [7, 8]. В [9] рассматриваются как традиционные в лингвистике подходы к описанию естественного языка и его моделирования средствами вычислительной техники, так и результаты исследований, проведенных в последнее время. В [10] излагаются основные вопросы семантики как раздела курса общей теории языка.

Цель статьи – анализ существующих методов синтеза естественно языковых текстов, а также разрешение проблем, которые возникают в процессе синтеза текста.

Попытки формализовать интеллектуальную деятельность человека привели к постановке фундаментальной лингвистической задачи, состоящей в моделировании его языкового поведения, т.е. в построении функциональной модели естественного языка. Естественный язык служит человеку для выражения собственных мыслей и для понимания мыслей других людей. Формальные модели языка рассматриваются как компоненты различных прикладных ЕЯ-систем. Компонента системы, реализующая формальную лингвистическую модель и способная работать с ЕЯ во всем его объеме, называется лингвистическим процессором (ЛП) [1]. Две основные функции ЛП состоят в извлечении смысла из заданного текста и в выражении заданного смысла текстом на ЕЯ, иначе это функции [2]: моделирования понимания (анализ); моделирования производства текстов (синтез).

В настоящее время письменный ЕЯ текст широко распространен как средство коммуникации пользователя с компьютерными системами. Большая часть программных приложений, которые выдают тексты на ЕЯ, работает с ЕЯ информацией как со строкой символов. Они манипулируют готовыми предложениями и словосочетаниями как строительными блоками будущего текста. Это – шаблонные технологии. Шаблонные технологии относительно просты и надежны и находят широкое промышленное применение. Главная особенность этих технологий состоит в том, что содержание будущего текста представлено в них в виде фрагментов текста.

Другой вид систем работает с содержанием будущего текста, представленном в виде данных нетекстовой природы (БД, баз знаний, семантических и формальных языков) [3]. В этом случае для создания текста системе необходимы знания структуры содержания и знания об устройстве генерируемого текста, а также сложные лингвистические знания, которые позволяют выразить это содержание языковыми средствами.

Шаблонные системы. Шаблонная система использует готовые реплики или комбинирует готовые фрагменты текста таким образом, что они занимают заданные позиции в дискурсе или стереотипном тексте. Самые простые шаблонные системы просто вставляют фрагменты текста в шаблоны без их дополнительной обработки, например, реплика системы: "Не могу найти my1.txt, my2.txt файл(ы)!".

Более сложные шаблонные системы дополнительно проводят ограниченную лингвистическую и риторическую обработку результата – позволяют задавать отдельные грамматические параметры текста или комбинировать шаблонные высказывания в связный текст, используя определенные лексические и грамматические знания о ЕЯ.

Системы автоматической генерации текстов на ЕЯ (ГЕЯ). Генерация на естественном языке (ГЕЯ) как научное направление занимается созданием компьютерных систем, производящих тексты на естественном языке (ЕЯ) из некоторого лингвистического (нетекстового) представления информации.

ГЕЯ активно развивается за рубежом, начиная с 90-х годов.

ЛМ системы предназначены для создания текстов, имеющих относительно свободное содержание, которое не может быть заранее задано в виде готовых фрагментов текста. Источником содержания являются данные, представленные в виде БД, БЗ или в виде выражений на формализованных языках, например, SQL.

Несмотря на сложность ЛМ систем, они имеют важные преимущества по сравнению с использованием ручного труда и шаблонными системами [4]. Лучшее качество создаваемых текстов, многоязыковой выход и гарантированное соответствие стандартам.

Организация системы ГЕЯ: ресурсы и обрабатывающий компонент. Программный код, реализующий генератор обычно разделяется на два компонента: ресурсы и обрабатывающий компонент. Ресурсы описывают знания, необходимые для генерации, а обрабатывающий компонент применяет эти знания к входным данным (словари).

Ресурсы должны быть максимально независимы от особенностей конкретного приложения, а все особенности задачи должны быть отражены в принимаемых генератором на входе данных [5]. В этом случае задачу построения генератора необходимо решить только один раз для каждого описываемого ЕЯ. К настоящему моменту считается, что генератор, реализующий такую схему, на входе должен принимать систему знаний, из которой будет конструироваться текст, коммуникативную цель порождаемого текста, модель адресата текста, и контекст повествования.

Общая и полная схема генерации без детализации происходящих процессов состоит из трех основных блоков:

- планирование содержания текста;
- микропланирование;
- реализация на ЕЯ.

Планирование содержания текста – решение, какая именно информация из входных данных попадет в текст, и как она будет организована [6].

Микропланирование – это интерфейсный блок, который позволяет от предметных знаний перейти к языковым. В нем решается, каким образом выбранная информация будет реализована языковыми

средствами в виде предложений на ЕЯ. Результатом этого процесса являются представления предложений в виде структур семантических и/или синтаксических отношений.

Реализация на ЕЯ – производство грамматически правильных предложений текста [7]. Основано на лингвистических знаниях. Этот блок часто выделяется как универсальный и включает в себя либо только морфологический синтез словоформ, либо переход от семантических представлений к поверхностно синтаксическим и синтез словоформ.

Определение вида входных данных является кардинальным вопросом для ЛМ систем. Теоретическое рассмотрение возможных типов входов оказывается не эффективным [8]. Можно рассматривать три вида возможных входов для систем ГЕЯ – числовые данные, структурированные объекты и логические формулы. Особенность практических систем состоит в том, что они обычно используют в качестве входа представления данных, порожденные другими системами для некоторых практических целей, а не созданные вручную разработчиками системы. Можно выделить три вида таких входов [9]:

1. БД. Особенность этого типа источника состоит в том, что информация не организована для передачи адресату. Тип текста, который можно построить на основе этой информации, и его структура должны быть определены извне.

2. Семантическое представление – представление содержания текста, созданное человеком с помощью системы интерфейсного типа "человек – компьютер".

3. Представление знаний на формальном языке, например, SQL, логические языки.

Можно выделить два вида данных БД, которые рассматриваются как источники информации для ЛМ систем ГЕЯ: данные, описывающие некоторые объекты и их признаки, например, БД по товарам, однотипным объектам типа военных кораблей, подержанных автомобилей для продажи и т.п. Другой вид – это поток данных, отражающий состояние одного или группы однотипных объектов в некоторые моменты времени, например, метеорологические замеры (погода), статистические данные по занятости населения (занятость) и др.

Поток данных – "простой отчет". Содержание текста выбирается из исходной БД. В него попадает только та информация, которая интересует пользователей отчетов. Выбранная информация упорядочивается локально по тематическому принципу, заданному извне, а подача информации в целом соответствует зафиксированному в БД потоку данных. В простых отчетах могут моделироваться простейшие

анафорические ссылки в виде замены описательной номинации объекта на указательную – личное местоимение [10].

Тексты типа "связный отчет" описывает ситуацию, характеристики которой – различные объекты. Текст создается на основе БД по тому же общему сценарию, что и простой отчет. Различие состоит в том, что дискурс текста представляет собой не просто последовательность тематических блоков, а некоторую структуру, образованную семантическими и концептуальными связями – план текста.

Генерация текстов из семантического представления. Кардинально отличается от БД другой источник содержания текста – семантические представления [3]. Этот вид исходных данных создается человеком в режиме интерфейса с компьютером.

Моделирование структуры текста обычно выполняется для рассматриваемых систем в специальной системе планирования содержания, имеющей вид, в частности, графического редактора. Графический редактор последовательно предоставляет пользователю возможность выбирать понятия из определенных в данной семантической среде, следуя заданной в нем стратегии организации текста. Таким образом, графический редактор контролирует правильность получающегося представления, предлагая пользователю для продолжения структуры текста допустимые по структурным и семантическим свойствам понятия МПО [5]. Особенность систем данного типа состоит в получении в результате планирования содержания целого связанного представления текста, структуру которого образуют дискурсные и предметные отношения между пропозициями или высказываниями.

В отличие от генерации текстов отчетов задача микропланирования в ЛМ системах с семантическим входом состоит, как правило, не в добавлении, а в усечении части исходного семантического представления при переходе к средствам ЕЯ [7]. Переход от единой структуры текста к последовательности предложений, а также реализация некоторых синтаксических конструкций предполагает сокращение фрагментов исходного представления, делая его более лаконичным и естественным. Эти процессы получили название агрегация. При агрегации сокращаются дублирующиеся структуры и понятия.

Некоторые виды текстов существуют и используются на некотором формальном языке, отличном от языковой семантики. Это языки математики, например, логические языки, языки спецификаций, например, представления запросов к БД (SQL) [2]. Особенность "текстов" на этих формальных языках состоит в том, что они коммуникативно организованы, т.е. так же, как и тексты на ЕЯ, непосредственно

предназначены для передачи информации. В качестве входа для системы ГЕЯ такие представления получаются в результате работы определенной нелингвистической системы.

Выводы. В результате данной статьи были проанализированы существующие методы синтеза естественно-языкового текста. Были выделены особенности каждого из методов. Показаны преимущества систем автоматической генерации текстов над шаблонными системами.

Список литературы: 1. *Апресян Ю.Д.* Лингвистический процессор для сложных информационных систем / *Ю.Д. Апресян, И.М. Богуславский, Л.Л. Иомдин и др.* – М.: Наука, 1992. – 416 с. 2. Искусственный интеллект: В 3 кн. Кн.1. Системы общения и экспертные системы: Справочник / Под ред. Э.В. Попова. – М.: Радио и связь, 1990. – 464 с. 3. *Евдокимова И.С.* Естественно-языковые системы: курс лекций / *И.С. Евдокимова.* – Улан-Уде: Изд-во ВСГТУ, 2006. – 92 с. 4. *Попов Э.В.* Общение с ЭВМ на естественном языке / *Э.В. Попов.* – М.: Наука, 1982. – 360 с. 5. *Елисеева О.Е.* Компьютерная лингвистика, естественно-языковой и речевой интерфейсы: Учебн. пособие. / *О.Е. Елисеева.* – Минск: БГУИР, 2006. – 160 с. 6. *Балтрашевич В.Э.* Реализация инструментальной экспертной системы / *В.Э. Балтрашевич.* – СПб.: Политехника, 1993. – 238 с. 7. *Гаврилова Т.А.* Базы знаний интеллектуальных систем / *Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский.* – СПб.: Питер, 2000. – 384 с. 8. *Джарратано Дж.* Экспертные системы: принципы разработки и программирование / *Дж. Джарратано, Г. Райли.* – М.: "Вильямс". 2007. – 1152 с. 9. *Шемакин Ю.И.* Начало компьютерной лингвистики / *Ю.И. Шемакин.* – М.: Издательство МГОУ А/О "Росвузнаука", 1992. – 360 с. 10. *Кобозева И.* Лингвистическая семантика: Учебное пособие / *И. Кобозева.* – М.: Эдичорил УРСС, 2000. – 352 с.

Статью представил д.т.н., проф. НТУ "ХПИ" Серков А.А.

УДК 651.326

Методи синтезу природно-мовних текстів в експертних системах / Судаков Б.М., Мальонкін А.С. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – № 38. – С. 172 – 177.

Був проведений аналіз методів синтезу природно-мовних текстів в експертних системах, визначено та проаналізовано основні етапи синтезу, а також визначено доцільність використання того чи іншого методу в різних завданнях. Розглянуті проблеми, які зустрічаються при семантичному синтезі природно-мовних текстів. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: природно-мовний текст, аналіз, синтез, експертні системи.

UDC 651.326

Methods of synthesis natural language texts in expert systems / Sudakov B.N., Malyonkin A.S. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – № 38. – P. 172 – 177.

Methods of synthesis of natural language texts in expert systems were analysed. Have been identified and analyzed the main stages of the synthesis and determined the feasibility of using a particular method in various tasks. Problems encountered in the synthesis of semantic natural language texts was analyzed. Refs.: 10 titles.

Keywords: natural language text, analysis, synthesis, expert systems.

Поступила в редакцію 18.06.2012

Б.Н. СУДАКОВ, канд. техн. наук, проф., НТУ "ХПИ", Харьков,
Ю.М. МИХАЙЛОВА, магистр, НТУ "ХПИ", Харьков

ЛИНГВИСТИЧЕСКИЙ ПРЕПРОЦЕССОР ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВЫХ ТЕКСТОВ ДЛЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

Анализ особенностей природных и формальных языков показал, что с точки зрения решаемых задач экспертными системами целесообразно иметь язык взаимодействия пользователя с системой, состоящий из двух уровней. Один уровень – ограниченный естественный язык. Другой – формальный язык, являющийся внутренним языком системы, на котором осуществляется логическая обработка запросов пользователей. Предложена структура лингвистического процессора, осуществляющего преобразование текстов языка взаимодействия с одного уровня языка на другой. Ил.: 2. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: лингвистический процессор, обработка естественно-языковых текстов, экспертные системы.

Постановка проблемы и анализ литературы. Одним из элементов экспертной системы для принятия решений является подсистема взаимодействия с пользователем. Основу взаимодействия составляют языковые средства, поскольку только с помощью языка (формального или естественного) можно достичь определенных целей в процессе общения коммуникантов.

Существующие языки взаимодействия и языки представления знаний в интеллектуальных системах, как правило, имеют узкоспециализированную направленность. Они базируются на известных логико-математических моделях (исчислении предикатов, системах продукций, фреймах, семантических сетях) и не позволяют учитывать такие особенности предметной области как неполнота и противоречивость знаний и данных, динамичность и неопределенность объектов предметной области.

В [1, 2] изложены основные принципы проектирования экспертных систем. В [3 – 7] освещены теоретические концепции и практические методы обработки естественно-языковых текстов на всех уровнях лингвистического анализа. В [8 – 10] приведены базовые понятия компьютерного анализа текстов. Проведенный обзор литературы показал, что отсутствует единый подход к формализации знаний о предметной области. Старение моделей, заложенных в систему, требует постоянного их совершенствования. Это приводит к необходимости проведения постоянных доработок программного обеспечения, что является весьма проблематичным в системах, алгоритмы которых построены по жесткому принципу.

Цель статьи – повышение эффективности процесса взаимодействия пользователей с экспертной системой на ограниченном естественном языке на основе разработки новых языковых средств и лингвистического процессора.

Модель внутреннего языка экспертной системы медицинской диагностики. В основу построения внутреннего языка положена категорная модель знаний, являющаяся более универсальным средством, по сравнению с известными моделями, для формализации знаний о процессах реального мира.

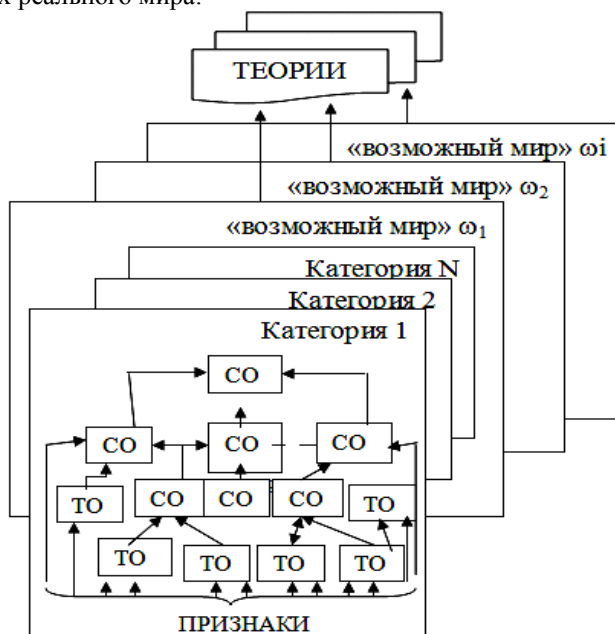


Рис. 1. Общая структура категорной модели знаний

Категория используется для описания концептов (понятий), которые ставятся в соответствие реальным (абстрактным) классам понятий или описывают частные примеры объектов реальности. Категория отражает определенный аспект знаний о концептах (состав, структура, состояние, пространство, время, параметры и т.д.). Состав категории меняется в зависимости от "возможных миров", в которых может использоваться эта категория. Категорная модель знаний носит двойственный характер. С одной стороны она описывает структуру концептов предметной области. С другой – определяет динамику взаимодействия (теорию) объектов

предметной области. Теория строится над каждым объектом и связывает по присутствию входящие и исходящие из него морфизмы. Это позволяет объединять теории объектов между собой и строить иерархические теории реальности. Использование для построения теорий операций топологической булевой алгебры позволяет описывать реальность в условиях неопределенности.

Анализ существующих моделей языков показал, что для описания внутреннего языка системы наиболее целесообразно использовать аппарат формальных грамматик. Дополнение КС-грамматики семантическими продукционными правилами позволило обеспечить взаимнооднозначное соответствие между элементами категорной модели знаний и языком представления знаний. Кроме того, описание языка с помощью правил-продукций (декларативных знаний) позволяет использовать их как для распознавания (порождения) терминальных цепочек языка, так и для синтеза системы меню, пополнения словаря, что обеспечивает дополнительные возможности для организации работы непрограммирующих пользователей. Предложенные прагматические функции позволяют осуществить манипулирование знаниями и формировать многоуровневые иерархические теории реальности.

Модель ограниченного естественного языка. Для перехода от текста ограниченного естественного языка к внутреннему представлению необходимо использовать модель языка, основанную на многоуровневом описании. Тексты ограниченного естественного языка (ОЕЯ) представляют поверхностный уровень языка. Поверхностно-синтаксический уровень языка задается системой синтаксических групп (ССГ), которая является обобщением деревьев синтаксического подчинения и системы составляющих. Глубинный уровень – структурой семантико-синтаксических групп (СССГ), что соответствует размеченной системе синтаксических групп (РССГ). При этом связи между словоформами (синтаксическими группами) устанавливаются не только с использованием знаний о синтаксисе языка, но и знаний о проблемной области и семантике внутреннего языка системы. Уровень смыслов представлен выражениями внутреннего языка системы (С-языка).

Для реализации языка в соответствии с моделью необходимо разработать следующие алгоритмы:

- построения системы синтаксических групп;
- построения структуры семантико-синтаксических групп;
- преобразования данной структуры в выражения внутреннего языка системы.

Совокупность процедур, реализующих указанные алгоритмы, будем называть лингвистическим процессором.

Структура лингвистического процессора. В соответствии с выбранной моделью языка рассмотрим общую структуру ЛП, изображенную на рис. 2.

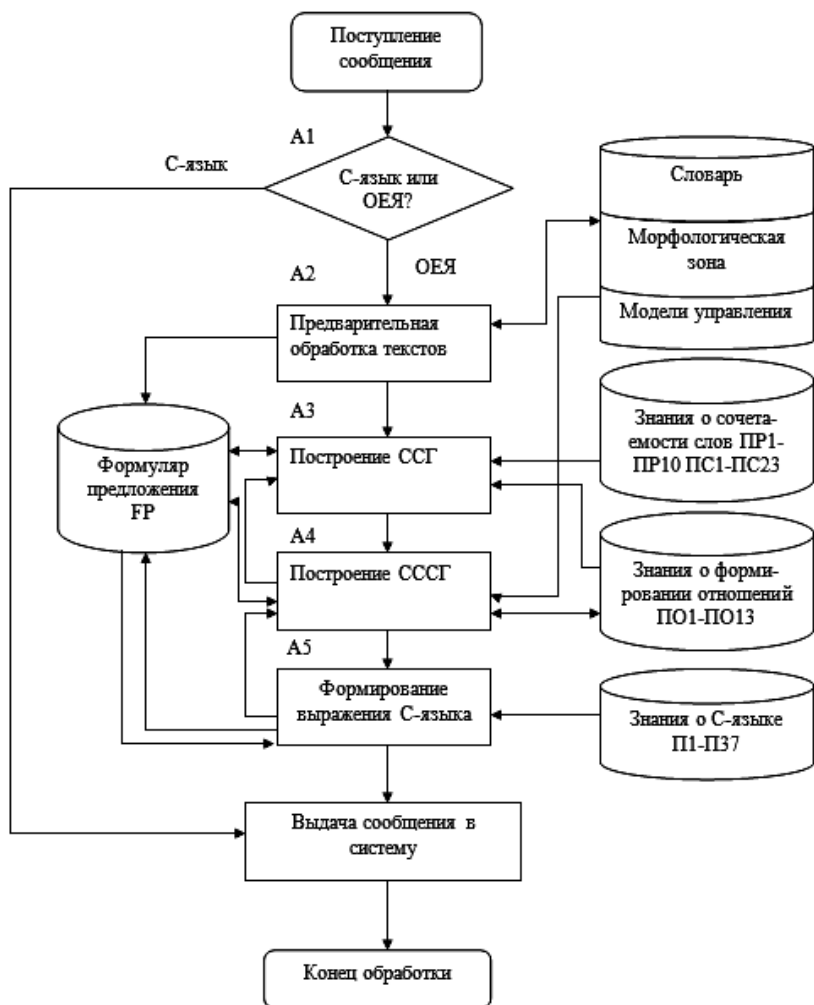


Рис. 2. Общая структура ЛП

В его составе можно выделить элементы, связанные с реализацией алгоритмов каждого из отмеченных этапов обработки текстов ограниченного естественного языка, базу знаний, включающую знания о предметной области и знания о языке.

Выводы. Выполнены исследования по разработке естественно-языкового интерфейса интеллектуальной экспертной системы на базе лингвистического процессора, обеспечивающего обработку естественно-языковых текстов.

Список литературы: 1. Джексон П. Введение в экспертные системы / П. Джексон. – М.: Основа, 2001. – 624 с. 2. Поспелова Д.А. Искусственный интеллект / Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1990. – 246 с. 3. Карпова Г.Д. Компьютерный синтаксический анализ: описание моделей и направлений разработок / Г.Д. Карпова, Ю.К. Пирогова, Т.Ю. Кобзарева, Е.В. Микаэлян. – М.: ВИНТИ, 1991. – 304 с. 4. Романенко В.Н. Сетевой информационный поиск / В.Н. Романенко. – М.: Профессия, 2005. – 290 с. 5. Попов Э.В. Общение с ЭВМ на естественном языке / Э.В. Попов. – К.: Наука, 1992. – 254 с. 6. Анно Е.И. Типологии алгоритмов синтаксического анализа (для формальных моделей естественного языка) / Е.И. Анно. – СПб.: Питер, 1989. – 152 с. 7. Омар А.Х. Авадала Подход к синтезу естественно-языковых сообщений по формализованному представлению базы знаний: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Омар А.Х. Авадала. – Х., 2001. – 20 с. 8. Фостер Дж. Автоматический синтаксический анализ / Дж. Фостер. – М.: Мир, 1975. – 71 с. 9. Руских И.В. Инкрементальный синтаксический анализ в средах разработки и текстовых редакторах // Нижегородский университет. – 2007. – С. 277. 10. Автоматическая обработка текста [Электронный ресурс] / Н.Н. Леонтьев. – 2003. – С. 5. – Режим доступа к статье: <http://www.aot.ru/technology/html>.

Статью представил д.т.н., проф. НТУ "ХПИ" Серков А.А.

УДК 004.031.42

Лінгвістичний препроцесор обробки природно-мовних текстів для експертних систем / Судаков Б.М., Михайлова Ю.М. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2012. – № 38. – С. 178 – 183.

Аналіз особливостей природних і формальних мов показав, що з точки зору розв'язування завдань в експертних системах доцільно мати мову взаємодії користувача з системою, що складається з двох рівнів. Один рівень – обмежена природна мова. Інший – формальна мова, яка є внутрішньою мовою системи та на якій здійснюється логічна обробка запитів користувачів. Запропоновано структуру лінгвістичного процесора, що здійснює перетворення текстів мови взаємодії з одного рівня мови на іншу. Іл.: 2. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: лінгвістичний процесор, обробка природно-язикових текстів, експертні системи.

UDC 004.031.42

The linguistic preprocessor of natural language texts for expert systems processing / Sudakov B.N., Mykhailova Y.M. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – № 38. – P. 178 – 183.

Analysis of the characteristics of natural and formal languages has shown that in terms of tasks of expert systems it's useful to have a language for interaction of user and system, which consists of two levels. One level – limited natural language. Another – a formal language, which is an internal language of the system and which is used for logical processing of user requests. The structure of the language processor which carries out the transformation language texts interacts with one level of language to another was proposed. Figs.: 2. Refs.: 10 titles.

Keywords: linguistic processor, natural language texts, expert systems.

Поступила в редакцию 10.05.2012

Б.Н. СУДАКОВ, канд. техн. наук, проф., НТУ "ХПИ", Харьков,
А.Н. ФИЛИПЕНКО, магистр, НТУ "ХПИ", Харьков

СИНТАКСИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВЫХ ТЕКСТОВ В ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ

В статье рассмотрены методы синтеза текстов, способы формирования синтаксической структуры ответов. Рассмотрены причины использования ссылок и деления диалогов на составные части. А также рассмотрены проблемы, которые встречаются при таких методах синтеза, и способы их устранения. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: метод синтеза текстов, ссылка, диалог.

Постановка проблемы и анализ литературы. Формализация интеллектуальной деятельности человека приводит к возникновению лингвистической задачи. Суть задачи состоит в построении формальной модели естественного языка. Компонента, реализующая формальную лингвистическую модель – лингвистический процессор – имеет функцию синтеза текстов. Синтез текстов сопровождается проблемами, связанными с моделированием текстов, построением синтаксической структуры ответов, определением структуры диалогов и пр.

В [1] производится исследование механизмов работы лингвистического процессора, как реализованной на ЭВМ формальной лингвистической модели, способной понимать и производить тексты на неограниченном языке. В [2, 3] приводится классификация интеллектуальных систем по их структуре и решаемым задачам. Описываются особенности систем общения и экспертных систем, получивших наиболее широкое распространение на практике. Рассматривается состояние развития систем общения (естественно-языковых, систем речевого общения, обработки визуальной информации, машинного перевода), экспертных систем и инструментальных систем для их создания. В [4] излагается комплексный подход к проблеме общения, состоящий в исследовании данного процесса, разработке описывающих его моделей и реализации на их основе действующих систем. В [5] изложены основные понятия систем общения на естественном языке, рассматриваются архитектура и основные классы ЕЯ-систем, вопросы создания основных компонент ЕЯ-систем и их методы организации. В [6] рассматриваются отдельные направления теории интеллектуальных систем: представление знаний, логический вывод на знаниях, языки общения, понимание текстов, модели обучения, планирование действий и обработка зрительной информации. В [7] рассмотрены экспертные системы и примеры их реализации. В [8] затрагивается разработка систем, основанных на знаниях. В [9]

включаются сведения, относящиеся к теории экспертных систем, где показано, какое место занимают экспертные системы во всем объеме компьютерных наук. В [10] рассматриваются универсальные модели и методы, применяемые при создании компьютерных систем, способных выполнять функции, традиционно считающиеся интеллектуальными.

Цель статьи – определение методов синтеза текстов, обоснование необходимости использования ссылок, решение проблем, возникающих при их использовании.

Построение синтаксической структуры ответа. Данный этап является основным модулем синтаксического синтеза. Он выполняет перевод семантического графа ответа в синтаксическую структуру, однозначно соответствующую некоторой фразе естественного языка. Для решения указанной задачи будут использованы Δ -грамматики.

Работа данного этапа состоит в последовательном применении к семантическому графу ответа правил. Процесс выбора правил при построении синтаксической структуры направляется методом blacktrack, обеспечивающим исправление, а не отбрасывание неверной синтаксической структуры.

Выполнение анафорических ссылок. Существуют следующие основные виды анафорических ссылок: местоименные и именные. Введение анафорических ссылок необходимо для придания синтезируемому тексту ясности и компактности, что способствует его лучшему пониманию пользователем. Выделим следующие случаи использования анафорических ссылок при синтезе текста. Для именных ссылок это использование родовых понятий, замена конкретных участников ситуации на их обобщенное название, синонимическая замена понятия на более лаконичное понятие. Выполнение указанных замен предназначено в основном для придания тексту компактности.

Осуществление местоименных ссылок, кроме придания тексту компактности, выполняет также функции точной идентификации используемых понятий.

Приписывание морфологической информации лексемам синтаксической структуры фразы. Указанное действие выполняется для того, чтобы обеспечить синтаксическую сочетаемость лексем в предложении. Для решения данной задачи используются грамматические правила русского языка, записанные в виде Δ -грамматики.

Алгоритм работы данного этапа сводится к последовательному применению к синтаксической структуре ответа правил из $P^{\text{транс}}$ (правил трансформаций синтаксической структуры), а затем правил $P^{\text{пр}}$ (правил

приписывания морфологической информации). Рассмотрим каждый тип правил из P_2 (множество правил данной грамматики).

Левой частью правила из $P^{\text{транс}}$ является некоторое дерево зависимостей, в вершинах которого стоят частично характеризованные лексемы. В правой части правила стоит преобразованное дерево зависимостей. Преобразование сводится либо к переименованию дуг, либо к введению дополнительных вершин, возможно сопровождаемому приписыванием вершинам определенной морфологической информации.

Левая часть правила $P^{\text{пр}}$ является некоторым деревом зависимости с частично характеризованными лексемами, а правая часть – тоже дерево зависимости, вершинам которого приписана некоторая новая морфологическая информация.

Определение порядка слов в синтезируемом предложении.

Необходимость выполнения данной задачи вытекает из того факта, что словоформы в предложениях русского языка линейно упорядочены, а вершины в дереве зависимостей не имеют линейного порядка. Указанная задача может быть выполнена в три этапа:

1. Сначала из дерева зависимостей формируются исходные группы – последовательности слов, связанных "локальными" синтаксическими отношениями (СИО).

2. Затем исходные группы объединяются в приведенные группы – последовательности исходных групп, связанных "квазилокальными" СИО. Приведенные группы более или менее соответствуют тому, что традиционно называется "группами основных членов предложения".

3. Последним этапом является расстановка приведенных групп, связанных "глобальными" СИО.

Этап определения порядка словоформ синтезируемой фразы завершается расстановкой приведенных групп. Взаимное расположение этих групп определяется в русском языке большим количеством различных по силе факторов, сложно взаимодействующих между собой.

Морфологический синтез словоформ синтезируемого предложения. Задачей данного этапа является построение по основе и приписанной ей морфологической информации конкретной словоформы русского языка. Метод морфологического синтеза (МС) может быть реализован декларативным и процедурным способами. При декларативном способе в словаре системы каждой основе сопоставлены различные возможные для нее наборы морфологической информации (МИ) и соответствующие им словоформы. Работа декларативного МС состоит в считывании из словаря по основе и набору МИ соответствующей словоформы этой основы. При процедурном МС

формирование словоформ осуществляется с помощью таблиц аффиксов, расклассифицированных по частям речи. Основными частями речи для синтеза являются существительное, прилагательное и глагол (глагольные формы). Наиболее сложно осуществляется синтез глагольных форм.

Синтез связного текста (дискурса). Проблема ссылок. Основным способом лингвистически выражаемой взаимосвязи предложений дискурса является использование ссылок.

Проблема установления ссылок может быть разбита на две подпроблемы: где в контексте искать сущность (референт), обозначаемую данной ссылкой и как определить, что референт и ссылка соответствуют друг другу.

Простейшим решением первой проблемы является поиск референта в предшествующих (на заданное расстояние) утверждениях. Основным недостатком данного метода являлось отсутствие средств для определения глубины возврата назад в поисках исходного понятия. Указанный недостаток на практике приводит как к увеличению времени поиска, так и к ошибкам в установлении ссылок. Решение проблемы ссылок требует как знания структуры диалога, так и учета фактора близости. Решение второй проблемы является тривиальным для простейших видов ссылок и весьма трудным для случаев несовпадения референта и ссылки. Сложность данной задачи вызвана тем, что люди при ссылке на некоторую введенную ранее сущность не только не указывают всех ее свойств, но, наоборот, имеют тенденцию уменьшать количество информации, используемой для ссылки.

Исследования диалогов показывают, что при выборе формы, в которой осуществляется ссылка на референт, люди учитывают два фактора: минимизацию длины сообщения и минимизацию времени поиска слушающим референта по ссылке, использованной говорящим.

Структура диалога. Структура диалога повторяет структуру решения задачи, обсуждаемой в данном диалоге. Другими словами, диалог разбивается на поддиалоги, соответствующие подзадачам, выделяемым в процессе решения исходной задачи. Выделяются два основных подкласса диалога-помощи: диалог, ориентированный на решение задачи (ДОР), и диалог, ориентированный на поиск (ДОП) в базе данных. На основании анализа реальных диалогов видно, что влияние структуры задачи особенно ощутимо в диалогах типа ДОР и меньше заметно в ДОП.

Тематическая структура диалога определяется на основе знания структуры решаемой задачи, с одной стороны, и выделения в диалоге лингвистических конструкций, указывающих на сегментацию диалога.

Контекст и его роль в обработке дискурса. Общение с помощью отдельных изолированных (несвязанных) предложений даже в ограниченной предметной области весьма неудобно. В то время как общение, допускающее связный текст, не имеет серьезных недостатков. Однако обработка связного текста предъявляет системе естественного языка ряд новых задач. Задача интерпретации предложения связного текста (дискурса) состоит в соотнесении отдельного предложения с контекстом, в котором оно встречается. Без соотношения с контекстом отдельные предложения, образующие дискурс, зачастую являются многозначными или вообще лишенными смысла. На интерпретацию конкретного предложения связного текста оказывают влияние как предыдущие предложения, так и ситуационное окружение, в котором это предложение встречается. Ситуационный контекст в связи с концепцией умолчания, свойственной естественным языкам, обычно в явном виде не присутствует в тексте. Он воссоздается участниками в процессе понимания ими диалога. Можно сказать, что разделение на текстовой и ситуационный контексты подчеркивает способ формирования контекста – явный (текстовой) и неявный (ситуационный). С точки зрения задач, решаемых при анализе дискурса, удобно выделять глобальный и локальный контексты. Глобальный контекст включает общую направленность текста и его ситуационное окружение. С помощью глобального контекста решается проблема установления именных ссылок. Глобальный контекст выделяет из общих знаний системы те, которые уместны при понимании текущей фазы диалога. Локальный контекст содержит предложения, непосредственно предшествующие обрабатываемому предложению. Локальный контекст используется для раскрытия "умолчаний" в предложениях, содержащих эллипсис (намеренный пропуск несущественных слов в предложении без искажения его смысла).

Интерпретация входного текста и вывод. Поиск и вывод выполняются как реакция системы понимания на входной текст. Диапазон возможных способностей реагировать чрезвычайно широк и определяется "интеллектуальной" мощностью системы. В минимальном варианте система способна буквально понимать вход, определять требуемые факты как с помощью поиска в знаниях системы, так и с помощью вывода и вычислений. Для извлечения из системы знаний, уместных для входного текста, в общем случае необходимо использовать дедуктивный вывод.

Выводы. В результате проделанной работы было показано, каким образом определяется структура диалога и разбиение его на составные

части, а также необходимость использования ссылок и проблемы, которые возникают при их использовании, а также способы их решения. Также показана рациональность разбиения диалога на поддиалоги и зависимость такого разбиения от вида диалога. Предложено учитывать влияние контекста на обработку дискурса, а также последовательность и структуру реакции системы в ответ на полученный ею текст.

Список литературы: 1. Апресян Ю.Д. Лингвистический процессор для сложных информационных систем / Ю.Д. Апресян, И.М. Богуславский, Л.Л. Иомдин и др. – М.: Наука, 1992. – 416 с. 2. Искусственный интеллект: В 3 кн. Кн.1. Системы общения и экспертные системы: Справочник / Под ред. Э.В. Попова. – М.: Радио и связь, 1990. – 464 с. 3. Искусственный интеллект: В 3 кн. Кн.2. Модели и методы: Справочник / Под ред. Д.А. Поспелова. М.: – Радио и связь, 1990. – 304 с. 4. Попов Э.В. Общение с ЭВМ на естественном языке / Э.В. Попов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982. – 360 с. 5. Евдокимова И.С. Естественно-языковые системы: курс лекций / И.С. Евдокимова. – Улан-Уде: Изд-во ВСГТУ, 2006. – 92 с. 6. Искусственный интеллект: Справочник. Книга 2. Модели и методы / Д.А. Поспелов. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с. 7. Балтрашевич В.Э. Реализация инструментальной экспертной системы / В.Э. Балтрашевич. – СПб.: Политехника, 1993. – 238 с. 8. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с. 9. Джарратано Дж. Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Дж. Джарратано, Г. Райли – М.: "Вильямс". 2007. – 1152 с. 10. Бондарев В.Н. Искусственный интеллект: Учебное пособие для вузов / В.Н. Бондарев, Ф.Г. Аде. – Севастополь: СевНТУ, 2002. – 615 с.

Статью представил д.т.н., проф. НТУ "ХПИ" Серков А.А.

УДК 651.326

Синтаксичний синтез природно-мовних текстів в експертних системах / **Судаков Б.М., Філіпенко А.М.** // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", – 2012. – № 38. – С. 184 – 189.

У статті розглянуто методи синтезу текстів, способи формування синтаксичної структури відповідей. Розглянуто причини використання посилань і поділу діалогів на складові частини. А також розібрано проблеми, які зустрічаються при таких методах синтезу і способи їх усунення. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: метод синтезу текстів, посилання, діалог.

UDC 651.326

Synthesis syntax of natural language texts in expert systems / **Sudakov B.N., Philipenko A.N.** // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – №. 38. – P. 184 – 189.

This article describes methods for the synthesis of texts, methods of forming the syntactic structure of answers. The reasons of references usage and dividing the dialogues into its constituent parts. And also examined the problems encountered in such methods of synthesis and their solutions. Refs.: 10 titles.

Keywords: methods for the synthesis of text, links, dialogue.

Поступила в редакцію 10.05.2012

Д.О. ТАРАСОВ, канд. техн. наук, доц., НУ "Львівська політехніка", Львів,

О.Р. ГАРАСИМ, асп., НУ "Львівська політехніка", Львів.

АЛГОРИТМ ОТРИМАННЯ ДАНИХ ДЛЯ ПОБУДОВИ ІНДЕКСУ ЦИТОВАНOSTІ ДОКУМЕНТІВ ВІДКРИТИХ ЕЛЕКТРОННИХ АРХІВІВ

Обґрунтовано необхідність створення алгоритму для отримання цитованості наукових документів відкритих електронних архівів. Побудований алгоритм отримання індексу цитованості з спеціалізованої системи Google Scholar. Описані основні кроки роботи алгоритму. Лл.: 1. Бібліогр.: 8 назв.

Ключевые слова: Google Scholar, індекс цитованості, алгоритм отримання індексу цитованості.

Постановка проблеми. Відкриті електронні архіви України швидко розвиваються, щодня поновлюються новими науковими документами, а отже можуть надавати оцінку окремим науковцям, виданням, журналам. Для отримання індексу цитованості необхідний алгоритм, який би регулярно в автоматизованому режимі здійснював перевірки цитувань наукових документів, будував рейтинги та статистичні графіки змін в електронному архіві. Головна проблема при реалізації алгоритму полягає в тому, що необхідно адаптувати дані відкритого електронного архіву для точного пошуку документа, враховуючи обмеження спеціалізованої системи Google Scholar.

Аналіз літератури. Сьогодні електронні бібліотеки та архіви розширюються [1], щодня поповнюючи свої колекції новими документами. Для того, щоб забезпечити довготривале існування та інтенсивне оновлення даних електронного архіву, постає необхідність у задоволенні нових вимог користувачів. Користувачі електронних бібліотек і архівів прагнуть до швидкого пошуку матеріалів, зручного інтерфейсу, можливості створення власної сторінки із збереженими документами та відслідковувати частоту їх перегляду відвідувачами [2].

Під індексом цитованості розуміють відстеження посилань, які автори записують в бібліографію опублікованих робіт, що відображається в кількісному значенні. Індекс цитованості дає можливість для пошуку і аналізу релевантної та актуальної літератури. Він також дозволяє користувачам збирати дані про вплив журналів, а також оцінити по конкретних предметних областях наукову діяльність [3].

Індекс цитованості в науці використовують для:

1. Пошуку документів, які наводять на більш ранні документи. Індекс цитованості – це спосіб оглянути розвиток наукової думки від початкового документа. Тобто це зручний спосіб пошуку наукових матеріалів.

2. Отримання показників цитування власних публікацій.

3. Визначення рейтингу популярності журналів в галузі. Цитування використовується для ранжирування журналів, зокрема за предметними областями, як правило, на основі імпакт-фактора.

4. Перевірення старих цитувань. Часто посилення здаються незрозумілими, але коли пройти за пошуковим "ланцюжком" можна отримати повне відображення звернень на власну публікацію.

Індекс цитованості також використовують і в бізнесі. Часто наукові дослідження стають проривом у техніці чи технології, відкривають шляхи розв'язання важких ситуацій. Але будь-які дослідження потребують інвесторів, яких потрібно переконати у потрібності виконання робіт. Сьогодні часто звертають увагу на індекс цитування при прийнятті рішень про майбутні інвестиції [4].

Основною перевагою Google Scholar є вільний доступ до інтелектуальних ресурсів дослідних закладів. Google Scholar має унікальну навігацію в Інтернеті, надаючи можливість знайти пов'язані статті, не обмежуючись назвою, мовою, територією чи авторами. Це спеціалізована система, яка охоплює практично всі науки і дисципліни [5, 6].

Метрики цитування [7]:

- загальна кількість документів;
- загальна кількість цитат;
- середнє число посилань на документ;
- середнє число посилань на автора;
- середня кількість робіт на одного автора;
- *h*-індекс;
- *g*-індекс.

Ціль статті – розроблення алгоритму отримання індексу цитованості документів відкритих електронних документів з спеціалізованої системи Google Scholar.

Алгоритм отримання індексу цитованості наукових документів. В джерелі [8] подані технічні інструкції з підвищення точності запитів, що враховано при проектуванні алгоритму та доповнено ще кількома моментами для абсолютно точного пошуку (див. рис.).

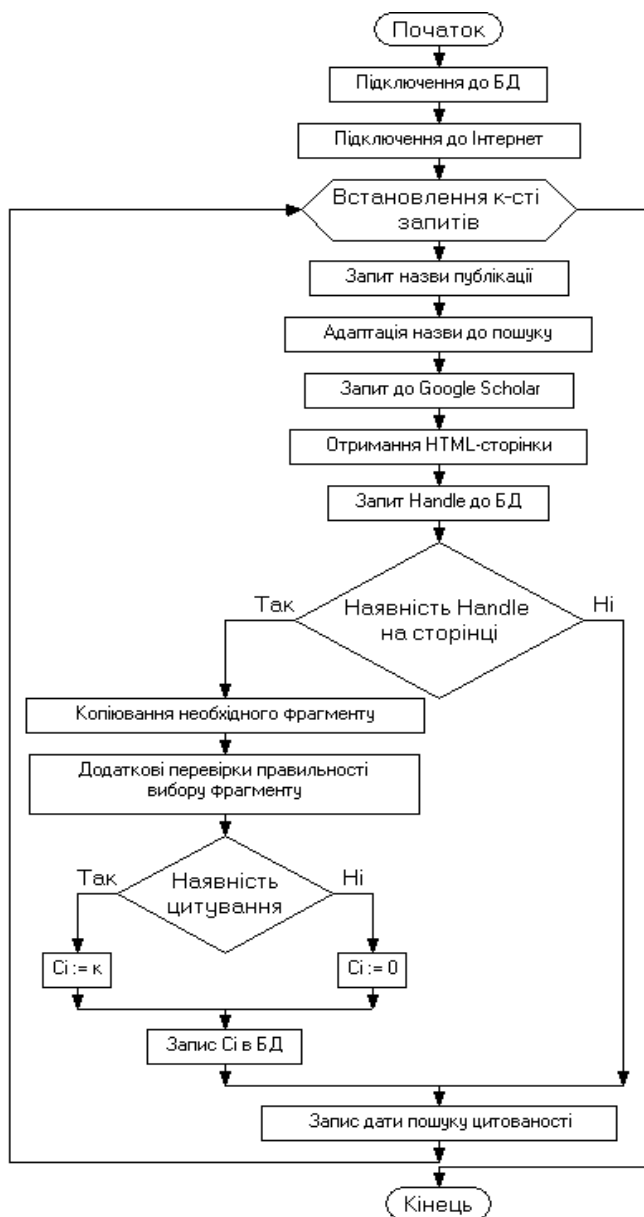


Рис. Алгоритм отримання індексу цитуваності наукових документів електронного архіву

Алгоритм отримання індексу цитованості наукового документа електронного архіву починається з підключення до БД інформаційної системи та Інтернет.

Наступний крок є дуже важливий – "Встановлення к-сті запитів", оскільки Google Scholar блокує активні запити з метою недопущення "зависання" сторінки. З метою дотримання прав Google встановлюється число запитів, після яких на певний період запити припиняються.

"Запит назви публікації" – крок на якому з БД інформаційної системи вибираються по порядку назви публікацій.

"Адаптація назви до пошуку" – це блок правил, який включає в себе обмеження назви, якщо вона є занадто довгою, додавання позначок для точного пошуку та домену пошуку, кодування. Наприклад, назва публікації "Аналіз кореляційної залежності між типом гідратації катіонів другої групи головної підгрупи та одно-, дво- і тризарядних аніонів та утворення кристалогідратів" буде логічно скорочена та добавлений домен і запит матиме вигляд: "Аналіз кореляційної залежності між типом гідратації катіонів другої групи головної підгрупи та одно-, дво- і" site:ena.lp.edu.ua". Досліджено, що 115 символів у запиті – це достатньо для точного знаходження публікації і для того, щоб не робити нагромадженням запит.

"Запит до Google Scholar" – передача на пошук спеціалізованій системі.

Наступним кроком є отримання результатів пошуку – "Отримання HTML-сторінки". Тоді перевіряється знайдені результати за Handle, який є ідентифікатором публікації і наявний в БД. Якщо Handle знайдено на HTML-сторінці, то це свідчить про правильність результатів пошуку на запит. Handle отримуємо з посилання (URL) публікації – цей номер є унікальний, який також використовується інформаційною системою для ідентифікації публікації. Наприклад існує URL: <http://hdl.handle.net/ntfb/172> з якого автоматизовано вибираємо "172". Ми відкидаємо пошук за авторами публікацій з декількох причин:

1. Google Scholar висвітлює лише першого із авторів і не відомо, який із авторів буде подаватися першим. У зв'язку з цим перевірити точність результатів до запиту стає неможливим.

2. Автор часто має різні варіанти написання, що при точному пошуку не будуть відображені адекватні результати.

3. Запит стає занадто нагромадженням, що перешкоджає пошуку.

Далі відбувається "Копіювання необхідного фрагменту", де відкидаються всі зайві дані, які були подані спеціалізованою системою як результати пошуку. Продовжується уточнення за URL, який наявний в

БД та гіперпосиланням фрагменту – це контрольний остаточний крок перевірення точності результатів пошуку.

"Наявність цитування" – це крок, де здійснюється пошук індексу цитованості (Ci) публікації, яка наявна в електронному архіві. При наявності цитування $Ci := k$, де $k > 0$ в іншому випадку $Ci := 0$. Знайдені значення записуються до БД. Якщо $Ci = 0$ – це означає, що публікація проіндексована спеціалізованою системою, але не має цитувань, відповідно, якщо $Ci = k$, то публікація має статті, які посилаються на неї. Якщо в БД за атрибутом "Cited" шуканої публікації існує пусте значення – це свідчить, що вона ще не проіндексована спеціалізованою системою. Записується дата пошуку.

Обсяг електронних наукових документів архіву Національного університету "Львівська політехніка" щодня поповняється новими документами. Його науковий потенціал можна аналізувати за допомогою індексів цитованості. Враховуючи регулярність досліджень та обсяги архіву постає необхідність в автоматизації пошуку індексів цитованості в спеціалізованій системі Google Scholar. Для цього використовуємо алгоритм отримання цитованості.

Такий підхід дозволяє в повній мірі аналізувати електронний архів:

- наявність цитувань наукових документів архіву;
- визначити кількість проіндексованих документів;
- швидкість індексації документів архіву роботами;
- загальну суму цитувань документів архіву та окремих видань;
- порівняння зміни суми цитованості в часі, для отримання динаміки цитованості архіву;
- побудувати рейтинг цитування публікацій;
- інші порівняння за галузями, виданнями, авторами, часовими рамками.

Висновки. В результаті аналізу наукової літератури були виділені метрики роботи алгоритму для пошуку індексів цитованості. Запропоновано здійснювати аналіз українських наукових робіт на індекс цитування, а також способи підвищення пошуку з використанням URL, handle та наявних функцій в спеціалізованій системі. Побудований алгоритм пошуку та отримання від спеціалізованої системи Google Scholar індексу цитування. Визначені етапи отримання індексу цитованості наукових електронних документів та їх функціональний опис, що дозволяє реалізувати модуль для автоматизованого отримання індексів цитованості відкритих електронних архівів. Розбиття мети, аналізу наукових електронних документів на етапи, розкриває потенційні проблеми роботи алгоритма, можливість передбачити результати аналізу, вдосконалювати методику отримання наукових показників з

спеціалізованих систем, виділити правила пошуку, обмеження та налаштування, щоб підвищити результати пошуку. Виділені напрямки аналізу електронного архіву, використовуючи запропоновану інформаційну систему. На практиці перевірено ефективність роботи алгоритму для отримання показників цитованості електронного наукового архіву Національного університету "Львівська політехніка".

Список літератури: 1. *Тарасов Д.О.* Технологічні особливості опрацювання документів у електронній формі у бібліотеках / *Д.О. Тарасов* // Інформаційні системи та мережі. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2008. – С. 229-232. 2. *John N.* Digital Repositories: Not Quite at Your Fingertips / *Nanchy John*. – Libri.: Germany, 2005. – P. 181-197. 3. Using Citation Indexes [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.lib.utexas.edu/chem/info/citations.html> 4. *Adler R.* Citation Statistics / *Robert Adler, John Ewing (Chair), Peter Taylor* // A report from the IMU in cooperation with the ICIAM and IMS, 2008. – 26 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mathunion.org/fileadmin/IMU/Report/CitationStatistics.pdf> 5. *Noruzi A.* Google Scholar: The New Generation of Citation Indexes / *Alireza Noruzi*. – Libri.: Germany, 2005. – P. 170-180. 6. *Archambault E., Gagné E.V.* // Montreal: Social Sciences and Humanities Research Council of Canada (SSHRC) . – Canada, 2004. – 72 p. 7. Citation Metrics [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://library.amnh.org/research-tools/tips-tutorials/citation-metrics> 8. How to Search Google Scholar [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mslib.huji.ac.il/en/faq/google-scholar.html>

Статтю представил д.т.н., доц. Національного університету "Львівська політехніка" Пелецин А.М.

УДК 51.001.57

Алгоритм получения данных для построения индекса цитируемости документов открытых электронных архивов / Тарасов Д.О., Гарасим О.Р. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2012. – № 38. – С. 190 – 195.

Обоснована необходимость создания алгоритма для получения цитируемости научных документов открытых электронных архивов. Построен алгоритм получения индекса цитируемости в специализированной системы Google Scholar. Описаны основные шаги работы алгоритма. Ил.: 1. Библиогр.: 8 назв.

Ключові слова: Google Scholar, индекс цитируемости, алгоритм получения индекса цитируемости.

UDC 51.001.57

The algorithm to obtain data for constructing citation index documents of open electronic archives / Tarasov D.O., Garasym O.R. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – P. 190 – 195

The necessity of creating an algorithm to obtain the citations of scientific documents open electronic archives. An algorithm to obtain the citation index of a specialized system Google Scholar is constructed. Describes the main steps operation of the algorithm. Figs.: 1. Refs.: 8 titles.

Keywords: Google Scholar, citation index, algorithm for citation obtaining.

Надійшла до редакції 27.06.2012

Н.А. ЧИКИНА, канд. техн. наук, проф., НТУ "ХПИ", Харьков,
И.В. АНТОНОВА, канд. техн. наук, ст. преп., НТУ "ХПИ", Харьков

МЕТОД КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИМИКО-ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

В работе описывается метод количественной оценки профессиональных рисков у рабочих предприятий химико-фармацевтической отрасли на основе анализа кривых резистентности гомеостаза. Метод может быть использован при решении задачи выявления факторов риска заболеваний любой этиологии. Ил.: 3. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: количественная оценка, профессиональные риски, кривые резистентности гомеостаза, факторы риска.

Постановка проблемы и анализ литературы. В настоящее время в Украине в условиях интенсивного развития химической и фармацевтической отраслей промышленности ухудшается экологическое состояние окружающей среды и, как следствие, растет количество больных, в том числе, на распространенные дерматозы. Данные мониторинга [1] состояния здоровья рабочих предприятий химико-фармацевтической промышленности свидетельствуют о высоком уровне заболеваемости аллергодерматозами и другими кожными заболеваниями, что, в свою очередь, может привести к увеличению количества профессиональных заболеваний.

Как показали исследования, у рабочих и служащих химико-фармацевтической отрасли впервые аллергические заболевания проявляются, в основном, в течение первых десяти лет работы на предприятии.

Традиционно в аллергологии задача ранней диагностики заболевания связана с анализом факторов риска (ФР), количество которых за последние годы резко возросло. Наличие ФР и факторов предрасположенности к различным аллергическим заболеваниям, оценка уровня адаптационно-компенсаторных возможностей организма дают возможность с определенной степенью уверенности индивидуально прогнозировать возможность развития профессионально обусловленных аллергодерматозов [2, 3].

Задача количественной оценки профессионального риска развития профессионально обусловленных заболеваний (ПОЗ) у рабочих связана с групповой характеристикой, определяющей место работы на

предприятии химико-фармацевтической отрасли с наибольшим риском развития ПОЗ.

Профессиональные вредности в гигиене труда определяются как вещества химического и биологического происхождения, с которыми рабочие имеют контакт в процессе своей работы. Профессиональные вредности являются основной причиной возникновения профессионально обусловленных аллергодерматозов. Кроме того, существуют ФР, которые не являются причиной возникновения заболевания, но предшествуют его развитию [4]. Для ФР наиболее эффективной является оценка их совместного влияния на развитие заболевания.

В исследованиях, проводимых в [2 – 6], были выявлены как индивидуальные, так и групповые ФР развития профессионально обусловленных аллергодерматозов у рабочих химико-фармацевтической промышленности. Выявленные ФР развития ПОЗ сравнивались по силе влияния, а по результатам сравнения – ранжировались. Наибольшее влияние на развитие ПОЗ оказывал ФР "Место работы" с градациями "Связано", "Отчасти связано" и "Не связано" непосредственно с контактом с веществами, вызывающими развитие профессионально обусловленных аллергодерматозов. Такой риск развития ПОЗ является профессиональным риском.

При формировании выборки, соответствующей требованиям проводимых исследований, часть данных, как правило, неполных, не обрабатывалась. Причинами такой неполноты данных являлись увольнение части рабочих с предприятия, переход на другое место работы на данном предприятии с меньшим профессиональным риском. Кроме того, не все рабочие обращаются в медсанчасть предприятия, особенно по поводу рецидивов заболевания, занимаясь самолечением. Поэтому полученные ранее результаты не в полной мере отражают имеющуюся первичную информацию.

Целью статьи является описание метода получения количественной оценки профессиональных рисков развития ПОЗ по всей имеющейся совокупности данных на основе анализа функции $r(t)$ резистентности гомеостаза на примере предприятия химико-фармацевтической отрасли.

Результаты исследований. Вводимая в рассмотрение вспомогательная функция $r(t)$ определяет в каждый момент времени t вероятность того, что ПОЗ еще не проявится к моменту времени t , т.е. учитываются только первичные проявления ПОЗ у рабочих.

Для совокупности Ω объема n значение функции резистентности гомеостаза вычисляется следующим образом:

$$r(t) = \frac{n_t}{n}, 1 \leq t \leq s,$$

где n_t – число рабочих, не имевших проявлений ПОЗ к моменту t работы на предприятии; $t=1$ соответствует началу работы на предприятии. Никакого другого способа оценки $r(t)$ не существует.

Для цели настоящих исследований рассматривались две выборки Ω_1 и Ω_2 из всей совокупности данных $\overline{\Omega}$, так что $\Omega_1 \cup \Omega_2 = \overline{\Omega}$. При этом в Ω_1 вошли обследованные рабочие с минимальным, а в Ω_2 – с повышенным профессиональным риском. В качестве $\overline{\Omega}$ была выбрана база данных обследования рабочих и служащих фармацевтической фирмы "Здоровье", сформированная по результатам НИР [7], проводимых совместно сотрудниками Харьковского НИИ Дерматологии и Венерологии и НТУ "ХПИ".

По каждой сформированной выборке Ω_1 и Ω_2 были получены оценки функции резистентности гомеостаза $\hat{r}_1(t)$ и $\hat{r}_2(t)$:

$$\hat{r}_j(\tau) = f_1 \cdot f_2 \cdot \dots \cdot f_\tau,$$

где $f_i = 1 - \frac{m_i}{n_i}$, $i = \overline{1, \tau}$, $1 \leq \tau \leq S$, $j = \overline{1, 2}$, m_i – число рабочих с первичными проявлениями ПОЗ, появившимися до момента $t=i$; n_i – общее число рабочих на предприятии к моменту $t=i$; S – наибольший стаж работы, при котором впервые проявилось ПОЗ. При этом в число n_i не входят рабочие, чей стаж работы $s < i$.

Результаты вычислений представлены на рис. 1 в виде кривых L_1 и L_2 оценки резистентности гомеостаза $\hat{r}_j(t)$, $j = \overline{1, 2}$, соответствующих группам обследованных Ω_1 и Ω_2 . Описанная процедура называется методом Каплана-Мейера [8] и применяется при анализе выживаемости и построении кривых дожития.

Кривые L_1 и L_2 дают наиболее полную по имеющимся данным оценку $\hat{r}(t)$ резистентности гомеостаза. Оценка точности приближения рассчитывалась по формуле Гринвуда [8].

Наличие такой оценки позволяет определять доверительные интервалы для $r(t)$ в момент времени t .

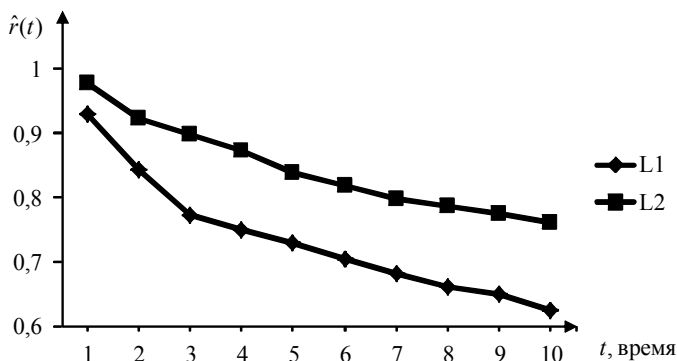


Рис. 1. Кривые оценки $\hat{r}(t)$ резистентности гомеостаза: L_1 – по группе Ω_1 , L_2 – по группе Ω_2

На рис. 2 и 3 представлены кривые L_1 и L_2 и их 95% доверительные области.

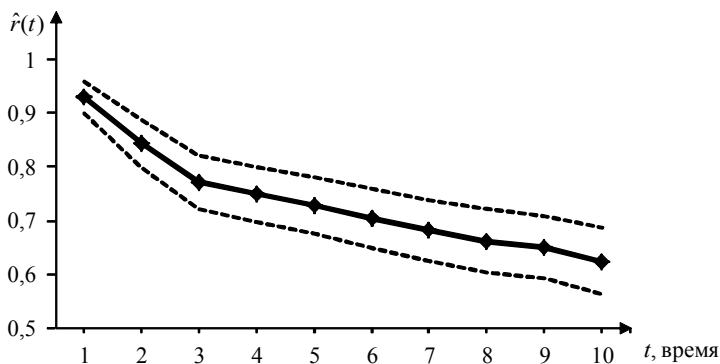


Рис. 2. Кривая L_1 и ее 95%-я доверительная область

Количественная оценка профессионального риска проводилась по результатам сравнения кривых L_1 и L_2 с применением непараметрического логрангового критерия [8]. Нулевая гипотеза H_0 состояла в том, что в обеих группах Ω_1 и Ω_2 резистентность гомеостаза одинакова.

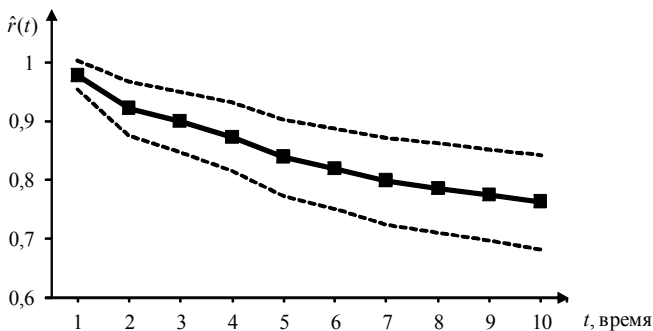


Рис. 3. Кривая L_2 и ее 95%-я доверительная область

Одним из требований логрангового критерия является то, что функции $r_1(t)$ и $r_2(t)$ связаны между собой соотношением $r_2(t) = [r_1(t)]^\alpha$.

При этом, если $\alpha = 1$, то кривые оценок $\hat{r}_1(t)$ и $\hat{r}_2(t)$ совпадают, что равносильно отсутствию профессиональных рисков; если $\alpha < 1$, то уровень профессионального риска выше в группе обследованных Ω_1 , и наоборот, если $\alpha > 1$, то уровень профессионального риска выше в группе обследованных Ω_2 .

Поскольку соотношение $r_2(t) = [r_1(t)]^\alpha$, связывающее уровни профессионального риска, в соответствии с логранговым критерием имеет место при любом t , то параметр α можно оценить как

$$\alpha = \frac{\ln(r_1(S))}{\ln(r_2(S))},$$

где $r_1(S)$ и $r_2(S)$ – резистентность гомеостаза в группах Ω_1 и Ω_2 к концу наблюдения – моменту времени $t = S$.

Выводы. Как показали вычисления, стандартное отклонение выборочного распределения составило $z_{\text{набл.}} = 2,7089$, что больше критического значения для уровня значимости 1% в случае нормального распределения, которое составляет $z_{\text{кр.}} = 0,5758$. Поэтому гипотеза H_0 об отсутствии различий резистентности гомеостаза в группах Ω_1 и Ω_2 отклоняется. Кроме того, значение параметра $\alpha = 0,574$ дает возможность сделать вывод о том, что уровень профессионального риска выше в группе обследованных Ω_1 .

Список литературы: 1. Кундієв Ю.І. Професійна захворюваність в Україні. Соціально-економічний та гігієнічний аспекти / Ю.І. Кундієв, А.М. Нагорна // Вісник НАН України, 2003. – № 3. – С. 20–28. 2. Чикина Н.А. Изучение влияния внутренних факторов риска на развитие аллергодерматозов у рабочих химико-фармацевтических предприятий / Н.А. Чикина, И.В. Антонова // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2007. – №19. – С. 195–200. 3. Чикина Н.А. Математические модели адаптации к вредным условиям труда на основе метода корреляционной адаптометрии / Н.А. Чикина, И.В. Антонова // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2008. – № 49. – С. 184–189. 4. Чикина Н.А. АИС многофакторной профилактики профессионально обусловленных заболеваний в условиях вредного производства / Н.А. Чикина, И.В. Антонова // Сб. науч. трудов 3-го Международного радиоэлектронного форума "Прикладная электроника. Состояние и перспективы развития". – Харьков, 2008. – Т. 4. – С. 238–241. 5. Чикина Н.А. Прогноз развития профессионально обусловленных заболеваний с помощью дискриминантного анализа / Н.А. Чикина, Ю.Л. Геворкян, А.И. Поворознюк, И.В. Антонова // Системы обработки информации. – Харьков: ХУВС, 2010. – Вып. 1 (82). – С. 200–203. 6. Чикина Н.А. Математические модели адаптационных процессов у рабочих предприятий химико-фармацевтической промышленности / Н.А. Чикина, И.В. Антонова // Информационные технологии и компьютерная инженерия. – Винница: ВНТУ, 2009. – № 2 (15). – С. 45–50. 7. Солошенко Э.Н. Математическое моделирование в медицинском страховании здоровья рабочих предприятий химико-фармацевтической отрасли / Э.Н. Солошенко, Н.А. Чикина, И.В. Антонова // Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта: Материалы международной научной конференции. – Херсон: ХНТУ, 2009. – Т.1. – С. 234–238. 8. Гланц С. Медико-биологическая статистика: [Пер. с англ.] / Стентон Гланц. – М.: Практика, 1999. – 459 с.

Статью представил д.т.н., проф. НТУ "ХПИ" Пиротти Е.Л.

УДК 681.518

Метод кількісної оцінки професійних ризиків на підприємствах хіміко-фармацевтичної галузі / Чікіна Н.О., Антонова І.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – № . – С. 196 – 201.

У роботі пропонується метод кількісної оцінки професійних ризиків у робочих підприємств хіміко-фармацевтичної галузі на основі аналізу кривих резистентності гомеостазу. Метод може бути використаний при вирішенні задачі виявлення факторів ризику захворювань будь-якої етіології. Іл.: 3. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: кількісна оцінка, професійні ризики, криві резистентності гомеостазу, фактори ризику.

UDC 681.518

Method of quantitative estimation of professional risks on the enterprises of chemical and pharmaceutical industry / Chikina N.A., Antonova I.V. // Herald of National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – № 38. – P. 196 – 201.

The method of quantitative estimation of professional risks for the workers of enterprises of chemical and pharmaceutical industry is offered. It's based on analysis of curves of resistibility of homeostasis. The method can be used for the decision of task of detection of risk factors of diseases of any etiology. Figs.: 3. Refs.: 8 titles.

Keywords: quantitative estimation, professional risks, curves of resistibility of homeostasis, risk factors.

Поступила в редакцію 05.04.2012

Зміст

Байда К.Е., Ельчанинов Д.Б. Адаптация генетических алгоритмов к автоматизации моделирования бизнес-процессов	3
Барило Г.І., Зазуляк А.М., Кожухар О.Т., Кус Н.І. Інформаційна оптико-електронна система підтримки прийняття рішення щодо ефективності лікувальної процедури	9
Бондина Н.Н., Калмычков А.С., Кривенцов В.Э. Сравнительный анализ алгоритмов фильтрации медицинских изображений	14
Бурцев М.В., Поворознюк А.И. Архитектура системы поддержки принятия решений в медицине, основанной на комбинированном решающем правиле	26
Вавіленкова А.І. Виявлення логічних протиріч у текстовій інформації	32
Волченко Е.В. О способе определения близости объектов взвешенных обучающих выборок	38
Дмитриенко В.Д., Заполовский Н.И., Мезенцев Н.В. Синтез оптимальных регуляторов для дизель-поезда с учетом работы преобразователя частоты в режиме ШИМ	46
Дмитриенко В.Д., Носков В.И., Блиндюк В.С., Липчанский М.В., Нестеренко А.О. Определение оптимальных законов управления процессами движения электропоезда	55
Зайцев С.А., Субботин С.А. Модель отрицательного отбора с маскированием детекторов для решения задач диагностирования с вещественным представлением признаков	70
Карасюк В.В., Гвозденко М.В. Принципы построения и особенности функционирования интеллектуальной системы обучения	77
Клименко А.М., Стаднік В.В., Скорін Ю.І. Віртуальні прилади у вимірювальній лабораторії	84
Козленко М.І. Часова складність алгоритмів цифрової демодуляції широкополосних сигналів з керованою ентропією	93
Кондратенко Ю.П., Коробко О.В., Свірідов А.І. Фільтрація завад та аналіз характеристик фільтрів на основі адаптивних алгоритмів та нейронної мережі ADALINE	102

Мацко И.И., Логунова О.С. Интеграция эргатического модуля оценки качества непрерывно-литой заготовки в АСУ ТП металлургического производства	115
Мицай Ю.Н., Майорова А.Н. Математическая модель квантового измерения	121
Мухін В.Є., Корнага Я.І. Механізми підвищення ефективності процедури моніторингу безпеки в розподілених базах даних	128
Поворознюк А.И., Филатова А.Е. Описание эталона для синтеза функции отклика нелинейного фильтра в задаче структурной идентификация биомедицинских сигналов с локально сосредоточенными признаками	136
Пустовойтов П.Е., Кравченко Ж.Д. Анализ стохастической зависимости нозологий при планировании эффективного структурного обеспечения медицинского центра ВУЗа	142
Ризун Н.О. Модель повышения мотивации студентов к обучению (аспекты организации и проведения тестового сеанса)	148
Романов А.Ю. Сравнительный анализ эффективности псевдооптимальной и MESH топологий сетей на кристалле с использованием NETMAKER	156
Семенов С.Г., Давыдов В.В. Математическая модель распространения компьютерных вирусов в гетерогенных компьютерных сетях автоматизированных систем управления технологическим процессом	163
Судаков Б.Н., Малёнкин А.С. Методы синтеза естественно-языковых текстов в экспертных системах	172
Судаков Б.Н., Михайлова Ю.М. Лингвистический препроцессор обработки естественно-языковых текстов для экспертных систем ...	178
Судаков Б.Н., Филипенко А.Н. Синтаксический синтез естественно-языковых текстов в экспертных системах	184
Тарасов Д.О., Гарасим О.Р. Алгоритм отримання даних для побудови індексу цитованості документів відкритих електронних архівів	190
Чикина Н.А., Антонова И.В. Метод количественной оценки профессиональных рисков на предприятиях химико-фармацевтической отрасли	196

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"Харківський політехнічний інститут"

Збірник наукових праць
Серія
Інформатика та моделювання
Випуск 38

Науковий редактор д.т.н. Дмитрієнко В.Д.
Технічний редактор к.т.н. Леонов С.Ю.
Відповідальний за випуск к.т.н. Обухова І.Б.

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул Фрунзе, 21, НТУ "ХПІ".
Кафедра обчислювальної техніки та програмування,
тел. (057) 7076198, E-mail: serleomail@gmail.com

Обл. вид. № 125 – 12

Підп. до друку 27.07.2012 р. Формат 60х84 1/16. Папір Copy Paper.
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.

Отпечатано в типографии ООО "Цифра Принт"
на цифровом комплексе Хегох DocuTech 6135
Свидетельство о Государственной регистрации
А01 № 432705 от 03.08.2009 г.
Адрес: г. Харьков, ул. Культуры, 22-Б