

ВЕСТНИК

НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА "ХПИ"

Сборник научных трудов

Тематический выпуск

"Информатика и моделирование", № 11

49'2008

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

Государственное издание

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

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Председатель

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

Зам. председателя

А.П. МАРЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.

Е.И. СОКОЛ, д-р техн. наук, проф.

Секретарь координационного совета

К.А. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, доц.

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

А.В. БОЙКО, д-р техн. наук, проф.;

Т.С. ВОРОПАЙ, д-р фил. наук, проф.;

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

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

В.Г. ДАНЬКО, д-р техн. наук, проф.;

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

В.В. ЕПИФАНОВ, д-р техн. наук, проф.;

П.А. КАЧАНОВ, д-р техн. наук, проф.;

В.Б. КЛЕПИКОВ, д-р техн. наук, проф.;

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

В.А. ЛОЗОВОЙ, д-р фил. наук, проф.;

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

П.Г. ПЕРЕРВА, д-р экон. наук, проф.;

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

М.И. РЫЩЕНКО, д-р техн. наук, проф.;

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

В.П. СЕБКО, д-р техн. наук, проф.;

В.И. ТАРАН, д-р техн. наук, проф.;

Ю.В. ТИМОФЕЕВ, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Ответственный редактор:

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

Ответственный секретарь:

С.Ю. ЛЕОНОВ, канд. техн. наук, доц.

А.Г. ГУРИН, д-р техн. наук, проф.;

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

Е.Г. ЖИЛЯКОВ, д-р техн. наук, проф.;

П.А. КАЧАНОВ, д-р техн. наук, проф.;

Б.Г. НАБОКА, д-р техн. наук, проф.;

И.И. ОБОД, д-р техн. наук, проф.;

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

А.А. СЕРКОВ, д-р техн. наук, проф.

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

Каф. ВТП, тел. (057)-707-61-65

Харьков 2008

Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", 2008. – № 49. – 192 с.

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

Для викладачів, наукових співробітників, спеціалістів.

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

Для преподавателей, научных сотрудников, специалистов.

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

**Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ "ХПІ"
Протокол № 13 від 26 грудня 2008 р.**

© Національний технічний університет "ХПІ"

Ю.А. АЛЬОШКІНА, НТУ "ХПІ" (м. Харків),
О.С. ДЕРЕВ'ЯНКО, НТУ "ХПІ" (м. Харків)

КОНСОЛІДАЦІЯ ПАТЕНТНОЇ ІФОРМАЦІЇ З РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ

Розглянуті структури даних ряду джерел патентної інформації і засоби доступу до них. Розроблена узагальнена модель даних патентної інформації. Запропонований підхід до приведення початкових структур даних до узагальноної моделі, який забезпечує переніс складності з алгоритмів на дані і базується на технології Extensible Stylesheet Language Transformations (XSLT). Розроблені таблиці стилів XSLT для перетворювання даних з декількох джерел і програмний движок перетворення.

Ключові слова: патентна інформація, модель даних, XSLT.

Постановка проблеми. Невід'ємною складовою частиною процесів надбання та захисту інтелектуальної власності є патентно-кон'юнктурні дослідження (ПКД). Такі дослідження дозволяють визначати патентоспроможність об'єктів промислової власності, що створюються в процесі розробки нової продукції, вирішувати питання про доцільність патентування, визначати умови безперешкодної реалізації промислової продукції на ринку конкретної країни або країн (патентну чистоту), виключати порушення прав третіх осіб, що володіють патентами та виявляти потенційних конкурентів, визначати напрями їх діяльності і вибирати свою ринкову нішу.

Ступінь автоматизації ПКД поки що невисока. Пошук навіть у жорстко структурованих джерелах дає, як правило, великий об'єм результатів, які є нерелевантними, а для пошуку у слабо структурованих джерелах застосовуються пошукові системи загального призначення, у яких об'єм нерелевантних результатів ще більший.

Аналіз літератури. Патентно-кон'юнктурні дослідження [1] є обов'язковою частиною при виконанні науково-дослідних, дослідно-конструкторських, проектно-конструкторських робіт і маркетингу товарів. Джерелами, які розглядаються в ПКД, є патентна інформація (ПІ) і патентно-асоційована інформація (ПАІ).

ПІ отримується з патентних баз даних різних відомств і країн. Як правило, такі бази доступні через Інтернет і мають свої пошукові машини. При істотній відмінності в способах формулювання запитів і зовнішніх форматах результатів, можна відзначити, що результати, отримані з патентних баз даних, легко привести до єдиної загальної структури, оскільки об'єкт (об'єкти), що є результатом пошуку, має один тип – патент (наприклад, [2, 3]). Проте, слід відзначити, що у складі цієї структури є атрибути, які розглядаються в базі даних як атомарні, але фактично такі, що представляють собою повнотекстові документи (повний текст патенту, реферат), які можуть піддаватися додатковій структуризації, виділенню елементів і т.д.

Цього не можна сказати про ПАІ. Вона представляє собою електронні або/та паперові публікації, що містять повнотекстові документи, які не мають явної структури і не обов'язково визначають всі атрибути, які є необхідними для ПІ. Перед особою, що проводить ПКД, стає завдання аналізу змісту такого документа, фактично, його анотування й визначення його релевантності (наприклад, [4, 5]).

Вивчення вказаних джерел, а також інструкцій більш прикладного та конкретного характеру (наприклад, [6, 7]) показує, що проведення ПКД, поперше, вимагає значних трудовитрат фахівця, по-друге, для часткової автоматизації їх проведення використовується або програмне забезпечення загального призначення, або ж "саморобне" програмне забезпечення, яке не базується на загальноприйнятих, відкритих стандартах.

Втім, сучасний стан інформатики має велику кількість технологій, які вирішують задачі консолідації та інтеграції значної кількості джерел інформації та засобів їх оброблення [8]. Задача автоматизації ПКД складається не стільки у створенні нових методів і технологій, а в адаптації вже існуючих технологій до предметної галузі і інтеграції їх. Зокрема, запропонована у [9] концепція архітектури системи автоматизації ПКД включає у себе ланок оброблення інформації, а саме:

1) ПКД починаються з пошуку у патентних базах даних за емпірично вибраними (підібраними експертами) ключовими словами.

2) Результати цього пошуку зберігаються у локальному сховищі даних і використовуються як *навчальна вибірка*, на підставі якої засобами інтелектуального оброблення даних будується онтологія предметної галузі.

3) Отримана онтологія є похідним засобом для формулювання запитів на пошук ПАІ і оцінки релевантності результатів цього пошуку.

4) Результати, які отримані на кожному етапі (та на проміжних стадіях кожного етапу) зберігаються у локальному сховищі даних і можуть візуалізуватися та корегуватися фахівцем, який проводить дослідження, і оновлена онтологія може служити похідною для повторення процесу з будь-якої попередньої точки.

Запропонована у [9] архітектура "шлюзів" для перетворення даних між зовнішніми джерелами та локальним сховищем даних і підсистемою їх інтелектуального оброблення. Ці шлюзи фактично є засобом консолідації даних. І першою ланкою у такій консолідації має бути консолідація ПІ. Цінність ПІ полягає у її структурованості й регламентованості (бібліографія, опис, формула, схеми, приклади застосування, втілення), достовірності (заявник несе відповідальність за промислову придатність та достовірність викладених фактів), доступності, неповторності.

Задача консолідації ПІ дещо полегшується тим, що у цій галузі діють стандарти Всесвітньої Організації Інтелектуальної Власності (ВОІВ) [10]. Зокрема, у стандарті ВОІВ ST.9 [11] подані рекомендації, які указують мінімум бібліографічних даних, які повинні друкуватися на титульному листі

патентного документа і публікуватися як частина повідомлень в патентному бюлетені. Ці рекомендації дають перелік приблизно 60 індивідуальних бібліографічних даних, які ідентифікуються за допомогою кодових номерів, так званих "кодів ІНІД" або "номерів ІНІД". (INID – Internationally agreed Numbers for the Identification of (bibliographic) Data). Бібліографічні дані, включені в рекомендації, охоплюють широкий спектр даних – від даних ідентифікації документа, подачі заявки, публікації, даних, пов'язаних з технічною інформацією, до даних, що відносяться до Міжнародних патентних конвенцій. Рекомендації стандартів ВОІВ не вирішують задачі консолідації ПІ, бо вони стосуються тільки змісту даних, а не формату їх подання (тим більше – не формату їх подання в електронній формі) і розглядають тільки титульні дані, а не контент патентного документа, але вони значно спрощують вирішення цієї задачі, фактично представляючи специфікацію результуючих даних для розробника консолідуючих шлюзів.

Ціллю даної статті є розроблення загального підходу до створення шлюзів ПІ для автоматизованої системи підтримки ПКД, вибір засобів для реалізації такого підходу та представлення результатів пілотного проекту реалізації шлюзів для кількох популярних джерел ПІ.

Джерела ПІ. У WWW є багато джерел, що надають достовірні відомості про патенти, опубліковані національними і міжнародними патентними бюро. При здійсненні патентних досліджень можна використовувати різні джерела, але найчастіше вітчизняні фахівці починають роботу з наступних сайтів:

1. USPTO Patent Full-Text and Full-Page Image Databases – патенти США: <http://www.uspto.gov/patft/index.html>.

2. Esp@cenet – матеріали патентів США, Японії і багатьох інших країн, патентних заявок ЕРО – European Patent Office і ВОІВ: <http://ep.espacenet.com>.

3. Російська Федеральна служба по інтелектуальній власності, патентам і товарним знакам (Роспатент): <http://www.fips.ru/russite>.

4. Державне підприємство "Український інститут промислової власності" (Укрпатент): <http://www.ukrpatent.org/>.

Кожна з цих баз даних має власну пошукову систему. Ці пошукові системи різняться можливостями, але усі вони побудовані на східних принципах і прийоми пошукової роботи у них достатньо близькі. Пошукове завдання для них записується у бланку пошуку, який містить у собі поля для вводу значень базових атрибутів патентного документа. Деякі з систем надають кілька варіантів бланків – для звичайного, швидкого, ускладненого пошуків, які різняться кількістю пошукових атрибутів та можливістю застосування нечітких запитів. Також ПІ надається вказаними відомствами на компакт-дисках, де вона записується у різних форматах і супроводжується програмами, які забезпечують доступ до неї і ті ж самі пошукові можливості, що і пошукові движки сайтів. Деякі з таких програм "розуміють" формати кількох відомств, але їх можливості з розпізнавання форматів обмежені.

Узагальнений формат представлення патентних документів. На сьогодні стандартом де-факто представлення патентних документів у різних відомствах є мова XML. Хоча структура цієї інформації, яку представляють відомства може достатньо ефективно описуватися реляційною моделлю даних, відомства обрали мову XML, як ми вважаємо, з міркувань полегшення обміну даними, полегшення представлення даних в Інтернет та, можливо, з міркувань подальшого розширення та ускладнення того складу атрибутів, який використовується у пошукових системах та подається користувачеві. Однак різні патентні відомства використовують різні схеми представлення патентних документів і спроби привести їх до єдиної моделі не мають успіху. Для цілей роботи, яка представлена у даній статті ми вивчили схеми відомств Esp@cenet, Роспатент та Укрпатент. Усі три схеми відповідають ієрархічній моделі даних, але їх дерева, мають різну структуру за кількістю гілок та глибиною вкладення, а також дещо різняться складом атрибутів. За результатами дослідження вказаних схем ми розробили на сформулювали засобами XML Schema узагальнену модель представлення ПП. Повний опис моделі засобами XML Schema не дозволяє навести обмежений обсяг даної публікації, графічне представлення моделі (обмежене у частині опису варіативності) показано на рис. 1. Іменами типу inidNN на рисунку представлені атрибути, які відповідають стандарту ST.9.

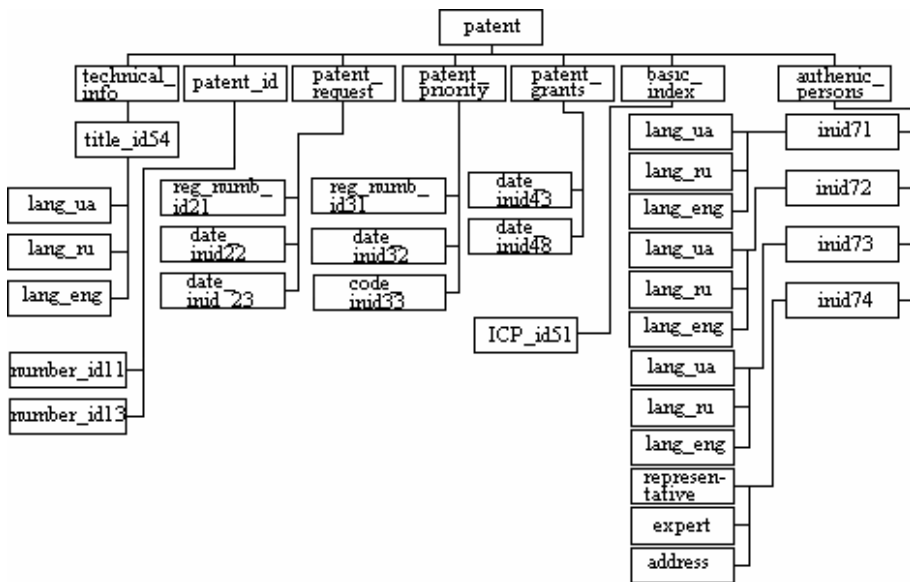


Рис. 1. Узагальнена модель даних

Модель приведення даних до єдиної схеми. Як було відзначено, названі вище патентні відомства є відправними точками для фахівців у патентному пошуку, але перелік джерел ПІ ними не вичерпується і досить часто глибокий пошук потребує звернення до інших патентних відомств (канадського, японського і т.д.). Інші джерела мають свої схеми представлення даних і свої пошукові засоби. Для програміста не складе великих зусиль написання програмного модуля-шлюзу для нового джерела ПІ, але написання великої кількості таких шлюзів та керування ними може значно ускладнити систему. З цих міркувань ми вважаємо, що процес приведення похідних патентних даних до єдиної моделі має бути керованим даними – тобто "сценарій" перетворення даних має не бути жорстко закладеним у програмному модулі, а має описуватися якимись простими засобами і описи різних сценаріїв може зберігатися у тій самій локальній базі даних автоматизованої системи, у якій зберігаються самі дані. При такому підході програмна частина складає єдиний програмний процесор, який "розуміє" мову опису сценаріїв і для якого сценарій перетворення є похідними даними разом з тими даними, які підлягають перетворенню. Такий підхід, звичайно, потребує фахівця для створення опису сценарію, але управління великою кількістю сценаріїв, кожен з яких є просто окремим запитом у базі даних, значно спрощується і може бути легко автоматизовано. Схема моделі приведення даних показана на рис. 2.



Рис. 2. Приведення даних

Вибір засобу опису сценарію. Маючи на увазі те, що похідні дані подаються мовою XML, і те, що у [9] запропоновано мати локальне сховище у гібридній (реляційній + XML) базі даних, засоби перетворення слід шукати у технологіях XML. І такі засоби серед технологій XML є – це мова трансформацій XSLT [12]. Документ, який записаний мовою XSLT і який містить правила трансформацій має назву таблиця стилів (stylesheet). Таблиця стилів XSLT складається з ряду шаблонних правил, кожне з яких має форму "якщо така-то умова зустрічається на вході, то генерувати такий-то вихід". Сценарій, виражений через XSLT, описує правила перетворення початкового дерева документа в кінцеве дерево. Перетворення будується шляхом зіставлення зразків і шаблонів. Зразок порівнюється з елементами початкового дерева, а шаблон використовується для створення частин кінцевого дерева. Кінцеве дерево відокремлене від початкового дерева. Структура кінцевого дерева може повністю відрізнятись від структури початкового дерева. В ході

побудови кінцевого дерева елементи початкового дерева можуть піддаватися фільтрації і переупорядкуванню, також може додаватися нова структура. Порядок правил неістотний, і є алгоритм вирішення конфліктів, який застосовується, якщо декілька правил можна застосовувати для одного входу. Вхід не обробляється послідовно, рядок за рядком. Натомість похідний XML-документ розглядається як структура дерева, і кожне шаблонне правило застосовується до вузла дерева. Шаблонне правило може само вирішувати, який вузол повинен оброблятися наступним, так що вхід не обов'язково сканується в оригінальному порядку документа.

Сама таблиця стилів також є документом XML, отже може зберігатися і оброблюватися так само, як і інші дані у форматі XML.

Нами були розроблені таблиці стилів для трьох форм похідних документів, відповідних до схем відомств Esp@cenet, Роспатент та Укрпатент. Результуючою є запропонована нами узагальнена схема патентних даних. Таблиця стилів містить 3 – 7 сторінок нещільного тексту. Це значно менш тих обмежень на розмір даних типу XML, які накладає гібридна СУБД IBM DB2 v.9 [13].

Реалізація програмного процесора. Для реалізації програмного процесора, який би втілював модель приведення даних, ми обрали мову програмування Java. Такий вибір обґрунтовується відкритістю технологій Java, її незалежністю від платформи і, що найважливіше, наявністю у платформі Java ряду пакетів javax.xml.transformation, які забезпечують базові засоби оброблення перетворювань XSLT [13]. Діаграма класів прикладення, яке є процесором приведення даних, показана на рис. 3

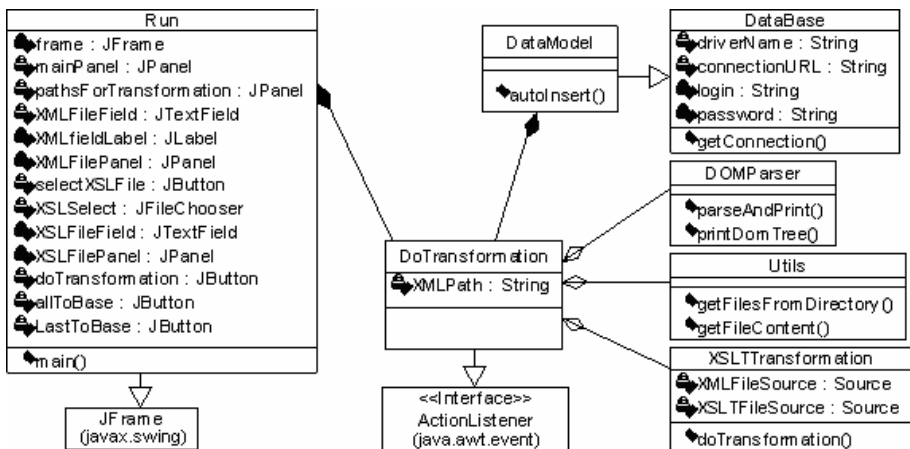


Рис. 3. Діаграма класів

У наступній таблиці наведені описи основних класів процесора.

Клас Run	
Коментар	Головний клас, який містить метод main().
Клас XSLTTransformation	
Коментар	Клас, який здійснює трансформацію файлів за шаблоном.
Атрибути	XMLFileSource : Source – шлях до файлу. XSLTFileSource : Source – шлях до шаблону.
Операції	doTransformation() – здійснення трансформації файлів.
Клас DoTransformation	
Коментар	Клас, який оброблює подію трансформації файлів.
Атрибути	XMLPath : String – шлях до файлу.
Клас Utils	
Коментар	Допоміжний клас.
Операції	getFilesFromDirectory() – отримання файлів з каталогу. getFileContent() – отримання вмісту файлу.
Клас DOMParser	
Коментар	Клас, який формує дерево вузлів після аналізу файлу.
Операції	parseAndPrint() – сформувати й показати. printDomTree() – показати дерево вузлів.
Клас DataModel	
Параметр	Значення.
Коментар	Клас, який здійснює запис файлів до бази даних.
Операції	autoInsert() – вставити дані в базу.
Клас DataBase	
Параметр	Значення.
Коментар	Клас, який являє собою базу даних.
Атрибути	driverName : String – назва драйвера. connectionURL : String – шлях для з'єднання з базою даних. login : String – ім'я користувача. password : String – пароль користувача.
Операції	getConnection() – отримання з'єднання з базою даних.

У пілотному проекті процесор виконаний як окреме прикладення з графічним інтерфейсом, для застосування у складі системи підтримки ПКД він може бути оформлений згідно з вимогами цієї платформи, на якій будується система (наприклад, як Web-сервіс або модуль UIМА).

Висновки. На основі аналізу джерел ПІ запропонована узагальнена модель даних ПІ та підхід до програмного приведення даних до узагальненої моделі. Можливість втілення запропонованої моделі та підходу доказана реалізацією програмного виробу, який може бути застосований як окрема програма консолідації ПІ або як модуль системи підтримки ПКД.

Список літератури: 1. *Косенко С.* Патентна інформація [Електронний ресурс] / Юридичний журнал. – К.: Європейський університет, 2006. – Вип. 8. – Режим доступу: <http://www.justinian.com.ua/article.php?id=2354>. 2. *Рагойша А.А.* Патентные базы данных в Интернете [Електронний

ресурсе] / Режим доступа: <http://www.abc.chemistry.bsu.by/patent/default.htm>. **3.** Кузнецов Ю.М. Основы патентознания та авторського права. – К.: ТОВ "ЗМОК", 2001. – 206 с. **4.** Аветисов А.Р. и др. Современный патентный поиск: использование традиционных источников и возможностей сети Интернет [Электронный ресурс] / Беларусский медицинский журнал. – 2004. – Вип. 3. – Режим доступа: <http://bsmu.by/bmm/03.2004/41.html>. **5.** Браcарник О. Використання Internet як засобу патентного пошуку [Электронный ресурс] / Державний департамент інтелектуальної власності. – Режим доступу: <http://www.sdip.gov.ua/ukr/help/stati/dopuntei/bragamyk>. **6.** Клейман А.М. Проведение патентных исследований в Интернете и оформление отчёта о поиске. Методические указания [Электронный ресурс] / Каф. ЮНЕСКО по авторскому праву и другим отраслям права интеллектуальной собственности. – Режим доступа: http://mgtu-sistema.ru/triz/patent_metodika.pdf. **7.** Інструкції по використанню інформаційно-пошукової системи [Електронний ресурс] / Державне підприємство Український інститут промислової власності (Укрпатент). – Режим доступу: <http://www.ukrpatent.org/old/instructions.html>. **8.** Дерев'яно А.С., Солощук М.Н. Технології и средства консолидации информации. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2007. – 432 с. **9.** Дерев'яно О.С., Сомхієва О.С. Застосування засобів інтелектуального оброблення даних у патентно-кон'юнктурних дослідженнях / Матеріали XVI Міжнар. науково-практичної конф. "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я", 2008. – С. 313. **10.** Стандарти Всесвітньої організації інтелектуальної власності (ВОІВ) [Електронний ресурс] / Державний департамент інтелектуальної власності. – <http://www.sdip.gov.ua/ukr/laws/418>. **11.** "Руководство по информации и документации в области промышленной собственности". Стандарты – ST-9 [Электронный ресурс] / Державне підприємство Український інститут промислової власності (Укрпатент). – Режим доступу: <http://www.ukrpatent.org/atachs/sst9.doc>. **12.** XSL Transformations (XSLT) Version 1.0. W3C Recommendation. [Електронний ресурс] / World Wide Web Consortium. Режим доступу: <http://www.w3.org/TR/xslt>. **13.** Саракко С.М. Что нового в DB2 Viper? [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://khipi-iiip.mipk.kharkiv.edu/library/extent/dbms/viper/vip3.html>. **14.** Бруке Е.М. Java and XSLT. – O'Raily, 2001. – 495 с.

УДК 347.78+04.624

Консолидация патентной информации из различных источников / Алешкина Ю.А., Дерев'яно А.С. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2008. – №. 49. – С. 3 – 10.

Рассмотрены структуры данных ряда источников патентной информации и средства доступа к ним. Разработана обобщенная модель данных патентной информации. Предложен подход к приведению исходных структур данных к обобщенной модели, который обеспечивает перенос сложности с алгоритмов на данные и базируется на технологии Extensible Stylesheet Language Transformations (XSLT). Разработаны таблицы стилей XSLT для преобразования данных из нескольких источников и программный движок преобразования. Ил.: 3. Библиогр.: 14 назв.

Ключевые слова: патентная информация, модель данных, XSLT.

UDK 347.78+04.624

Consolidation of a patent information from different sources / Alioeshkina Y.A., Derevyanko A.S. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2008. – №. 49. – P. 3 – 10.

Data structures for several sources of a patent information are considered. The generalized data model for patent information is proposed. An approach for source data transformation to the generalized model which transfers the complexity from algorithms to data and based on the Extensible Stylesheet Language Transformations (XSLT) technology is proposed. XSLT stylesheets for data transformation from several sources and transformation program engine are designed. Figs: 3. Refs: 14 titles.

Key words: patent information, data model, XSLT.

Поступила до редакції 10.10.2008

И.С. БЕЛОВ, канд. физ.-мат. наук

ЛИНЕЙНЫЕ УСЛОВИЯ НЕОТРИЦАТЕЛЬНОСТИ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО МНОГОЧЛЕНА

Рассмотрены условия неотрицательности тригонометрического многочлена из косинусов

$P(x) = \sum_{m=0}^n \gamma_m \cos mx$ с действительными коэффициентами. Для $n = 2, 3, 4$ приведены линейные условия на коэффициенты, при которых $P(x) \geq 0, \forall x \in R$.

Ключові слова: тригонометрический многочлен, неотъемлемость, линейные условия.

Постановка проблемы. Нахождение асимптотики экстремумов тригонометрических полиномов играет важную роль в изучении сходимости простых и кратных рядов Фурье и задачах тригонометрической интерполяции [1, 2]. В частности, оценки наибольшего и наименьшего значений ядер типа Дирихле используются при доказательстве разнообразных теорем гармонического анализа [3]. Последняя задача эквивалентна нахождению условий неотрицательности тригонометрического многочлена, которые, в свою очередь, сводятся к некоторой системе алгебраических уравнений [4].

Анализ литературы. В работе продолжается исследование экстремумов тригонометрических многочленов, начатое в работах [5, 6], где, в частности, рассмотрена задача нахождения наименьшего и наибольшего значений ядер типа Дирихле.

Цель статьи. Исследовать некоторые примеры неотрицательных тригонометрических многочленов по косинусам.

Известно [4, с. 94], что для неотрицательности тригонометрического

многочлена по косинусам $P(x) = \sum_{m=0}^n \gamma_m \cos mx$ с вещественными коэффициентами необходимо и достаточно существование представления

$$P(x) = \left(\sum_{k=0}^n a_k e^{ikx} \right) \overline{\left(\sum_{k=0}^n a_k e^{ikx} \right)}$$

с вещественными коэффициентами a_k ($0 \leq k \leq n$). Это приводит к системе $(n+1)$ алгебраических уравнений второй степени с $(n+1)$ неизвестными, которую удобно записать в виде

$$\begin{cases} \sum_{i=0}^n a_i^2 = \gamma_0, \\ \sum_{i=0}^n (a_{i-k} + a_{i+k}) a_i = \gamma_k \quad (1 \leq k \leq n), \end{cases} \quad (1)$$

считая, что неизвестные $a_i = 0$ при $i < 0$ и $i > n$. Рассмотрим условия разрешимости системы (1) и явный вид решений для начальных значений n .

При $n = 1$ система (1) имеет вид

$$\begin{cases} a^2 + b^2 = \gamma_0, \\ 2ab = \gamma_1. \end{cases}$$

Если (a_0, b_0) – решение системмы, то $0 \leq (a_0 \pm b_0)^2 = \gamma_0 \pm \gamma_1$, и мы получаем необходимые и достаточные условия разрешимости в виде системы линейных неравенств

$$\begin{cases} \gamma_0 + \gamma_1 \geq 0, \\ \gamma_0 - \gamma_1 \geq 0. \end{cases}$$

При этом

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{2} \left((\gamma_0 + \gamma_1)^{\frac{1}{2}} + (\gamma_0 - \gamma_1)^{\frac{1}{2}} \right), \\ b_0 &= \frac{1}{2} \left((\gamma_0 + \gamma_1)^{\frac{1}{2}} - (\gamma_0 - \gamma_1)^{\frac{1}{2}} \right). \end{aligned}$$

При $n = 2$ система (1) имеет вид

$$\begin{cases} a^2 + b^2 + c^2 = \gamma_0, \\ 2ab + 2bc = \gamma_1, \\ 2ac = \gamma_2. \end{cases}$$

Если (a_0, b_0, c_0) – решение системы, то $0 \leq (a_0 \pm b_0 + c_0)^2 = \gamma_0 \pm \gamma_1 + \gamma_2$, (см. [6]) и мы получаем необходимые условия разрешимости в виде системы линейных неравенств

$$\begin{cases} \gamma_0 + \gamma_1 + \gamma_2 \geq 0, \\ \gamma_0 - \gamma_1 + \gamma_2 \geq 0. \end{cases}$$

Можно проверить, что достаточные условия, (которые и необходимы), имеют вид

$$\begin{cases} \gamma_0 - 3\gamma_2 \geq 0, \\ 8(\gamma_0 - \gamma_2)\gamma_2 \geq \gamma_1^2. \end{cases}$$

При этом

$$a_0 + c_0 = \frac{1}{2} \left((\gamma_0 + \gamma_1 + \gamma_2)^{\frac{1}{2}} + (\gamma_0 - \gamma_1 + \gamma_2)^{\frac{1}{2}} \right)$$

и

$$\begin{cases} b_0 = \frac{1}{2} \left((\gamma_0 + \gamma_1 + \gamma_2)^{\frac{1}{2}} - (\gamma_0 - \gamma_1 + \gamma_2)^{\frac{1}{2}} \right), \\ 2a_0c_0 = \gamma_2. \end{cases}$$

Выделяя линейное неравенство, находим, что справедлива
Теорема 1. Если выполнены линейные условия

$$\begin{cases} \gamma_0 + \gamma_1 + \gamma_2 \geq 0, \\ \gamma_0 - \gamma_1 + \gamma_2 \geq 0, \\ \gamma_0 - 3\gamma_2 \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

для коэффициентов тригонометрического многочлена

$$P(x) = \gamma_0 + \gamma_1 \cos x + \gamma_2 \cos 2x,$$

то $P(x) \geq 0, \forall x \in \mathbb{R}$.

При $n = 3$ система (1) имеет вид

$$\begin{cases} a^2 + b^2 + c^2 + d^2 = \gamma_0, \\ 2ab + 2bc + 2cd = \gamma_1, \\ 2ac + 2bd = \gamma_2, \\ 2ad = \gamma_3. \end{cases}$$

Если (a_0, b_0, c_0, d_0) – решение системы, то, аналогично,
 $0 \leq (a_0 \pm b_0 + c_0 \pm d_0)^2 = \gamma_0 \pm \gamma_1 + \gamma_2 \pm \gamma_3$, и мы получаем необходимые условия разрешимости в виде системы линейных неравенств

$$\begin{cases} \gamma_0 + \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 \geq 0, \\ \gamma_0 - \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_3 \geq 0. \end{cases}$$

Для нахождения достаточных условий (отличных при $n = 3$ от необходимых) удобно перейти к переменным x, y, z, w , выполнив преобразование Уолша

$$x = a + b + c + d, \quad y = a - b + c - d, \quad z = a + b - c - d, \quad w = a - b - c + d.$$

При этом для $s_2 = \gamma_0 - \gamma_2$, $s_{2a} = \gamma_0 + \gamma_2$ имеем $x^2 + y^2 = 2s_{2a}$, $z^2 + w^2 = 2s_2$, откуда

$$x = \sqrt{2s_{2a} \cos \varphi}, \quad y = \sqrt{2s_{2a} \sin \varphi}, \quad z = \sqrt{2s_2 \cos \psi}, \quad w = \sqrt{2s_2 \sin \psi},$$

$$(0 \leq \varphi, \psi \leq 2\pi).$$

Используя выпуклость множества неотрицательных тригонометрических многочленов и легко проверяемую принадлежность к нему конкретных многочленов при подходящих значениях параметров φ , ψ , убеждаемся, что справедлива

Теорема 2. Если выполнены линейные условия

$$\begin{cases} \gamma_0 + \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 \geq 0, \\ \gamma_0 - \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_3 \geq 0, \\ \gamma_0 - \gamma_2 \geq 0, \\ \gamma_1 - 3\gamma_3 \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

для коэффициентов тригонометрического многочлена

$$P(x) = \gamma_0 + \gamma_1 \cos x + \gamma_2 \cos 2x + \gamma_3 \cos 3x,$$

то $P(x) \geq 0$, $\forall x \in R$.

Некоторыми свойствами, аналогичными системе (1), обладает система тригонометрических уравнений

$$\begin{cases} \sin a_1 \dots \cos a_k \dots \cos a_n - \cos a_1 \dots \sin a_k \dots \sin a_n = \gamma_1, \\ \cos a_1 \dots \sin a_k \dots \cos a_n - \sin a_1 \dots \cos a_k \dots \sin a_n = \gamma_k, \quad (1 \leq k \leq n), \\ \cos a_1 \dots \sin a_k \dots \sin a_n - \sin a_1 \dots \sin a_k \dots \cos a_n = \gamma_n. \end{cases} \quad (4)$$

Решения этой системы находятся просто для n , являющихся степенями двойки. Например, при $n = 4$ для системы

$$\begin{cases} \sin a \cos b \cos c \cos d - \cos a \sin b \sin c \sin d = \gamma_1, \\ \cos a \sin b \cos c \cos d - \sin a \cos b \sin c \sin d = \gamma_2, \\ \cos a \cos b \sin c \cos d - \sin a_1 \sin b \cos c \sin d = \gamma_3, \\ \cos a \cos b \cos c \sin d - \sin a \sin b \sin c \cos d = \gamma_4, \end{cases} \quad (5)$$

справедливо следующее

Предложение 1. Если суммы

$$s1 = \gamma_0 + \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3, \quad s2 = \gamma_0 - \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_3,$$

$$s3 = \gamma_0 + \gamma_1 - \gamma_2 - \gamma_3, \quad s4 = \gamma_0 - \gamma_1 - \gamma_2 + \gamma_3.$$

все по модулю не превосходят единицы, то общее решение системы (5) может быть представлено в виде

$$\begin{cases} a = (\text{Arc sin}(s1) + \text{Arc sin}(s2) + \text{Arc sin}(s3) + \text{Arc sin}(s4)) / 4, \\ b = (\text{Arc sin}(s1) - \text{Arc sin}(s2) + \text{Arc sin}(s3) - \text{Arc sin}(s4)) / 4, \\ c = (\text{Arc sin}(s1) + \text{Arc sin}(s2) - \text{Arc sin}(s3) - \text{Arc sin}(s4)) / 4, \\ a = (\text{Arc sin}(s1) - \text{Arc sin}(s2) - \text{Arc sin}(s3) + \text{Arc sin}(s4)) / 4, \end{cases}$$

если же этим свойством обладают только некоторые из них (например, $s1$), то к ним сходятся соответствующие линейные функции от итераций метода Ньютона (если $s1 \geq 0$, к нему сходится $(a_n + b_n + c_n + d_n)$ и т.д. (ср. [5])).

Для n , не являющихся степенями двойки, положение более сложное. Например, при $n = 3$ для системы

$$\begin{cases} \sin a \cos b \cos c - \cos a \sin b \sin c = \gamma, \\ \cos a \sin b \cos c - \sin a \cos b \sin c = \gamma, \\ \cos a \cos b \sin c - \sin a_1 \sin b \cos c = \gamma, \end{cases} \quad (6)$$

справедливо

Предложение 2. Если $|\gamma| \leq \frac{\sqrt{2}}{2}$, то система (6) совместна.

Выводы. Достаточные условия неотрицательности тригонометрического многочлена могут быть представлены в виде линейных неравенств (2), (3), которые удобны при проверке.

Список литературы. 1. Зигмунд А. Тригонометрические ряды. – М.: Мир, 1965. – 615 с. 2. Бабенко К.И. О сходимости в среднем кратных рядов Фурье и асимптотике ядра Дирихле сферических средних. – Препринт ИПМ АН СССР № 52. – М.: ИПМ АН СССР, 1971. – 70 с. 3. Stein E.M. Harmonic Analysis. – Princeton University Press, New Jersey, 1993. – 605 p. 4. Полюа Г., Сеге Г. Задачи и теоремы из анализа. – Ч. 2. – М.: ГИТИ, 1956. – 432 с. 5. Белов И.С., Назарова Н.Г. О слабой сходимости итераций метода Ньютона // Вестник ХНУ им. Каразина. – 2006. – Т. 56. – С. 352–359. 6. Belov I.S. Local Extremums of Trigonometric Polynomial // Journal of Mathematical Physics, Analysis. – Geometry. – 2007. – Vol. 3. – № 3. – P. 291–297.

УДК 17.27

Лінійні умови невід’ємності тригонометричного многочлена / І.С. Бєлов // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008. – № 49. – С. 11 – 16.

Розглянуто умови невід’ємності тригонометричного многочлена з косинусів

$P(x) = \sum_{m=0}^n \gamma_m \cos mx$ з дійсними коефіцієнтами. Для $n = 2, 3, 4$ подано лінійні умови на

коефіцієнти, при яких $P(x) \geq 0, \forall x \in R$. Бібліогр.: 6 назв.

Ключові слова: тригонометричний многочлен, невід'ємність, лінійні умови.

UDC 17.27

Linear conditions nonnegativity of Trigonometric Polynomial / I.S. Belov // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2008. – №. 49. – P. 11 – 16.

Linear conditions of nonnegativity for cosine trigonometric polynomial $P(x) = \sum_{m=0}^n \gamma_m \cos mx$ with real coefficients are considered. For $n = 2, 3, 4$ linear conditions on coefficients are found, for which $P(x) \geq 0, \forall x \in R$. Refs: 6 titles.

Key words: trigonometric polynomial, nonnegativity, linear conditions.

Поступила в редакцію 11.10.2008

О.В. ВЬЮННИК, ХНУРЭ (г. Харьков)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ ПУЛЬМОФОНОГРАФИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Рассмотрена модель распространения акустических колебаний в легких человека при регистрации пульмофонографических сигналов. Полученная электрическая модель, построенная с помощью метода электромеханических аналогий, позволяет получить выходные характеристики системы для пульмофонографических исследований, соответствующие кривым пульмофонографии как в норме, так и при наличии патологии дыхательной системы человека.

Ключевые слова: акустические колебания, пульмофонографический сигнал, электрическая модель, дыхательная система человека.

Постановка проблемы. Модель распространения акустических колебаний в воздуховодах легких и формирования акустических феноменов на поверхности грудной клетки человека, представленная в [1], не может быть непосредственно приспособлена к физическим размерам бронхов, бронхиол, альвеол легких, а также полностью описать и объяснить акустические явления при проведении пульмофонографии, которые появляются при попадании воздуха и жидкости в плевральную полость грудной клетки. Построение адекватной модели распространения звука в легких при пульмофонографии позволит обосновать методику определения количественных показателей дыхания и обосновать медико-технические характеристики системы для пульмофонографических исследований.

Анализ литературы. Дыхательная система человека состоит из респираторного тракта, бронхиального дерева, паренхимы легких, плевральной полости. С точки зрения акустики легкие являются многозвенной системой воздуховодов. Концевые бронхиолы сталкиваются через плевру с внутренней поверхностью грудной клетки. Мембраны тех альвеол, которые не выходят на поверхность грудной клетки, являются перегородками между соседними альвеолами, которые образуют сотовую структуру паренхимы. Формирование пульмофонографического (ПФГ) сигнала связано с изменением воздухонаполненности участка паренхимы, а также состояния плевральной полости.

При проведении пульмофонографии с помощью системы для пульмофонографических исследований (СПФГ) [2] воздействующий сигнал синусоидальной формы с выбранной частотой синтезируется в программной среде, далее генератор звуковой карты компьютера вырабатывает электрический сигнал с заданными параметрами, который поступает на усилитель и далее на электродинамический громкоговоритель, который, в свою очередь, преобразует электрический сигнал в акустические колебания. В верхние дыхательные пути человека подается звуковой сигнал, который после

прохождения по ротовой полости, трахее, бронхам, паренхимы легких, плевральной полости, вызывает колебания прилегающего к паренхиме участка грудной стенки, и далее воздействует через звукоприемник на мембрану микрофона. Происходит обратное преобразование акустического сигнала в электрический сигнал. В результате происходит запись и оцифровка выходного напряжения микрофона. Таким образом, справедливо описывать процесс пульмофонографии как процесс электрического прохождения тока и напряжения по легочным структурам и устанавливать связь между изменением электрических характеристик и объемными показателями исследуемого сегмента легких.

При составлении модели замещения легких при пульмофонографии использовались методы электромеханических аналогий биологическим и физиологическим процессам. Так, в частности, Wang и др. [3] предложили электромеханическую модель, описывающую характеристики звуков, производимых потоком крови в артериях. Данная модель сочетает в себе свойства инкрементной сети для дерева сосудов коронарной артерии и передаточной функции, описывающей резонансные характеристики артериальных камер. Также в работе [4] предложено феноменологическую электрическую модель сегмента грудной клетки, которая отображает характер изменения его свойств в зависимости от объемных показателей воздухо- и кровонаполненности. Работы [5, 6] посвящены анализу систем передачи и регистрации акустических сигналов и дыхательных шумов на поверхности грудной клетки человека при проведении бронхофонографии.

Цель статьи – построение модели распространения акустических колебаний в легких человека при регистрации пульмофонографических сигналов, которая бы адекватно описывала изменения легочной вентилируемости и воздушности при дыхании человека в норме и при различной легочной патологии.

Моделирование пульмофонографического сигнала. Для моделирования пульмофонографического сигнала была взята идея представления легочных структур с точки зрения электродинамики, а именно набором электрических элементов. Детальное исследование процесса распространения звуковых колебаний по легочным воздухопроводам, изложенное в [1], показывает, что участок паренхимы в совокупности с прилежащим участком грудной клетки образует акустический резонансный контур, по своим свойствам аналогичный известному электромагнитному контуру. При этом роль сопротивлений исполняет масса участка грудной клетки и легочных структур, роль емкости контура – объем участка и легочных структур, роль инерционности (индуктивности) – эластическая вязкость.

Предлагается модель дыхательной системы человека при пульмофонографии, сочетающая в себе свойства ротовой полости, трахеи,

инкрементной сети для дерева бронхов, бронхиол и передаточной функции, описывающей резонансные характеристики альвеол, плевральной полости.

В схему были введены такие элементы как переменные резисторы R и емкости C , переменная индуктивность L , которые составляют колебательные контуры. Электромагнитный контур может быть введен в резонанс путем изменения значений элементов. Аналогичным образом изменение объема участка паренхимы при дыхании (при моделировании этот процесс аналогичен изменению емкости и сопротивлений) приводит к изменению звукового давления в участке паренхимы по резонансной кривой.

Процесс моделирования производится на полученной эквивалентной электрической схеме. В основе топологии схемы лежит параллельно-последовательное соединение элементов, представляющих свойства физиологических и легочных структур в соответствии с тем, как проходит воздействующий сигнал по дыхательной системе человека. На рис. 1 представлена электрическая схема замещения легких при проведении пульмофонографического исследования.

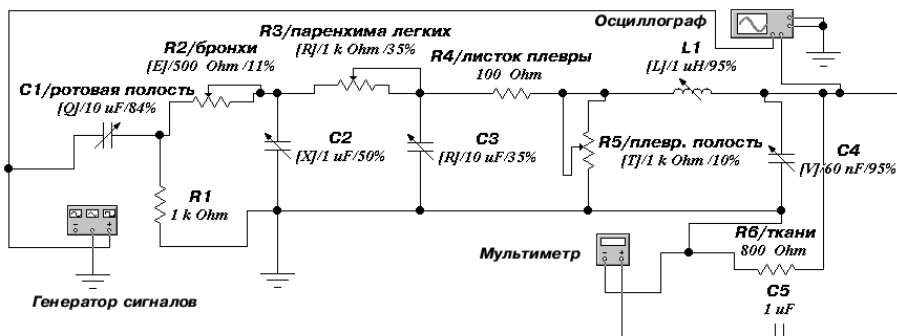


Рис. 1. Эквивалентная электрическая схема замещения легких при пульмофонографии

Генератор сигналов позволяет вырабатывать электрический сигнал синусоидальной формы любой частоты (в нашем случае рабочая частота 80 Гц) и любой амплитуды. Схема набрана в пакете анализа электрических схем Electronic Work Bench 5.12 (EWB). С помощью осциллографа можно проводить амплитудно-временной анализ сигнала, снимать амплитудно- и фазочастотную характеристику. В выходной цепи включен мультиметр, который позволяет оценить ток в цепи (значение тока должно быть физиологически адекватным и не должно превышать порога чувствительности человека к току, т.е. должно быть меньше 0,6 мА). Изменять значение элементов в режиме реального времени можно с помощью клавиатуры персонального компьютера. Также рядом с обозначением показано номинальное значение параметра элемента и степень изменения в процентах

от данного значения. Значения сопротивлений и емкостей отдельных элементов можно изменять как по отдельности, так и одновременно, что позволяет имитировать комплексное изменение воздухонаполненности легких и состояния легочной ткани, тем самым получать разнообразные формы выходного сигнала. Ниже представлены пульмофонографические сигналы. Один из них записан с помощью программы Sound Forge (рис. 2, а), а второй (рис. 2, б) получен при моделировании работы схемы. Все измерения производили на переменном токе, а входной сигнал изменялся по синусоидальному сигналу $U = U_m \sin \varphi t$. При моделировании работы эквивалентной схемы замещения легких напряжение U аналогично интенсивности звука I и ток аналогичен потоку воздуха Q .

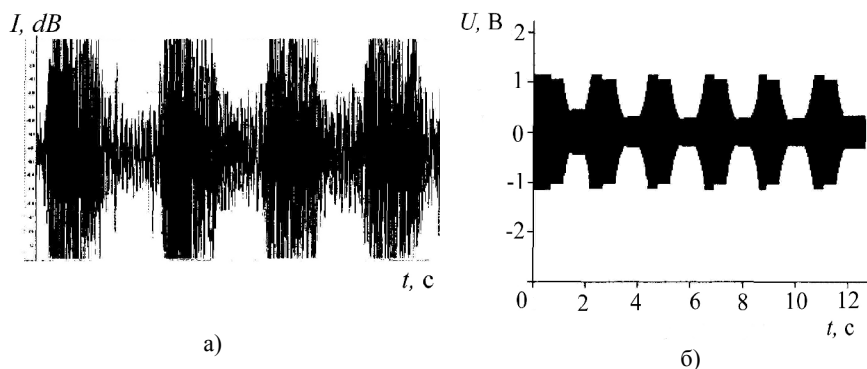


Рис. 2. Реальный (а) и моделируемый (б) сигнал пульмофонографии

Рассмотрим схему более детально. Ротовая полость и трахея представлена емкостью $C1$ и сопротивлением $R1$. В качестве емкости используется конденсатор с переменной емкостью на основе воздушного диэлектрика. Трахея и бронхиальное дерево моделируются переменным сопротивлением $R2$ и переменной емкостью $C2$. Далее паренхима также представлена переменной емкостью и переменным сопротивлением ($R3, C3$). Участок висцеральной плевры, покрывающей паренхиму, моделируется постоянным сопротивлением 100 Ом ($R4$). Плевральная полость состоит из переменного сопротивления, переменной индуктивности, и переменной емкости ($R5, L1, C4$). Участок грудной клетки со звукоприемником представлен постоянными сопротивлением и емкостью ($R6, C5$). Значения элементов взяты из справочника [7]. За базовое сопротивление и емкость взяты электрическое сопротивление и электрическая емкость легкого человека на частоте 100 Гц. От него происходил подбор значений элементов. Базовое сопротивление легкого составило 1,5 кОм.

При разных состояниях легких по-разному изменяются величины емкостей и сопротивлений. Данный факт учитывается при моделировании и

процентном соотношении прироста или убывания значений параметров. Скорость изменения влияет на крутизну выходной характеристики, т.е. пульмофонограммы. Так при обструктивном бронхите (когда в просветах бронхов происходит резкое перекрытие сечения бронха содержимым) на пульмофонограммах отмечается высокое расположение максимальной амплитуды и низкое (приближающееся к нулевой линии) расположение минимальной. Такой эффект при моделировании характеристик схемы наблюдается при 5-10% приращении величин сопротивлений и емкостей бронхов и паренхимы. Их приращение при вдохе и выдохе также происходит по-разному. Резкий вдох и удлиненный выдох (высокая скорость нажатия клавиш на клавиатуре на вдохе, а на выдохе медленнее) – подобное явление часто можно наблюдать при хроническом обструктивном заболевании легких [6]. На рис. 3, 4 показаны примеры моделирования пульмофонограмм при обструктивном бронхите. На рис. 3, а и рис. 4, а отобразены несущий сигнал записи и его огибающая, представленные в программе MatLab. На рис. 3, б и рис. 4, б – моделируемые сигналы в EWB.

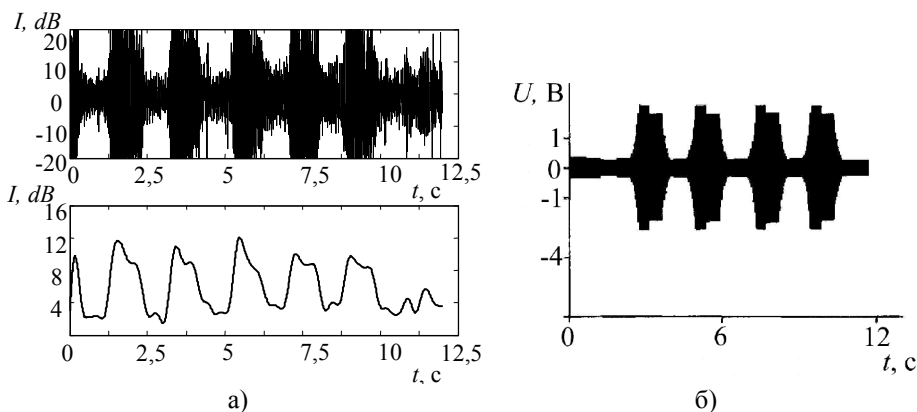


Рис. 3. Реальный (а) и моделированный (б) сигналы ПФГ при обструктивном бронхите (при 5% приращении величин сопротивлений и емкостей бронхов и паренхимы легких) и пульмофонограмма реального сигнала

Характеристики эквивалентной схемы. При моделировании амплитудно-временные характеристики выходного сигнала схемы совпадают с таковыми пульмофонографических сигналов, получаемых при реальных исследованиях. При добавлении детектора в схему можно получить огибающую несущего сигнала, т.е. пульмофонограмму. Несущий сигнал (синусоида 80 Гц) более информативный [8] и представляет собой паттерн локальной вентиляции сегмента легких. Далее будем рассматривать подобный вид пульмофонографического сигнала.

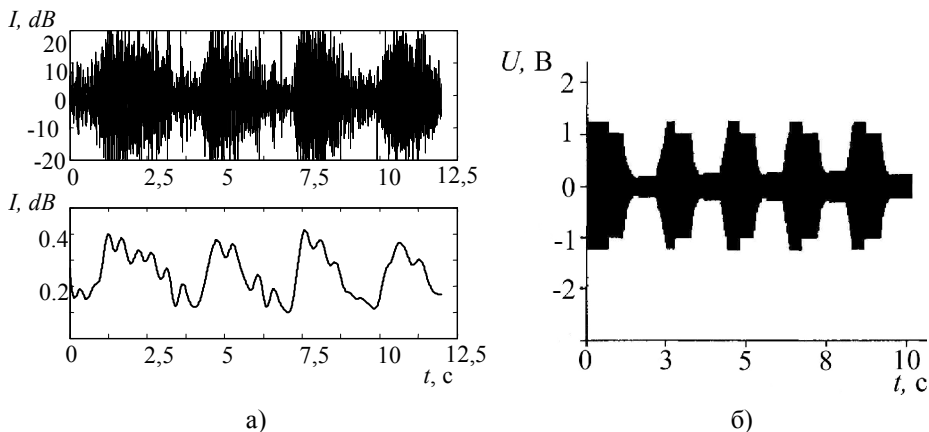


Рис. 4. Реальный (а) и моделированный (б) сигналы ПФГ (при 15% приращении величины сопротивления бронхов и 5% приращении величины сопротивления паренхимы) и пульмофонограмма реального сигнала

Амплитуда рабочего сигнала составила 2 В (задается генератором сигналов), а амплитуда выходного сигнала (рис. 1) была в диапазоне 0,3 В – 1,12 В, т.е. присутствует затухание сигнала, что объясняется потерями на элементах схемы, а в реальных условиях затуханием звукового сигнала в паренхиме легких и тканях грудной клетки. Форма сигнала сохраняется синусоидальной без искажений также как при ПФГ-исследованиях на вдохе. Однако, при детальном рассмотрении формы сигнала в ней часто присутствуют искажения, связанные с явлениями интерференции звуковых волн ("замиранием", "зашумливанием") при присутствии жидкости (и не только), особенно когда воздушность сегмента невелика, особенно в спинных отделах [1], при наличии патологии. Данный факт требует детального рассмотрения и может быть объяснен при анализе амплитудно-частотных характеристик схемы на вдохе и выдохе.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) является ключевой при обосновании выбора рабочей частоты исследования. Представленная схема, по сути, является пассивным полосовым фильтром. На рис. 5 показана АЧХ, полученная при средних значениях сопротивления и емкости паренхимы (35% от номинала), что соответствует среднему уровню объема дыхания. Как видно, полоса пропускания (ПП) (отмечена вспомогательными линиями) лежит в пределах 24-225 Гц, что совпадает с данными, приведенными в [1]. Частота 80 Гц лежит в середине полосы пропускания. Применение более низких частот сопряжено с необходимостью тщательной защиты от помех. Звук более высокой частоты практически не проходит к поверхности грудной клетки вследствие резкого затухания колебаний, на что указывают, в частности,

амплитудно-частотные характеристики, снятые, например, Р. Freyschmidt или А.И. Buller и А.С. Dornhorst. В ротовой полости, трахее затухают верхние частоты (элементы $R1$ и $C1$ образуют ФВЧ), затем в бронхах, в паренхиме, в плевральной полости и в тканях затухают низкие частоты, так как звук распространяется как в воздушной среде, так и в плотных тканях по стенкам бронхов и перегородкам альвеол (элементы звеньев схемы образуют ФНЧ).

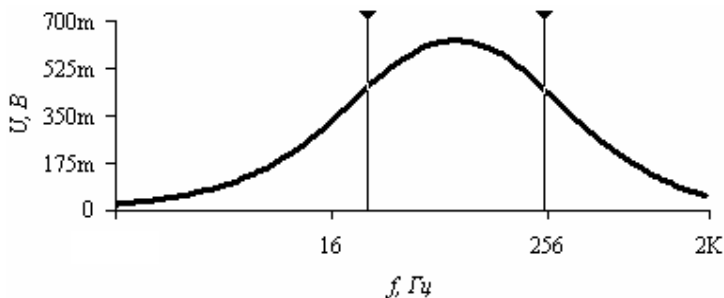


Рис. 5. Полоса пропускания АЧХ на среднем уровне задержки дыхания (нормальный вдох, объем дыхания равен 500 см^3)

При вдохе и выдохе происходит смещение полосы пропускания, при этом рабочая частота 80 Гц попадает на границу полосы пропускания. Данное обстоятельство объясняет появление искажений в форме несущего колебания.

Пульмофонографические сигналы устойчиво записываются при использовании определенного диапазона частот, и это свидетельствует о том, что в этом диапазоне сохраняются условия резонанса. На рис. 6 представлены пульмофонограммы грудного отдела легких здорового человека.

При возникновении патологии дыхательной системы одной из основных задач дифференциальной диагностики состояния легочной ткани является распознавание гемопневмоторакса, отека легких, и инфильтратов участков паренхимы легких. При проведении экспериментальных клинических исследований были выявлены устойчивые диагностические признаки на пульмофонограммах [9].

При наличии жидкости или газа в плевральной полости легких ($R5$ максимально) при моделировании воздухонаполненности паренхимы (изменением сопротивления и емкости, имитирующими процесс дыхания) на осциллограммах присутствуют колебания невысокой амплитуды с высоким коэффициентом модуляции, наподобие колебаний на пульмофонограммах у больных гемопневмотораксом (рис. 7). После проведения больному с гемотораксом необходимых мероприятий по устранению жидкости и газа из плевральной полости (дренажи, плевральные пункции) происходит восстановление воздухонаполненности легочной ткани, которое можно наблюдать и при ПФГ-исследованиях.

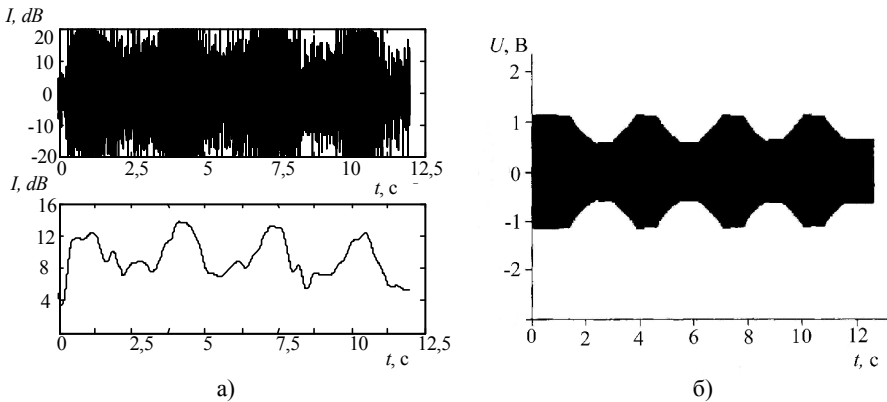


Рис. 6. Моделирование пульмофонограмм здорового человека

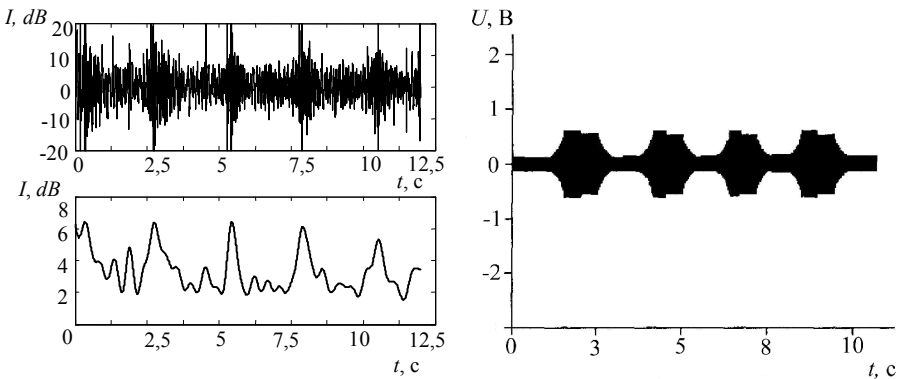


Рис. 7. Пульмофонограммы при гемопневмотораксе (компрессия участка легких жидкостью и/или воздухом)

Выводы. Моделирование пульмофонографического сигнала с помощью построения эквивалентной электрической схемы позволяет проводить анализ пульмофонограмм с привязкой параметров сигнала с параметрами локального функционирования сегментов легких и в целом дыхательной системы человека. Подтверждается связь акустических резонансов с электрическими резонансами на полученной эквивалентной электрической схеме. Совпадают амплитудно-временные характеристики выходных сигналов схемы и пульмофонографических сигналов, получаемых при реальных исследованиях. Частота 80 Гц лежит в середине полосы пропускания, что подтверждается АЧХ идеальной и реальной модели легких.

Оценка и определение вклада каждого из элементов в формирование выходного сигнала пульмофонограммы, определение амплитудно-частотных

характеристик схемы (а фактически электрической модели легких), степени влияния, скорости и характера изменения значений параметров элементов, с учетом влияния на стабильность элементов температурных и шумовых характеристик, представляет одну из основных задач, решение которой позволит решить обратную задачу пульмофонографического исследования, т.е. определять форму и локализацию патологии, что позволит проводить дифференциальную диагностику заболеваний легких, обосновать медико-технические требования к системе для пульмофонографических исследований.

Список литературы: 1. *Немеровский Л.И.* Пульмофонография. – М.: Медицина, 1981. – 160 с. 2. *Мустецов Н.П., Абусубха В., Вьюнник О.В.* Диагностика легочных патологий методом компьютерной пульмофонографии // Вестник НТУ “ХПИ”. Тем. вып. “Информатика и моделирование”. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2004. – Вып. 34. – С. 129 – 136. 3. *Рангайян Р.М.* Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход / Под ред. А.П. Немирко. – М.: Физматлит, 2007. – 440 с. 4. *Линник С.Н.* Модель функционирования легких // Вестник НТУ “ХПИ”. Тем. вып. “Информатика и моделирование”. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2005. – Вып. 46. – С. 118 – 126. 5. *Коренбаум В.И., Тагильцев А.А., Кулаков Ю.В.* Особенности передачи звука голоса человека на стенку грудной клетки // Акустический журнал. – 1998. – Т. 44. – № 3. – С. 380 – 390. 6. *Гусейнов А.А., Айсанов З.Р., Чучалин А.Г.* Акустический анализ дыхательных звуков: состояние вопроса // Пульмонология. – 2005. – № 6. – С. 105 – 112. 7. Биофизические характеристики тканей человека. Справочник / *Березовский В.А., Колотилов Н.Н.* Отв. ред. *Костюк П.Г.* – К.: Наук. думка, 1990. – 224 с. 8. *Вьюнник О.В.* Моделирование пульмофонографического паттерна // Прикладная радиоэлектроника. – Харьков: ХНУРЭ. – 2007. – Т. 6. – № 1. – С. 104 – 107. 9. *Вьюнник О.В.* Метод пульмофонографии в диагностике легочных патологий при травме груди / Сучасні досягнення молодих вчених на допомогу практичній медицині: Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції 20 жовтня 2006 р. – Харків., 2006. – С. 13 – 14.

УДК 621.317.7.001.572: 616.24 – 073.43

Моделирование системы регистрации пульмофонографических сигналов / Вьюнник О.В. // Вестник НТУ “ХПИ”. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ “ХПИ”. – 2008. – № 49. – С. 17 – 25.

Розглянуто модель поширення акустичних коливань у легенях людини при реєстрації пульмофонографічних сигналів. Отримана електрична модель, яка побудована за допомогою методу електромеханічних аналогій й дозволяє одержати вихідні характеристики системи для пульмофонографічних досліджень відповідні кривим пульмофонографії як у нормі, так і при наявності патології дихальної системи людини. Л.: 7. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: акустичні коливання, пульмофонографічний сигнал, електрична модель, дихальна система людини.

UDC 621.317.7.001.572: 616.24 – 073.43

Modeling of system for registration of pulmophonographic signals / Vyunnik O.V. // Herald of the National Technical University “KhPI”. Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU “KhPI”. – 2008. – № 49. – P. 17 – 25.

The model of distribution of acoustic vibrations in human lungs during registration of pulmophonographic signals is considered. The got electric model built by the method of electromechanic analogies, allows to get output signals of the system for pulmophonography researches proper to pulmophonographic curves both in a norm, and at presence of pathology of the respiratory system. Figs: 7. Refs: 9 titles.

Keywords: acoustic vibrations, pulmophonographic signals, electric model, human respiratory system.

Поступила в редакцію 10.10.2008

Б.М. ГОРКУНОВ, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ",
И.В. ТЮПА, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ",
А.А. ТИЩЕНКО, НТУ "ХПИ"

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ КАТУШЕК ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

В работе предложена модель вихретокового преобразователя с цилиндрическим образцом и измерительной обмоткой. Получены соотношения для определения эквивалентных сопротивлений и построены графики зависимости относительного сопротивления преобразователя от глубины проникновения поля в исследуемое изделие для разных конфигураций катушек вихретокового преобразователя и для разных марок стали.

Ключевые слова: вихретоковый преобразователь, цилиндрический образец, сопротивление, глубина проникновения.

Постановка проблемы. Контроль качества поверхностной обработки деталей является одной из важнейших технологических операций, обеспечивающих эксплуатационную надежность. Известные методы контроля качества по микроструктуре требуют предварительного разрушения деталей, поэтому контроль производится выборочно. В связи с этим, в настоящее время все более широкое применение получают методы неразрушающего контроля. Наибольшее распространение получил электромагнитный метод контроля, который характеризуется высокой чувствительностью к изменению физических свойств металлов и сплавов и позволяет полностью автоматизировать процесс контроля. При этом обеспечиваются надежность и высокая производительность контроля. В основе электромагнитного метода контроля материалов и деталей лежит электромагнитная теория поля [1].

Возможность контроля качества термообработки с помощью электромагнитного метода определяется тем, что магнитная проницаемость и удельное электрическое сопротивление сталей существенно зависят от их микроструктуры. Как известно, удельная электрическая проводимость и магнитная проницаемость стали тем меньше, чем выше содержание углерода в ней и чем больше углерода при закалке перешло в твердый раствор [2].

Анализ литературы. В работе [3] рассматривается модель упрочненного слоя изделия в виде полупространства с кусочно-линейным изменением по глубине удельного сопротивления в поверхностном слое. В продолжении [3] предлагаются упрощенные модели упрочненного изделия в виде полупространства с однородным слоем или со слоем линейного изменения удельного сопротивления по глубине [4]. Исследованы особенности применения вихретоковых преобразователей для контроля структурного состояния и абразивной износостойкости конструкционной стали 45Х, закаленной при воздействии непрерывным излучением лазера [5], и

шарикоподшипниковой стали ШХ15, подвергнутой лазерной и объемной закалкам [6]. Рассмотрено влияние циклического нагружения отожженной стали 45 при малоциклового усталости на изменение ее электромагнитных характеристик [7]. В работе [8] изучены магнитные и электрические характеристики закаленных и отпущенных образцов углеродистых сталей. Изучено влияние карбидной фазы на чувствительность вихретокового метода контроля износостойкости высокоуглеродистых сталей, подвергнутых низкотемпературной закалке и отпуску [9].

Цель статьи – создание модели вихретокового преобразователя для контроля поверхностных слоев металлических изделий и выбор рациональных размеров катушек данного преобразователя.

Математическая модель вихретокового преобразователя. Приступая к разработке методики, необходимо изучить характеристики контролируемой детали и материала, из которого она изготовлена.

Характер показаний электромагнитных приборов зависит как от химического состава контролируемой детали, так и от параметров магнитного поля и частоты тока питания преобразователей.

Выбор частоты тока имеет большое практическое значение при контроле: чем ниже частота тока, тем глубже проникновение вихревых токов.

Как известно, собственная индуктивность L кольцевого проводника диаметра D (см. рис 1) рассчитывается по формуле [10]:

$$L = \mu_0 \frac{D}{2} \left(\ln \frac{8D}{d} - 2 + \frac{\zeta}{4} \right),$$

где D – диаметр кольца (по осевой линии провода);

d – диаметр поперечного сечения провода;

ζ – величина, значение которой определяется в зависимости от значений параметра kr , причем $kr = \sqrt{\omega \mu_0 \mu_r / \rho}$;

$\omega = 2\pi f$ – циклическая частота возбуждающего тока;

ρ – удельное электрическое сопротивление вещества;

μ_r – относительная магнитная проницаемость вещества;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная.

Для определения ζ при $kr < 2$ можно пользоваться формулой [10]:

$$\zeta = 1 - \frac{1}{6}x^4 + \frac{13}{270}x^8 \dots,$$

а при $kr > 5$ – формулой:

$$\zeta = \frac{1}{x} - \frac{3}{64x^3} - \frac{13}{270x^4} \dots,$$

где $x = \frac{d}{2} \sqrt{\frac{\mu_0 \mu_r \pi f}{\rho}}$.

Активное сопротивление кольцевого витка определяется по формуле:

$$R = 4\rho \frac{D}{d^2}.$$

Для нахождения взаимных индуктивностей рассмотрим случаи коаксиальных круговых контуров одинаковых и неодинаковых диаметров (см. рис. 1 а,б соответственно), которые расположены друг относительно друга на расстоянии y .

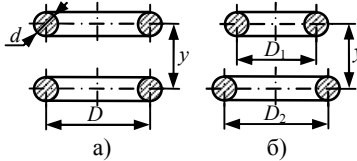


Рис. 1. Коаксиальные круговые контуры с одинаковыми а) и неодинаковыми б) диаметрами

Взаимная индуктивность коаксиальных круговых контуров одного диаметра (см. рис.1, а), расположенных близко друг к другу, рассчитывается по формуле [10]:

$$M_1 = \mu_0 \frac{D}{2} \left[\left(1 + \frac{3}{4} \xi^2 - \frac{15}{64} \xi^4 + \frac{35}{256} \xi^6 + \dots \right) \ln \frac{4}{\xi} - 2 - \frac{1}{4} \xi^2 + \frac{31}{128} \xi^4 - \frac{247}{1536} \xi^6 + \dots \right],$$

где $\xi = \frac{y}{D}$.

Для расчета взаимной индуктивности коаксиальных круговых контуров с неодинаковыми диаметрами (см. рис. 1, б) воспользуемся формулой, представленной в виде бесконечного ряда [10]:

$$M_2 = \frac{\mu_0 \pi \sqrt{D_1 D_2}}{\sqrt{2(1+q)}} q^{3/4} \left[1 + \frac{1}{4} q^2 + \frac{9}{64} q^4 + \dots + A_n q^{2n} + \dots + \frac{1}{2} q + \frac{3}{16} q^3 + \dots + \frac{2n+1}{2(n+1)} A_n q^{2n+1} + \dots \right],$$

где $A_n = \left[\frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \dots (2n-1)}{2 \cdot 4 \cdot 6 \dots 2n} \right]^2$; $q = k_2 = \frac{1-k_1'}{1+k_1'}$; $k_1'^2 = 1 - k_1^2$;

k_2 – модуль полных эллиптических интегралов 1-го и 2-го рода K_2 и E_2 ;

$$k_1 = \frac{1-k'}{1+k'}; k'^2 = 1 - k^2; k^2 = \frac{4D_1 D_2}{(D_1 + D_2)^2 + 4y^2};$$

k_1 – модуль полных эллиптических интегралов 1-го и 2-го рода K_1 и E_1 ;

k – модуль полных эллиптических интегралов 1-го и 2-го рода K и E .

Для выбора значения частоты электромагнитного поля зададимся диаметром сечения витка эквивалентной трубки вихревого тока, равным глубине проникновения поля δ , тогда

$$f = \frac{\rho}{2\pi\mu_0\mu_r\delta^2}. \quad (14)$$

Для нашего случая, плотность тока во внутренней части цилиндрического образца диаметром $D_2 - \delta$ принимается равной нулю, тогда рассматриваемый сплошной стержень можно заменить полым цилиндром с внешним диаметром $D_2 + \delta$ и внутренним диаметром $D_2 - \delta$. При этом эквивалентный ему контур будет состоять из последовательно включенных L_2 и R_2 . Вся система, состоящая из катушки возбуждения и находящегося в ней стержня, может быть представлена эквивалентной схемой связанных контуров (см. рис. 2).

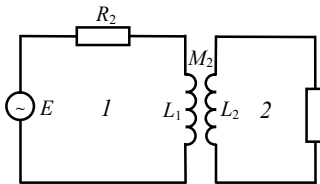


Рис. 2. Схема взаимосвязанных контуров

Эквивалентное сопротивление контура 1 при наличии связанного с ним контура 2 можно определить по формуле [11]:

$$Z_{\text{экв}} = R_1 + \frac{\omega^2 M_2^2}{R_2^2 + (\omega L_2)^2} R_2 + j \left(\omega L_1 - \frac{\omega^2 M_2^2}{R_2^2 + (\omega L_2)^2} \omega L_2 \right),$$

где R_1 – активное сопротивление контура 1: $R_1 = 4\rho W_1 \frac{D_1}{d^2}$;

W_1 – количество витков вихретокового преобразователя (ВТП);

L_1 – индуктивность контура 1, которая рассчитывается по формуле:

$$L_1 = \mu_0 W_1 \frac{D_1}{2} \left(\ln \frac{8D_1}{d} - 2 + \frac{\zeta}{4} \right) + M_1;$$

R_2 – активное сопротивление контура 2 [11]:

$$R_2 = \frac{\pi(D_2 + \delta)\sqrt{\pi\mu_0\mu_r\rho f}}{l},$$

l – длина образца;

M_2 – взаимная индуктивность между первым и вторым контуром;

L_2 – индуктивность контура 2, которая рассчитывается по формуле:

$$L_2 = \mu_0 \frac{l}{\delta} \frac{D_2}{2} \left(\ln \frac{8D_2}{\delta} - 2 + \frac{\zeta}{4} \right) + M_1.$$

Рассмотрим три модели ВТП с цилиндрическим образцом и измерительными обмотками в виде горизонтально расположенных витков, вертикально расположенных витков и в виде катушки квадратного сечения, обобщенно представленные на рис. 3. Образец представляет собой соленоид, разбитый на элементарные витки, диаметр сечения которых равен δ .

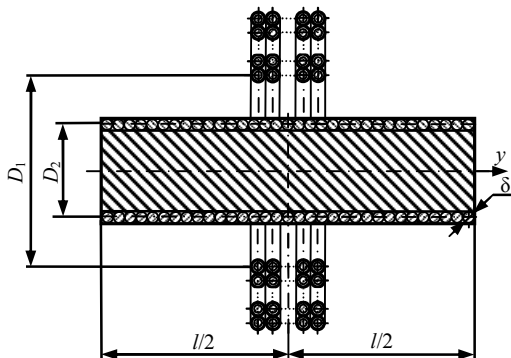


Рис. 3. ВТП с цилиндрическим образцом и измерительной обмоткой различной конфигурации

Для того, чтобы произвести расчет модели ВТП, зададим ее параметры. Параметры обмотки: внешний диаметр витка $D_1 + d = 14$ мм; диаметр провода $d = 0,1$ мм (с учетом изоляции диаметр провода $d = 0,12$ мм); материал витка – медь, $\rho = 0,17 \cdot 10^{-7}$ Ом·м; (количество витков обмотки ВТП составляло 9, 18 и 81 виток для соответствующей конфигурации катушки). Параметры образца: внешний диаметр образца $D_2 + \delta = 10$ мм; длина образца $l = 50$ мм. В расчетах будем использовать образцы, изготовленные из стали Ст. 45 с характеристиками $\mu_r = 80$; $\rho = 2,13 \cdot 10^{-7}$ Ом·м и стали X18H10T с характеристиками $\mu_r = 1,5$; $\rho = 7,14 \cdot 10^{-7}$ Ом·м. Расчет значений $Z_{\text{экв}}$ проведем для глубин проникновения поля $\delta = 0,1$ мм; $\delta = 0,2$ мм; $\delta = 0,3$ мм; $\delta = 0,4$ мм и $\delta = 0,5$ мм.

В табл. приведены расчетные значения Z^* для различных глубин проникновения поля и различных конфигураций катушек, причем Z^* определяется из соотношения:

$$Z^* = \frac{Z_{\text{экв}}}{Z_1}, \text{ где } Z_1 = R_1 + j\omega L_1.$$

На рис. 4 представлены графики зависимости Z^* от δ для разных конфигураций измерительных катушек ВТП и двух марок стали.

Выводы. Проанализировав рассмотренные выше модели ВТП, можно сделать вывод, что ВТП с обмоткой в виде горизонтально расположенных витков целесообразно использовать для структуроскопии, а ВТП с обмоткой в виде вертикально расположенных витков – для дефектоскопии.

Таблица

Значение Z^* для разных глубин проникновения и обмоток ВТП

Марка материала	δ , мм	Z^* гориз.	Z^* вертик.	Z^* (9×2)	Z^* (2×9)	Z^* (9×9)
Сталь Ст. 45	0,1	10,97105	13,56105	22,80435	27,26351	122,2989
	0,2	1,870738	2,325251	3,672947	4,372516	19,32901
	0,3	1,157745	1,232652	1,586365	1,773946	6,723213
	0,4	1,038855	1,058244	1,158156	1,213111	3,320475
	0,5	1,014129	1,021017	1,05709	1,080283	2,078742
Сталь Х18Н10Т	0,1	56,71799	69,36175	118,159	139,7236	627,1642
	0,2	34,53157	42,02478	71,57546	85,22216	386,5336
	0,3	25,8938	31,52017	54,54195	64,21084	291,8374
	0,4	20,40772	24,95136	42,83989	49,95516	232,0466
	0,5	16,31853	20,03536	34,35472	40,87616	186,3579

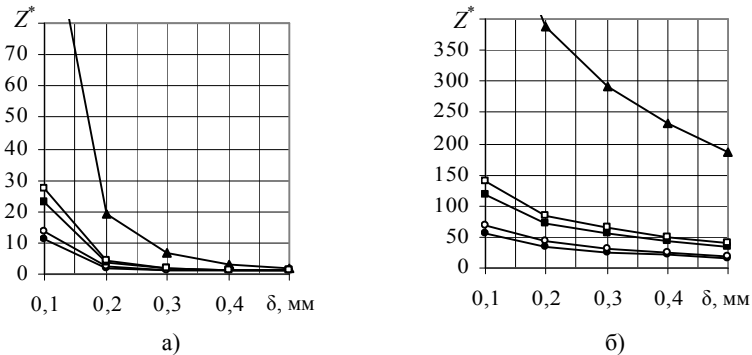


Рис. 4. Графики зависимости Z^* от глубины проникновения для стали Ст.45 а) и стали Х18Н10Т б) для разных конфигураций катушек ВТП: ● – 9 горизонтальных витков; ○ – 9 вертикальных витков; ■ – 9×2; □ – 2×9; ▲ – 9×9

Для более качественного контроля поверхности упрочненных деталей необходимо усовершенствовать ВТП, т. е. для нашего случая возможно использование ВТП с обмоткой в виде катушки квадратного сечения.

Список литературы: 1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т.2: В 2 кн. – М.: Машиностроение, 2003. – 688 с. 2. Горкунов Э.С., Задворкин С.М., Смирнов С.В. и др. Взаимосвязь между параметрами напряженно-деформированного состояния и магнитными характеристиками углеродистых сталей при одноосном растяжении / Тезисы докладов 5-й Международной конференции "Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности". Москва, 16 – 19 мая 2006 г. – М.: Машиностроение, 2006. – С. 63. 3. Митрофанов В.А., Грязев С.Г. Теоретические основы трехпараметрового контроля упрочненного слоя асимметричным ЭП преобразователем на квазистационарном токе. Ч. 1. Модель HL // Дефектоскопия. – 2003. – № 11. – С. 73 – 81. 4. Митрофанов В.А., Грязев С.Г. Теоретические основы трехпараметрового контроля упрочненного слоя асимметричным ЭП преобразователем на квазистационарном токе. Ч. 2. Модели Н и L // Дефектоскопия. – 2003. – № 12. – С. 73 – 83.

5. Макаров А.В., Горкунов Э.С., Коган Л.Х и др. Особенности электромагнитных методов контроля износостойкости среднеуглеродистой конструкционной стали, подвергнутой лазерной или объемной закалке и отпуску // Дефектоскопия. – 2006. – № 7. – С. 28 – 39. 6. Макаров А.В., Горкунов Э.С., Коган Л.Х и др. Вихретоковый и коэрцитиметрический контроль абразивной износостойкости шарикоподшипниковой стали ШХ15, подвергнутой лазерной и объемной термическим обработкам // Дефектоскопия. – 2006. – № 10. – С.3 –16. 7. Горкунов Э.С., Саврай П.А., Макаров А.В. и др. Применение вихретокового метода для оценки накопленной пластической деформации и остаточных механических свойств после циклического нагружения отожженной среднеуглеродистой стали // Дефектоскопия. – 2007. – № 4. – С. 24 – 30. 8. Коган Л.Х., Ничипурук А.П., Гаврилова Л.Д. Влияние содержания углерода на магнитные, электрические свойства термообработанных углеродистых сталей и возможности контроля качества отпуска изделий из них вихретоковым методом // Дефектоскопия. – 2006. – № 9. – С. 72 – 90. 9. Макаров А.В., Горкунов Э.С., Коган Л.Х и др. Коэрцитиметрический и вихретоковый контроль абразивной износостойкости закаленных и отпущенных заэвтектоидных углеродистых сталей. I. Стали, подвергнутые стандартной низкотемпературной закалке и отпуску // Дефектоскопия. – 2007. – № 5. – С. 3 – 11. 10. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1955. – 368 с. 11. Физические и физико-химические методы контроля состава и свойств вещества. Метод вихревых токов. Под общей редакцией академика АН Киргизской ССР Н.Н. Шуμιловского. – М.-Л.: "Энергия", 1966. – 176 с.

УДК 620.179.14

Вибір раціональних розмірів котушок вихорострумowego перетворювача для контролю металевих виробів / Горкунов Б.М., Туца І.В., Тищенко А.А. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008. – №. 49. – С. 26 – 32.

У роботі запропоновано модель вихорострумowego перетворювача з циліндричним зразком і вимірювальною обмоткою різної конфігурації. Отримано співвідношення для визначення еквівалентного опору перетворювача і побудовано графіки залежності відносного опору від глибини проникнення поля в досліджуваній виріб для різних конфігурацій котушок вихорострумowego перетворювача і для різних марок сталі. Іл.: 4. Табл.: 1. Бібліогр.: 11 назв.

Ключові слова: вихорострумовой перетворювач, циліндричний зразок, опір, глибина проникнення.

UDK 620.179.14

Choice of the rational sizes of coils eddy current converter for the control of metal products / Gorkunov B.M., Tutsa I.V., Tichshenko A.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2006. – № 49. – P. 26 – 32.

In work the model of eddy current converter with the cylindrical sample and a measuring coil of a various configuration is offered. Expressions for definition of equivalent resistance are received and diagrams of dependence of relative resistance from depth of penetration of a field in the probed sample for different configurations of coils eddy current converter and for different marks of steel are constructed. Figs: 4. Tabl.: 1. Refs: 11 titles.

Key words: eddy current converter, cylindrical sample, resistance, depth of penetration.

Поступила в редакцію 10.10.2008

И.Ю. ГРИШИН, канд. техн. наук, РВУЗ "КГУ" (г. Ялта)

ЭВРИСТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛАВНЫХ ГРАНЕЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Рассмотрен алгоритм определения внутреннего многогранника из множества вложенных выпуклых многогранников, заданных системой линейных неравенств. Такой алгоритм может эффективно использоваться при решении задачи линейного программирования методом главных граней, являющего реальной альтернативой симплекс-методу. Приведен пример применения алгоритма, показана его вычислительная эффективность.

Ключевые слова: алгоритм, многогранник, система линейных неравенств, задача линейного программирования, симплекс-метод.

Постановка проблемы. Известен метод решения задачи линейного программирования [1, 2], позволяющий находить гипергрань многогранника, на которой находится точка оптимума. После замены одного из линейных ограничений-неравенств равенством осуществляется снижение размерности исходной задачи и определяется следующая гипергрань, содержащая оптимальное решение. Эта гипергрань является смежной с ранее найденной. Однако при снижении размерности задачи часть из исходных ограничений-неравенств может стать несовместными, что приводит к неправильному определению очередной главной грани и, как следствие, к неверному нахождению оптимальной точки. В общей постановке задача нахождения граней, смежных с заданной гранью (или задача определения внутреннего многогранника из множества вложенных выпуклых многогранников, заданных системой линейных неравенств) в настоящее время не решена [3]. Поэтому имеет смысл использовать достаточно простые эвристические алгоритмы последовательного определения главных граней.

Анализ литературы. Широко известен метод определения совместности системы линейных уравнений [4], состоящий в вычислении ранга матрицы системы и сравнении его с количеством переменных. Данный метод может быть применен и для решения задачи линейного программирования после приведения имеющихся ограничений-неравенств к ограничениям-равенствам. Однако с вычислительной точки зрения этот метод неэффективен, поскольку количество операций, необходимых для его реализации, зависит экспоненциально от размерности задачи и количества ограничений. В работе [5] изложен метод и алгоритм определения совместности систем линейных неравенств, однако он тоже малоприменим для систем большой размерности вследствие своей высокой вычислительной трудоемкости.

Цель статьи – предложить практически реализуемый алгоритм определения совместности систем линейных неравенств для нахождения смежных гиперграней с целью его применения в методе главных граней решения задачи линейного программирования.

Основы эвристического алгоритма. Главная грань и грани смежные с ней [6] показаны на рисунке. При проекции на координатные плоскости смежные грани выбираемой главной грани образуют грани внутреннего многогранника. Прямая, проведенная через внутреннюю точку P этого многогранника параллельно оси координат, пересекает его грани в точках, имеющих минимальное (по модулю) расстояние по оси координат до точки P .

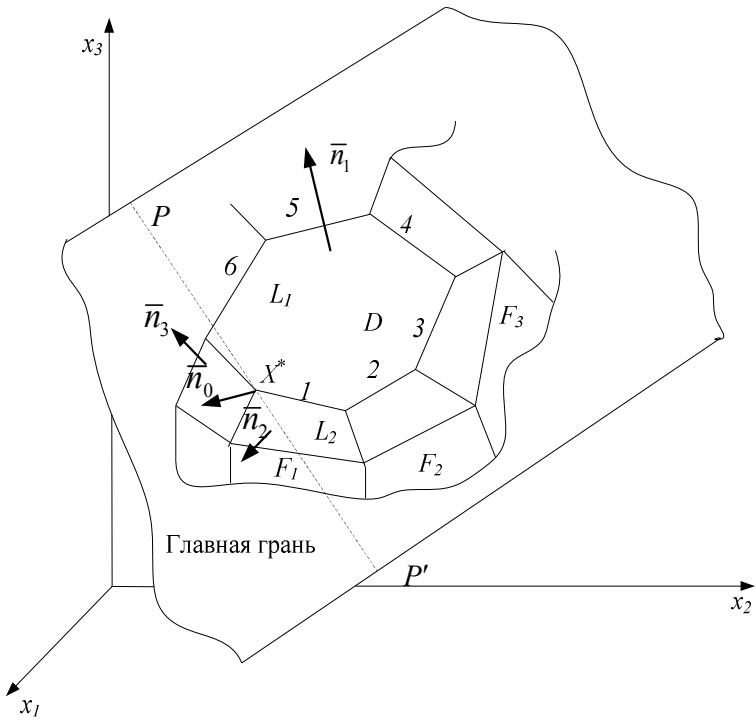


Рис. Главная и смежные с ней грани

Поиск оптимальных (квазиоптимальных) решений предложенным способом рассмотрим на примере. В качестве внутренних точек на следующей итерации целесообразно брать точки пересечения этих прямых с выбираемой гиперплоскостью L_k и проецировать их на координатную плоскость, нормаль которой наиболее близка к нормали грани L_k , то есть коэффициент при

соответствующем x_j в уравнении гиперплоскости L_k должен быть наибольшим по модулю.

Для наглядности коэффициенты целевой функции и неравенств записаны в виде таблиц коэффициентов (табл. 1, 2, 4, 5). В таблицах расстояний (табл. 3) в строках даны значения координат x_j точек пересечения прямой X'_j , параллельной оси X_j , с соответствующими гиперплоскостями. Координаты смежных граней, имеющих наименьшую удаленность по прямой от точки P , подчеркнуты.

Пример. Решить задачу распределения ресурсов (предполагается, что исходная система неравенств совместна и не содержит лишних ограничений).

Найти $\max z = 3x_1 + 4x_2 + 8x_3 + 5x_4 + 12x_5 + 2x_6$, $\bar{n} = (3, 4, 8, 5, 12, 2)$ при ограничениях

$$L_1 : 3x_1 + 2x_2 - x_3 + 6x_4 + x_5 + x_6 \leq 24, \bar{n}_1 = (3, 2, -1, 6, 1, 1);$$

$$L_2 : x_1 + 6x_2 + x_3 + 2x_6 \leq 18, \bar{n}_2 = (1, 6, 1, 0, 0, 2);$$

$$L_3 : x_4 + 2x_5 \leq 12, \bar{n}_3 = (0, 0, 0, 1, 2, 0);$$

$$L_4 : 3x_4 + x_5 \leq 12, \bar{n}_4 = (0, 0, 0, 3, 1, 0);$$

$$L_5 : 2x_1 + x_2 + x_3 \leq 24, \bar{n}_5 = (2, 1, 1, 0, 0, 0);$$

$$L_6 : 2x_3 + x_5 + 3x_6 \leq 36, \bar{n}_6 = (0, 0, 2, 0, 1, 3);$$

$$L_{6+j} : -x_j \leq 0, j = \overline{1, 6}.$$

В табл. 1 представлена запись исходной задачи.

Таблица 1

Исходная задача

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	
Z	3	4	8	5	12	2	
L_1	3	2	-1	6	1	1	24
L_2	1	6	1	0	0	2	18
L_3	0	0	0	1	2	0	12
L_4	0	0	0	3	1	0	12
L_5	2	1	1	0	0	0	24
L_6	0	0	2	0	1	3	36
$L_3 :$	$x_4 = 12 - 2x_5$						
$L_{10} :$	$x_5 \leq 6$						

На первой итерации находится первая главная грань. Вычисляется проекция по формуле $pr_{\bar{n}_i} \bar{n} = \frac{(\bar{n} \cdot \bar{n}_i)}{|\bar{n}_i|}$. Максимальное значение имеет

$$pr_{\bar{n}_3} \bar{n} = \frac{5+24}{\sqrt{5}} = \frac{29}{\sqrt{5}}, \text{ то есть первая главная гипергрань } L_3 : x_4 + 2x_5 = 12.$$

Исключается переменная $x_4 = 12 - 2x_5$. В результате получена табл. 2.

Таблица 2

Исключена переменная x_4

	x_1	x_2	x_3	x_5	x_6	
Z	3	4	8	2	2	
L_1	3	2	-1	-11	1	-48
L_2	1	6	1	0	2	18
L_{10}	0	0	0	1	0	6
L_4	0	0	0	-5	0	-24
L_5	2	1	1	0	0	24
L_6	0	0	2	1	3	36
$L_2 :$	$6x_2 = 18 - x_1 - x_3 - 2x_6$					
$L_8 :$	$-18 + x_1 + x_3 + 2x_6 \leq 0$					

На второй итерации через внутреннюю точку $P(1, 1, 1, 5, 2)$ проводятся прямые X'_j , параллельные осям X_1, X_2, X_3, X_5, X_6 . Подставляя координаты точки P , находят координаты точек пересечения этих прямых с гиперплоскостями L_1, \dots, L_6 и координатными плоскостями L_7, \dots, L_{12} . По координатам точек определяются ближайшие, то есть смежные грани.

Например, для определения точек пересечения прямой X'_6 с гиперплоскостями подставляются в уравнения табл. 2 значения $x_1 = x_2 = x_3 = 1, x_5 = 5$.

Тогда для гиперплоскостей $L_1, L_2, L_6 :$

$$L_1 : 3 \cdot 1 + 2 \cdot 1 - 1 \cdot 1 - 11 \cdot 5 + 1 \cdot x_6 = 48 \Rightarrow x_6 = 3 ;$$

$$L_2 : 1 \cdot 1 + 6 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 2 \cdot x_6 = 18 \Rightarrow x_6 = 5 ;$$

$$L_6 : 2 \cdot 1 + 1 \cdot 5 + 3 \cdot x_6 = 36 \Rightarrow x_6 = \frac{29}{3}.$$

Решая аналогичные уравнения для L_4, L_5, L_{10} получаем $x_6 = \infty$.

Расстояние от точки P до гиперплоскости по прямой X'_j равно $S_j = |x_j - x_j^0|$, где x_j^0 – значение координаты точки P . Минимальное расстояние S_j соответствует минимальному значению x_j при $x_j \geq x_j^0$ и максимальному значению x_j при $x_j \leq x_j^0$. Каждая прямая X'_j пересекается только с одной координатной плоскостью L_{6+j} ($x_j = 0$), поэтому координата точки пересечения $x_j = 0$, $S_j = |x_j - x_j^0| = x_j^0$.

Для прямой X'_6 значение $x_6^0 = 2$ и минимальные расстояния до точки P по прямой X'_6 имеют гиперплоскости L_1 ($x_6 = 3$, $S_6 = |3 - 2| = 1$) и L_1 ($x_6 = 0$, $S_6 = |0 - 2| = 2$). Аналогично могут быть вычислены расстояния до гиперплоскостей по прямым X'_1 , X'_2 , X'_3 , X'_5 . Результаты вычислений приведены в табл. 3.

Таблица 3

Расстояния до гиперплоскостей на второй итерации

$X'_j \backslash L_i$	L_1	L_2	L_{10}	L_1	L_5	L_6	L_{6+j}
X'_1	<u>1,33</u>	7	∞	∞	11	∞	<u>0</u>
X'_2	<u>1,5</u>	2	∞	∞	21	∞	<u>0</u>
X'_3	<u>0</u>	<u>7</u>	∞	∞	21	12,5	<u>0</u>
X'_5	<u>4,3</u>	∞	<u>6</u>	4,8	∞	28	0
X'_6	<u>3</u>	5	∞	∞	∞	29/3	<u>0</u>

Из табл. 3 следует, что с гранью L_3 являются смежными грани L_1 , L_2 , L_7, \dots, L_{10} , L_{12} . Из смежных граней максимальную величину проекции $pr_{\vec{n}_2} \vec{n} = 5,68$ имеет грань L_2 . Исключается переменная x_2 , так как в уравнении L_2 коэффициент при ней максимален. В результате получаем соотношение $6x_2 = 18 - x_1 - x_3 - 2x_6$ и после второй итерации имеем табл. 4.

Произведя аналогичные вычисления для других граней получим табл. 5.

Из табл. 5 следует, что оптимальным решением является $x_5 = 4,8$, а далее могут быть найдены остальные значения оптимального решения:

$$x_1 = 0, 5x_5 = 2,4; x_3 = 18 - \frac{1}{2}x_5 = 15,6;$$

$$x_6 = 12 - \frac{2}{3}x_3 - \frac{1}{3}x_5 = 0; \quad x_2 = 0; \quad x_4 = 12 - 2x_5 = 2, 4;$$

$$Z_{\max} = 201,6.$$

Таблица 4

Исключена переменная x_2

	x_1	x_3	x_5	x_6	
Z	7	22	6	2	
L_1	8	-4	-33	1	-162
L_8	1	1	0	2	18
L_{10}	0	0	1	0	6
L_4	0	0	-5	0	-24
L_5	11	5	0	3	126
L_6	0	2	1	3	36
$L_6 :$	$3x_6 = 36 - 2x_3 - x_5$				
$L_{12} :$	$2x_3 + x_5 - 36 \leq 0$				

Таблица 5

Исключена переменная x_1

	x_5	
Z	-4,5	
L_1	-40,5	-135
L_7	-2	0
L_{10}	1	6
L_4	-5	-24
L_5	9	108
L_9	1	36
$L_4 :$	$x_5 = 4, 8$	

В том случае, когда грани с наибольшими значениями величин проекций не входят в список смежных, целесообразно выбирать их главными и искать смежные к ним грани. Например, на второй итерации грани L_5 , L_6 не определены как смежные к грани L_3 . Однако, взяв их смежными вместо грани

L_3 , может быть определено, что грань L_3 будет смежной как к грани L_5 , так и к грани L_6 .

Далее, используя полярный многогранник, могут быть найдены пары несмежных гиперграней: (L_1, L_6) , (L_4, L_5) , (L_5, L_6) , (L_5, L_7) , (L_6, L_9) , (L_4, L_{10}) , (L_3, L_{11}) . Приведенные результаты согласуются с данными табл. 3, 5.

Программа для ЭВМ, реализующая предлагаемый метод, включает в себя девять достаточно простых процедур, что позволяет легко её адаптировать для решения конкретных оптимизационных задач. Реализация программы осуществляется в два этапа. На первом этапе выполняются $n-1$ итерация поиска главных граней, аналогичная рассмотренному примеру. В результате формируется треугольная матрица коэффициентов уравнений главных граней путем перенумерования строк и столбцов исходной матрицы. На каждой итерации последовательно вызываются пять процедур, выполняющих над матрицей ограничений-неравенств следующие операции:

1. Производится определение смежных граней по признаку наименьшего удаления по прямой X'_j до внутренней точки. При этом осуществляется формирование массивов признаков смежных граней, расстояний S_j и индексов прямых X'_j . Эти данные используются для вычисления внутренней точки на следующей итерации.

2. Вычисляются проекции $pr_{\bar{n}_i} \bar{n}$ вектора \bar{n} на вектора \bar{n}_i .

3. Производится определение разрешающей строки по признаку минимальной проекции и осуществляется обмен номерами двух строк в матрице ограничений-неравенств с присвоением разрешающей строке номера 1.

4. Осуществляется преобразование матрицы ограничений и строки коэффициентов целевой функции путем вычитания разрешающей строки из последующих строк с обнулением первого столбца. Данная процедура соответствует прямому ходу решения системы линейных уравнений методом Гаусса. Далее первая строка исключается из матрицы ограничений и добавляется к матрице главных граней.

На втором этапе последовательно выполняются две процедуры:

1. Производится расчет последней, n -й итерации.

2. Осуществляется преобразование полученной треугольной матрицы главных граней по формулам обратного хода метода Гаусса.

Исходные данные должны быть подготовлены в виде файла соответствующей структуры, тогда главная программа вначале запускает процедуру присвоения начальных значений на основе информации такого файла.

Следует отметить, что выбор несмежной грани приводит к несовместности системы линейных ограничений. В работе [7] показано, что

вычислительная трудоемкость строгих алгоритмов определения совместности имеет полиномиальную сложность. Следовательно [8], алгоритм метода главных граней имеет сложность, не превосходящую полиномиальную.

Выводы. В результате проделанной работы предложен новый алгоритм определения главных граней при решении задачи линейного программирования, имеющий эвристический характер.

Предложенный алгоритм в совокупности с методом главных граней имеет полиномиальную сложность и может явиться альтернативой симплекс-методу.

Следует учесть, что с помощью эвристического алгоритма можно с определенной вероятностью найти неоптимальную смежную грань, что даст квазиоптимальную точку решения задачи линейного программирования. Однако очевидно, что такая точка может служить исходной вершиной для определения, например, симплекс-методом, оптимальной вершины за конечное число итераций. Данный подход рационален и возможен благодаря свойству устойчивости предлагаемого алгоритма.

Список литературы: 1. *Grishin I., Potapov G.* Linear programming: a new polynomial-time algorithm // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганск: СНУ. – 2007. – №1 (107). – С. 113–119. 2. *Grishin I., Potapov G.* A new polynomial-time algorithm for linear programming / The 5th International conference IT&M Information technologies and management. Programme and Theses. Riga, Latvia, April 12-13, 2007. – P. 45–46. 3. *Ашманов С.А.* Линейное программирование. – М.: Наука, 1981. – 340 с. 4. *Черников С.Н.* Линейные неравенства. – М.: Наука, 1968. – 488 с. 5. *Хачиян Л. Г.* Сложность задач линейного программирования. – М.: Знание, 1987. – №. 10. 6. *Потапов Г.Г., Гришин І.Ю.* Вирішення задачі лінійного програмування методом послідовного визначення головних гіперграней / Деп. В ДНТБ України, реф. в РЖ "Депоновані наукові роботи", 2007. – № 1–2. – 10 с. 7. *Поляк Б.Т.* Рандомизированные алгоритмы решения выпуклых неравенств // Межвузовский сборник "Стохастическая оптимизация в информатике". – С.-Петербургский гос. университет, 2005. – С. 150–169. 8. *Ахо А., Хопкрофт Дж., Ульман Дж.* Построение и анализ вычислительных алгоритмов. – М.: Мир, 1979. – 536 с.

УДК 519.852.67

Евристичний алгоритм визначення головних граней при вирішенні задачі лінійного програмування / Гришин І.Ю. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008. – № 49. – С. 33 – 41.

Розглянутий алгоритм визначення внутрішнього многогранника з множини вкладених опуклих многогранників, заданих системою лінійних нерівностей. Такий алгоритм може ефективно використовуватися при вирішенні задачі лінійного програмування методом головних граней, що робить його реальною альтернативою симплекс-методу. Приведений приклад використання алгоритму, показана його обчислювальна ефективність. Іл.: 1. Табл.: 5. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: алгоритм, многогранник, система лінійних нерівностей, задача лінійного програмування, симплекс-метод.

UDK 519.852.67

Heuristic algorithm of main verges determination at the decision of linear programming task / Grishin I.Y. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2008. – №. 49. – P. 33 – 41.

The algorithm of determination of internal polyhedron is considered from the great number of the inlaid protuberant polyhedrons, linear inequalities set the system. Such algorithm can be effectively used for the decision of task of the linear programming of main verges a method, showing the real alternative to the simplex-method. The example of application of algorithm is resulted, its calculable efficiency is rotined. Figs: 1. Tabl.: 5. Refs: 8 titles.

Keywords: algorithm, polyhedron, set of linear inequalities, the linear programming task, simplex-method.

Поступила в редакцию 10.04.2008

Н.С. ГУРЬЕВА, ХНУРЭ (г. Харьков),
Н.Е. КУЛИШОВА, канд. техн. наук, ХНУРЭ (г. Харьков)

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ КОНТРАКТНОЙ ЦВЕТОПРОБЫ ПРИ РАБОТЕ С RGB-OUTPUT УСТРОЙСТВАМИ

Рассмотрен процесс построения контрактной цветопробы. Предложен итерационный метод построения профиля принтера для достижения заданной точности цветовоспроизведения и соответствия стандарту цифровой контрактной цветопробы ISO 12647-7. Описан процесс настройки системы управления цветом и преобразования цветовой информации для имитации тиражного оттиска.

Ключевые слова: контрактная цветопроба, профиль, точность цветовоспроизведения, система управления цветом.

Постановка проблемы построения цветопробы. В процессе подготовки изображения к тиражированию необходимо видеть, как будет выглядеть конечный результат. Решить данную задачу позволяет цветопроба (Color Proof). Принцип любой цифровой цветопробы основан на том, что с помощью устройства, охват которого заведомо больше, чем охват устройства назначения, эмулируют цветоискажения, характерные для целевого устройства. В данной работе, с помощью принтера Epson Stylus Pro 4880, охват которого на бумаге Sihl Maranella Satin Photo Paper ощутимо больше, чем охват евроофсета, был получен отпечаток, соответствующий офсетному тиражному оттиску.

Цветопроба – это моделирование искажений цвета, характерных для тиражного цветовоспроизводящего устройства, выполненное другим устройством. Основным компонентом цветопробной системы является профессиональный струйный принтер. В данном исследовании выбран принтер Epson серии Stylus Pro. Надежность и стабильность печати струйных систем цветопробы на базе таких принтеров подтверждена тестированием и сертификатами международных и национальных ассоциаций полиграфистов – SWOP (США), FORGA (Европа). Вторым по значимости и первым по стоимости компонентом системы цифровой цветопробы является растровый процессор. Основной причиной использования отдельного аппаратно-программного комплекса РИП (Raster Image Processor) является отсутствие аппаратной поддержки языка postscript драйвером принтера (ограничения архитектуры операционной системы). Как следствие, драйвер принтера не работает с цветовой информацией, представленной в цветовой модели СМУК [1, 2].

Таким образом, общепринятой практикой является использование растрового процессора для построения цветопробной системы и непосредственного управления подачей чернил. Однако использование

дорогостоящего специализированного программного обеспечения не всегда возможно и оправдано в силу различных причин, к которым относят редкое использование цветопробной системы и создание цветопробных оттисков с минимальной себестоимостью (в которую входят амортизационные затраты на оборудование и программное обеспечение).

Цель работы – разработка методики построения цветопробы на базе стандартных программ подготовки изображений к печати: Adobe Photoshop, Adobe Illustrator, CorelDRAW, в которые встроен модуль управления цветом для работы с профилями устройств. Данная методика должна обеспечить соответствие стандарту цифровой контрактной цветопробы ISO 12647-7 без использования дорогостоящего аппаратно-программного комплекса РИП.

Анализ работы современных систем управления цветом. Организация печатного процесса строится на том, что графический редактор, получив команду печати, передает *RGB*-данные файла драйверу принтера [1]. Цветовоспроизводящим устройством в случае цветопробной системы является комплекс, состоящий из печатающего аппарата (принтера) и его программного обеспечения (драйвера). Аппаратными данными такого устройства являются *RGB*-данные, значениям которых соответствуют жестко фиксированные значения плотностей красок, зафиксированные в таблицах соответствия драйвера принтера. Для такого устройства необходимо определить описание его цветовоспроизводящих свойств – построить профиль *RGB-output profile*, описывающий прямое и обратное преобразование аппаратно-зависимых данных и аппаратно-независимых цветовых координат. Для того чтобы такое преобразование могло быть выполнено любым приложением, структура профиля определена в открытой спецификации [2].

С целью обеспечения точного процесса репродуцирования изображений преобразование между цветами устройства и аппаратно-независимыми цветами должно проводиться с большой точностью, для этого используют многомерные таблицы соответствия, в которых находится $33 \times 33 \times 33$ каркасных точек. Профиль строится на основе отпечатка *тестовой шкалы*, представляющей собой выборку из цветового пространства устройства [3]. Далее при помощи спектрометрических промеров и обработки их специализированной программой устанавливается связь между координатами *RGB* и *Lab* для всех каркасных точек многомерной таблицы соответствия *CLUT*.

Структурная схема преобразования цвета от устройства к аппаратно-независимому пространству, в соответствии со спецификацией, представлена на рис. 1. Фактически при построении профиля вывода стандартными программами профилирования входные и выходные одномерные таблицы не используются, эти таблицы могут быть использованы при коррекции готового профиля.

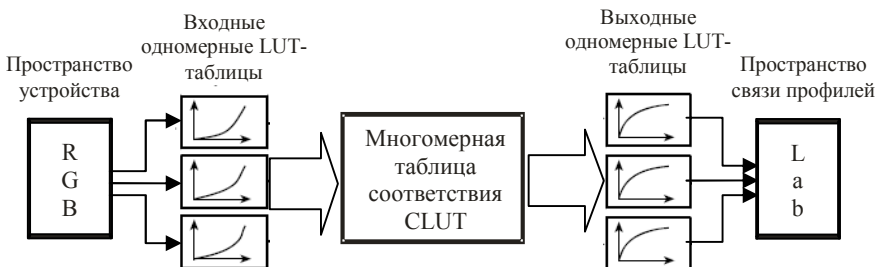


Рис. 1. Структурная схема преобразования цвета от устройства к аппаратно-независимому пространству PCS

Измеренные спектры отражения полей шкалы преобразуются в координаты XYZ методом взвешенных ординат по следующим формулам [4]:

$$\begin{aligned}
 X &= k \sum_{\lambda} \varphi(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot \Delta\lambda, \\
 Y &= k \sum_{\lambda} \varphi(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot \Delta\lambda, \\
 Z &= k \sum_{\lambda} \varphi(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot \Delta\lambda,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где $k = 100 / \sum_{\lambda} S(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot \Delta\lambda$, а $\sum_{\lambda} \varphi(\lambda) \cdot \Delta\lambda = \beta(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$ – каждая ордината кривой; $\Delta\lambda = 10$ нм; $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ – функции сложения, определяющие отклики фоторецептором стандартного наблюдателя, разработанного Международной комиссией по освещению (МКО 1931 г.); $\beta(\lambda)$ – спектральные коэффициенты отражения; $S(\lambda)$ – спектр стандартизованного излучения.

Отношения между PCS CIE XYZ и CIE Lab представлены набором уравнений (2), согласно спецификации ICC.1:2004-10 (Версия профайлов 4.2.0.0). В качестве релевантной белой точки используется белая точка носителя (а не источник освещения) [5, 6, 7]:

$$\begin{aligned}
 L &= 116 \left[f \left(\frac{Y_a}{Y_{mw}} \right) \right] - 16, \\
 a &= 500 \left[f \left(\frac{X_a}{X_{mw}} \right) - f \left(\frac{Y_a}{Y_{mw}} \right) \right], \\
 b &= 200 \left[f \left(\frac{Y_a}{Y_{mw}} \right) - f \left(\frac{Z_a}{Z_{mw}} \right) \right],
 \end{aligned} \tag{2}$$

где XYZ_a данные абсолютной колориметрии, XYZ_{mw} – трехстимульные значения белой точки носителя.

Трехстимульные значения позволяют пользователю определять степень цветового соответствия или несоответствия между стимулами, следовательно, с их помощью можно определить степень цветового соответствия между образцом и его репродукцией [8, 9].

Итерационный метод построения профиля принтера для достижения заданной точности цветовоспроизведения. Задача нахождения зависимости между сигналами RGB и значениями $CIE Lab$ при формировании ICC RGB -output профиля может быть сформулирована следующим образом: пусть определен набор N трехмерных зависимых от устройства цветowych образцов $\{R_i, G_i, B_i\} \in RGB, i = 1, \dots, N$, полученных в процессе характеристики устройства, и соответствующий набор трехмерных независимых от устройства образцов $\{L_i, a_i, b_i\} \in Lab, i = 1, \dots, N$.

Профиль, описывающий прямое преобразование $RGB - Lab$ и обратное преобразование $Lab - RGB$:

$$\begin{cases} L = \psi_L(R, G, B), \\ a = \psi_a(R, G, B), \\ b = \psi_b(R, G, B). \end{cases} \quad \begin{cases} R = \varphi_R(L, a, b), \\ G = \varphi_G(L, a, b), \\ B = \varphi_B(L, a, b), \end{cases} \quad (3)$$

считается корректно построенным и адекватно описывающим цветовоспроизводящие свойства системы тогда, когда для любого цвета $\{L_m, a_m, b_m\}$ после применения профиля, печати и измерения цветowych координат $\{L_{измер}, a_{измер}, b_{измер}\}$ выполняется условие:

$$\Delta E_m = \sqrt{(L_m - L_{измер})^2 + (a_m - a_{измер})^2 + (b_m - b_{измер})^2} \leq E_{st}, \quad (4)$$

где E_{st} допустимое отклонение цвета, в соответствии с действующим стандартом.

Предлагаемый метод решения состоит из выполнения следующих этапов:

1. *Печать тестовой шкалы*, представляющей собой равномерную выборку (1728 полей) из пространства RGB в диапазоне $0 \dots 255$ с шагом 23 единицы.

Затем проводят измерение спектров отражения полей шкалы. Измерения необходимо проводить три раза, при едином подходе к методике измерений, что делает возможным сопоставлять результаты. Также необходимо выполнять требования к условиям измерений согласно отраслевому стандарту ISO 12647-2 (второе издание). В данной работе использован спектрофотометр Eye One Pro, Gretag Mactheth с геометрией 45° и углом наблюдения стандартного наблюдателя в 2°, а образцы располагались на черной подложке под источником нормированного света D50.

Для преобразования спектральных коэффициентов отражения к координатам XYZ использован метод взвешенных ординат (уравнения (1)).

Дальнейшее преобразование XYZ координат к просмотро-независимым координатам Lab представлено уравнениями (2). Таким образом вычисляются Lab координаты полей шкалы для каждого измерения. Результаты трех измерений усредняются, и в случае отклонения измеренного значения от среднего на величину ΔE большую 1, проводится повторное измерение спектра отражения данного поля.

2. *Построение многомерных таблиц соответствия CLUT для прямого RGB – Lab и обратного Lab – RGB преобразования (рис. 1).*

Для прямого преобразования с помощью специализированного программного обеспечения решается задача интерполяции – на основе равномерной сетки из 1728 значений с шагом, равным 23, формируется равномерная сетка LUT-таблицы, содержащей 35937 значений с более мелким шагом – 7,97. Для обратного преобразования решается более сложная задача построения равномерной сетки для таблично заданных функций $R = \varphi_R(L, a, b)$, $G = \varphi_G(L, a, b)$, $B = \varphi_B(L, a, b)$. В данной работе для построения таблиц соответствия профиля принтера была использована программа фирмы X-Rite MonacoProfilер 4.8.

3. *Для оценки качества построенного профиля на соответствие стандарту ISO 12647-7 необходимо применить построенный профиль для печати контрольной шкалы.*

Стандартом ISO 12647-7:2007 "Технология полиграфии. Управление технологическим процессом по изготовлению растровых цветоделенных изображений, пробных и тиражных оттисков. Часть 7. Получение пробных оттисков непосредственно по цифровым данным" установлены следующие допуски – максимальные отклонения ΔE в соответствии с уравнением (4): для основных цветов CMYK – 5 единиц; для цвета бумаги – 3 ед.; среднее отклонение по всем полям – 3 ед.; максимальное отклонение по всем полям – 6 ед.

Для оценки достоверности работы цветопробной системы была использована новая расширенная трехстрочная версия контрольной шкалы Ugra/Fogra Media Wedge CMYK V3.0. Результаты сравнения измеренных и ожидаемых Lab координат приведены в табл. 1.

Сравнение по всем 72 полям контрольной шкалы позволяет сделать вывод о том, что не соответствуют заданным допускам на цветовоспроизведение 20,8% полей и необходима коррекция LUT-таблиц профиля.

4. *Итерационная коррекция с внесением предискажений в исходный набор Lab координат.*

Для проведения коррекции нужно определить области неудовлетворительного цветовоспроизведения в пространстве Lab . Например, для поля 6 – ожидаемые Lab координаты {47.99, 74.02, -2.98}, а измеренные {49.79, 71.15, -7.53}, $\Delta E = 5.67$. Выделяется область допустимых значений в пространстве Lab по следующему принципу – на пять единиц меньше

минимального из двух значений координаты и на пять единиц больше максимального значения: $42.99 < L < 54.79$, $66.15 < a < 79.02$, $-12.53 < b < 2.02$. Аналогичная процедура проведена для всех 15 полей со значительными отклонениями. Для автоматизации поиска полей шкалы, попадающих в установленные интервалы, и для формирования корректировочной шкалы использован программный пакет MATLAB.

Таблица 1

Отчет на соответствие стандарту цифровой цветопробы

Критерий	ΔE	Допуск	№ поля шкалы	Отметка о соответствии цветопробы стандарту
Цвет бумаги	2.46	3.0	69	соответствует
Среднее отклонение по всем полям	4.44	3.0	–	не соответствует
Наибольшее отклонение по всем полям	8.08	6.0	70	не соответствует
Cyan	4.49	5.0	1	соответствует
Magenta	5.67	5.0	6	не соответствует
Yellow	2.19	5.0	11	соответствует
Black	3.22	5.0	21	соответствует

Таким образом, полями корректировочной шкалы являются все поля *тестовой шкалы*, попавшие в заданные области допустимых значений – это области пространства, подвергающиеся коррекции. После формирования корректировочной шкалы, ее распечатывают с применением профиля принтера и вычисляют отклонение измеренных значений от ожидаемых по каждой цветовой координате (ΔL_i , Δa_i , Δb_i).

Последним шагом является внесение поправок в исходный набор *Lab* координат на величины ΔL_i , Δa_i , Δb_i и повторение шагов 2 – 4 до получения необходимого результата (табл. 2).

Таким образом получают профиль принтера, который удовлетворяет требования стандарта контрактной цветопробы по всем критериям (допускам) и используется в дальнейшем для имитации офсетной печати.

Сходимость итерационного метода выборочной коррекции показана на рис. 2.

Как видно из рисунка, сходимость метода для различных цветовых областей различна. В данном эксперименте первые три итерации обеспечивают требуемую точность, однако в зависимости от типа принтера и качества используемой фотобумаги количество итераций может варьироваться.

Отчет на соответствие стандарту цифровой цветопробы после трех итераций

Критерий	ΔE	Допуск	№ поля шкалы	Отметка о соответствии цветопробы стандарту
Цвет бумаги	2.46	3.0	69	соответствует
Среднее отклонение по всем полям	2.95	3.0	–	соответствует
Мах отклонение по всем полям	5.01	6.0	70	соответствует
Cyan	4.65	5.0	1	соответствует
Magenta	4.87	5.0	6	соответствует
Yellow	2.49	5.0	11	соответствует
Black	3.12	5.0	21	соответствует

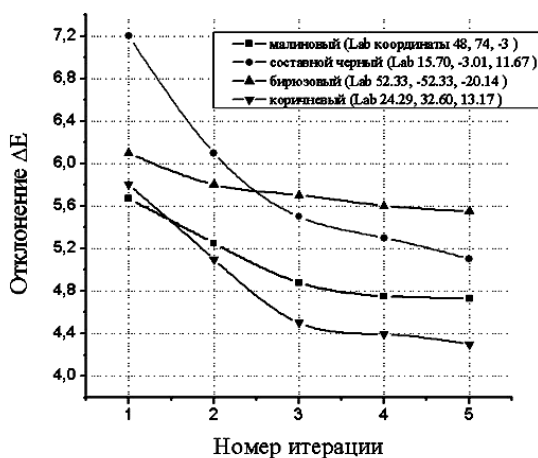


Рис. 2. Сходимость итерационного метода в зависимости от числа итераций

Преобразование цветовой информации для имитации тиражного оттиска. Принцип действия системы цветопробы на основе драйвера принтера не зависит от используемой программы подготовки изображений к выводу. Используя цветовой профиль тиражного (имитируемого) процесса, система управления цветом пересчитывает данные *CMYK* в аппаратно-независимое цветовое пространство *Lab*. А затем, используя цветовой профиль струйного принтера, из координат *Lab* рассчитываются *RGB*-значения, которые должны подаваться на принтер для получения цвета, соответствующего тиражному. Пользовательский интерфейс в разных программах имеет незначительные

различия, поэтому ниже рассмотрен процесс настройки печати на примере программы Adobe PhotoShop CS3:

1. Подготовка к печати файла в цветовом пространстве *CMYK* с профилем печатной машины, либо (при отсутствии такового) с абстрактным *CMYK* профилем.

В данной работе в качестве цветового профиля имитируемого тиражного процесса использован абстрактный *CMYK* профиль ECI Coated offset profile – ISOcoated_v2_eci, разработанный на основе усредненных статистических данных (стандарт европейской офсетной печати ISO 12647-2 ECI).

2. Конвертация аппаратно-зависимых значений *CMYK* к аппаратно-независимым цветовым координатам *Lab* (Convert to profile) с Абсолютной колориметрической целью цветопередачи – для имитации цвета тиражной бумаги.

3. Конвертация аппаратно-независимых значений *Lab* к аппаратно-зависимым цветовым координатам *RGB* Epson (Convert to profile) с Относительной колориметрической целью цветопередачи.

4. Печать при отключенной системе управления цветом как в Adobe PhotoShop CS3, так и в драйвере принтера. Все настройки необходимо оставить такими же, как и при печати тестовой шкалы для построения профиля принтера.

Описанная выше последовательность действий 1 – 4 обеспечивает корректное преобразование цветовой информации в процессе изготовления цифровой цветопробы.

Выводы. В работе описана методика построения цветопробной системы на базе стандартной программы подготовки изображений к печати с модулем управления цветом и профессионального струйного принтера. Предложен итерационный метод внесения поправок в исходные данные и реализован на высокоуровневом языке программирования MATLAB. Данный метод позволяет получить профиль принтера, который удовлетворяет стандарту контрактной цветопробы по всем критериям и используется в работе цветопробной системы для имитации тиражного процесса.

Список литературы: 1. Фрэнсер Б. Управление цветом. Искусство допечатной подготовки. – К.: "ДиаСофт", 2003. – 464 с. 2. ICC (International Color Consortium), Specification ICC.1:2004-10 (Profile version 4.2.0.0) "Image technology colour management – Architecture, profile format, and data structure". – 2004. 3. Gaurav Sharma. The Digital Color Imaging Handbook. – New York: CRC Press, 2003. – 592 p. 4. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике. – М.: Мир, 1978 – 484 с. 5. Takagi M., Shimoda Y. "Handbook of Image Analysis". – Tokyo: Tokyo University Press, 1995. 6. Braun K.M., Fairchild M.D., Alessi P.J. "Viewing Techniques for Cross-Media Image Comparisons". // Color Res. – 1996. – Appl. 21. – P. 6–17. 7. Alessi P.J. (CIE TC 1-27), "CIE Guidelines for Coordinated Research on Evaluation of Colour Appearance Models for Reflection Print and Self-Luminous Display Image Comparisons" // Color Res. – 1994. – Appl. 19. – P. 48–58. 8. Fairchild M.D. "Some Hidden Requirements for Device-Independent Color Imaging" / SID 94 Digest. – 1994. – P. 865–868. 9. Феррильдо Марк Д. Модели цветового восприятия / Превод с англ. А. Шадрина. – М.: Вильямс, 2006. – 439 с.

УДК 655.3.022.11

Особливості побудови контрактної кольоропроби при роботі із RGB-OUTPUT пристроями / Гур'єва Н.С., Кулішова Н.С. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008. – № 49. – С. 42 – 50.

Розглянуто процес побудови контрактної кольоропроби. Запропоновано ітераційний метод побудови профілю принтера для досягнення заданої точності кольоровідтворення й відповідності стандарту цифрової контрактної кольоропроби ISO 12647-7. Описано процес налаштування системи керування кольором і перетворення колірної інформації для імітації тиражного відбитка. Л.: 2. Табл.: 2. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: контрактна кольоропроба, профіль, точність кольоровідтворення, система керування кольором.

UDC 655.3.022.11

Particularities of the building contract color proof relative to RGB-OUTPUT devices / Gurieva N.S., Kulishova N.E. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2008. – №. 49. – P. 42 – 50.

It was considered process of the contract color proof building. It was offered the iterative method of the printer profile creating for achievement given accuracy reproduction and correspondences to standard of digital contract proof ISO 12647-7. The process adjusting color management system for imitation print copy was described. Figs: 2. Tabl.: 2. Refs: 9 titles.

Key words: contract color proof, profile, accuracy of color reproduction, color management system.

Поступила в редакцію 10.10.2008

А.Ф. ДАНИЛЕНКО, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ",
А.Г. ДЬЯКОВ, канд. техн. наук, ХГАТП, (г. Харьков)

АЛГОРИТМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОБРАЗЦА В ЯМР-СПЕКТРОМЕТРЕ

Проведен анализ влияния параметров измерительной установки ЯМР-спектрометра на интенсивность принимаемого эхо-сигнала. Предложен алгоритм оптимизации позиционирования ампулы с образцом в магнитном поле катушки. Применен поиск экстремума сигнала в установке ЯМР-спектрометра на основе чисел Фибоначчи с целью получения максимальной амплитуды принимаемого эхо-сигнала. Рассмотрена возможность реализации данного алгоритма на микроконтроллере и введения устройства позиционирования в систему управления ЯМР-спектрометром.

Ключевые слова: измерительная установка, ЯМР-спектрометр, эхо-сигнал, алгоритм оптимизации, позиционирование ампулы, магнитное поле, поиск экстремума, числа Фибоначчи, микроконтроллер, устройство позиционирования.

Постановка проблемы и анализ литературы. При исследовании образцов на установке ядерного магнитного резонанса (ЯМР) необходимо учитывать их расположение в магнитном поле. Определение наилучшей точки положения образца позволяет значительно повысить амплитуду эхо-сигнала, повысить точность измерения его параметров и сократить время на получение информации о структуре исследуемого вещества.

Образец с исследуемым веществом при проведении исследований пищевых продуктов на установке ЯМР-спектрометра находится одновременно под действием постоянного и переменного магнитного поля [1]. Величина постоянного магнитного поля определяет частоту и интенсивность переменного магнитного поля, которое должно создаваться измерительной катушкой ЯМР-спектрометра. Основными параметрами исследования являются времена спин-спиновой (T_2) и спин-решеточной релаксации (T_1) определяемых из следующих соотношений:

$$T_1 = -\frac{\Delta T_i}{\ln(1 - A_i/A_0)}; \quad T_2 = -\frac{2(\Delta \tau_i)}{\ln(A_i/A_0)}, \quad (1)$$

где ΔT_i – интервал между сериями зондирующих импульсов; A_0 – начальная амплитуда импульса; A_i – амплитуда импульса при i -м интервале между зондирующими импульсами; $\Delta \tau_i$ – интервал времени между зондирующими импульсами.

Из соотношений (1) видно, что ошибка в определении амплитуды импульсов сказывается на точности определения времен релаксации. Поэтому образец должен быть установлен так в магнитном поле катушки, чтобы амплитуда принимаемого сигнала была максимальной. В этом случае будет обеспечено наилучшее соотношение сигнал-шум и точность определения времен релаксации будет наилучшей. В большинстве случаев

позиционирование образца обеспечивается путем визуального наблюдения за амплитудой сигнала и последующей корректировкой положения образца в измерительной катушке [2].

В [3] приведено соотношение которое позволяет оценить амплитуду принимаемого сигнала ЯМР в зависимости от параметров спектрометра:

$$U = Q\gamma B^2 \chi n V_e / L_k, \quad (2)$$

где: Q – добротность измерительного контура спектрометра; γ – гиромагнитное отношение, определяющее резонансную частоту изотопа в магнитном поле; B^2 – суммарная магнитная индукция, образуемая магнитными моментами протонов после возбуждения образца; χ – магнитная спиновая восприимчивость; n – число витков приемной катушки; V_e – объем исследуемого образца, на который воздействует высокочастотное поле; L_k – длина приемной катушки.

Из выражения (2) следует, что при неизменных параметрах измерительной системы спектрометра точка позиционирования образца влияет на величину принимаемого сигнала. Поэтому систему управления спектрометром целесообразно дополнить блоком позиционирования с реализованным в нем алгоритмом определения наилучшей точки установки образца в магнитном поле катушки.

Целью работы – является определение, выбор и обоснование алгоритма работы устройства позиционирования образца в магнитном поле катушки для получения максимальной амплитуды принимаемого сигнала с возможностью реализации его на микроконтроллере и дальнейшем введением его в систему управления ЯМР-спектрометром.

Для оценки влияния высоты расположения образца в катушке предварительно были проведены опыты с разным объемом заполнения ампулы. Она заполнялась водой на высоту 6,5; 10 и 12,5 мм. Далее путем постепенного перемещения ампулы с образцом в катушке определялось положение, при котором выходной эхо-сигнал был максимальным. Результаты обработки экспериментальных данных в относительных единицах приведены на рисунке. По оси ординат откладывались значения амплитуды сигнала, а по оси абсцисс отложено число оборотов механизма перемещения ампулы с образцом. Один оборот механизма перемещения соответствует смещению образца на 1,5 мм.

Приведенная на рис. кривая 1 показывает график изменения амплитуды сигнала в зависимости от положения образца в поле катушки при заполнении ампулы на 6,5 мм. Графики 2, 3 – соответствуют заполнению ампулы на 10 и 12,5 мм соответственно. Из приведенных графиков видно, что при заполнении ампулы на 10 мм максимальная относительная амплитуда сигнала достигает максимума при установлении ампулы на высоте приблизительно 3 мм от начального значения. При этом максимальное значение амплитуды достигается примерно в средней части интервала перемещения. Это значение и

является наиболее целесообразным при проведении измерений свойств вещества. В свою очередь, наибольшее абсолютное значение сигнала было получено при заполнении ампулы на 12,5 мм. Однако, погрешности позиционирования, в этом случае значительно больше, из-за большей остроконечности изменения зависимости сигнала от положения ампулы с исследуемым образцом в поле катушки ЯМР-спектрометра.

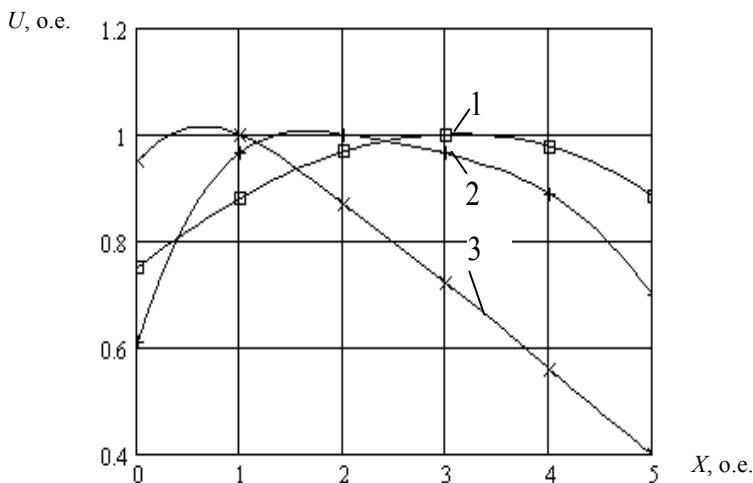


Рис. Зависимость амплитуды сигнала образца от положения ампулы при различной степени её заполнения

Исследования показали, что при анализе твердых образцов, которые не могут полностью заполнить ампулу, также целесообразно не превышать уровень 10 мм, потому что возможен выход образца за границы однородности магнитного поля создаваемого постоянным магнитом.

В качестве алгоритма для определения наилучшего положения образца был исследован алгоритм поиска экстремума на основе чисел Фибоначчи. Числа Фибоначчи определяются следующей последовательностью [4]:

$$F_0 = F_1 = 1; F_N = F_{N-1} + F_{N-2}; N > 1.$$

Использование чисел Фибоначчи в технических устройствах позволяет реализовать алгоритм для организации оптимального поиска экстремума функции одной переменной.

Доказано, что если требуется найти положение экстремума функции $H(x)$, определенной на интервале (a, b) с абсолютной ошибкой не превышающей

$$\Delta = \frac{b-a}{F_N}, \quad (3)$$

где F_N – N -е число Фибоначчи, то для отыскания положения экстремума достаточно вычислить не более N значений функции $H(x)$.

Алгоритм определения положения наилучшей точки для проведения измерения состоит из следующих этапов:

1. Вводится начальная a и конечная b точки позиционирования образца. Задается интервал Δ , в пределах которого необходимо найти наилучшую точку позиционирования образца. Для реальных графиков, представленных на рис, величину Δ можно принять равной 0,1 от общего интервала (a, b) измерения.

2. Определяется число Фибоначчи, которое будет использоваться при поиске точки максимума из выражения

$$F_N = \frac{b - a}{\Delta}.$$

3. Определяется шаг поиска по формуле (3)

4. Определяется значение амплитуды $A(a)$ в начальной точке интервала a .

5. Определяется координата первой точки проведения измерения

$$X^1 = a + \Delta_N F_{N-1}.$$

6. Сравниваются значения полученных амплитуд в точках X^1 и a . Если $A(X^1) > A(a)$, то шаг считается удачным и следующая точка Δ определяется из выражения:

$$X^2 = X^1 + \Delta_N F_{N-3}.$$

Если $A(X^1) < A(a)$, то шаг неудачный – следующая точка Δ определяется из выражения:

$$X^2 = X^1 - \Delta_N F_{N-3}.$$

7. Последующие шаги выполняются с уменьшающейся величиной шага $\Delta X^i = \pm \Delta_N F_{N-2-i}$ по следующему правилу: если предыдущий шаг удачный, то следующий $(i+1)$ -й шаг выполняется из точки $X^{i+2} = X^{i+1} + \Delta X^i$; если шаг неудачный, то из точки $X^{i+2} = X^i - \Delta X^{i+1}$.

Указанный процесс продолжается до тех пор, пока не будут исчерпаны все числа Фибоначчи в убывающей последовательности.

Проведенные исследования и измерения дают возможность поставить вопрос о разработке автоматической системы [5 – 7], построенной на основе микроконтроллера, для установки образца в зону максимального сигнала. В качестве первого варианта подобной системы можно рассмотреть систему, которая будет давать рекомендации исследователю для установки образца в ручном режиме.

Выводы. Проведен анализ влияния степени заполнения ампулы веществом для исследования величины сигнала ЯМР. Установлено, что для данной конфигурации измерительной системы наиболее целесообразно проводить заполнение ампулы на высоту 10 мм. Определена степень влияния

положения образца на амплитуду выходного сигнала ЯМР- спектрометра. Предложен способ и алгоритм минимизации времени и усталости образца при подготовке эксперимента. Применение данного алгоритма позволяет на 40 % снизить затраты времени на позиционирование образца и повысить стабильность условий проведения измерений.

Список литературы: 1. *Ваишман А.А., Пронин И.С.* Ядерная магнитная релаксация и ее применение в химической физике. – М.: Наука, 1979. – 223 с. 2. *Дьяков А.Г., Даниленко А.Ф.* Автоматизированный выбор параметров измерительной установки ЯМР // Вестник НТУ "ХПИ" .– Харьков: НТУ "ХПИ". – 2006. – Вып. – 40. – С. 65-69. 3. *Неронов Ю.И., Гарайбех З.* Ядерный магнитный резонанс в томографии и в спектральных исследованиях. Учебное пособие. С-Пб.: Санкт-Петербургский государственный институт точной механики и оптика, 2003. – 84 с. 4. *Бояринов А.И., Кафаров В.В.* Методы оптимизации в химической технологии. – М.: Химия, 1975. – 576 с. 5. *Олсон Г., Лиани Д.* Цифровые системы автоматизации процесса управления. – СПб.: Невский диалект, 2002. – 254 с. 6. *Лыков А.В.* Тепломассообмен. Справочник. – М.: Энергия, 1972. – 600 с. 7. *Грон Д.* Методы идентификации систем. – М.: Мир. 1979. – 302 с.

УДК 621.314.7

Алгоритм позиціонування зразка в ЯМР-спектрометрі / Даниленко О.Ф., Д'яков О.Г.
// Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008. – № 49. – С. 51 – 55.

Проведено аналіз впливу параметрів вимірювальної установки ЯМР-спектрометра на інтенсивність сигналу луни, що приймається. Запропоновано алгоритм оптимізації позиціонування ампули із зразком в магнітному полі котушки. Застосовано пошук екстремуму сигналу в установці ЯМР-спектрометра на основі чисел Фібоначчі з метою отримання максимальної амплітуди сигналу луни. Розглянута можливість реалізації даного алгоритму на мікроконтролері і введення пристрою позиціонування в систему управління ЯМР-спектрометром. Іл.: 1. Бібліогр.: 7 назв.

Ключові слова: вимірювальна установка, ЯМР-спектрометр, луна-сигнал, алгоритм оптимізації, позиціонування ампули, магнітне поле, пошук екстремуму, числа Фібоначчі, мікроконтролер, пристрій позиціонування.

UDC 621.314.7

Algorithm of positioning of standard in NMR-spectrometer / Danilenko A.F., Djakov A.G
// Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2008. – №. 49. – P. 51 – 55.

The analysis of influencing of parameters of the measuring setting is conducted NMR-spectrometer on intensity of the adopted echo-signal. The algorithm of optimization of positioning of ampoule is offered with a standard in the magnetic field of spool. The search of extremum of signal is applied in setting NMR-spectrometer on the basis of numbers Fibonacci with the purpose of receipt of maximal amplitude of the adopted echo-signal. Marketability this algorithm is considered on microcomptroller and introductions of device of positioning to the control system of NMR-spectrometer. Figs: 1. Refs: 7 titles.

Key words: the measuring setting, NMR-spectrometer, echo-signal, algorithm of optimization, positioning of ampoule, magnetic field, search of extremum, Fibonacci numbers, microcomptroller, device of positioning.

Поступила в редакцію 10.10.2008

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

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПОДБОРА ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ

Рассмотрены особенности применения искусственных нейронных сетей при многокритериальном подборе лекарственных препаратов пациенту с установленным развернутым диагнозом при учете его индивидуальных особенностей. Предложена процедура формирования входных векторов и назначения фармакологических комплексов с использованием нейронных сетей.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, лекарственный препарат, многокритериальный подбор, диагноз, входной вектор, фармакологический комплекс.

Постановка проблемы и анализ литературы. В настоящее время для лечения различных типов заболеваний используется более 7 тысяч лекарственных препаратов в 15 тысячах лекарственных форм, производимых в 76 странах мира [1]. Существующие медицинские справочники фармацевта, в том числе в виде информационно-поисковых систем [1], представляют врачу структурированный список (классы, подклассы и т.д.) лекарственных препаратов и текстовое описание свойств препаратов (аналог вкладыша к препарату), в котором содержится неформализованная информация о фармакологических действиях, нормах приема, показаниях и противопоказаниях, побочных действиях и т.д. Таким образом, при одинаковых диагнозах у разных пациентов, врачи потенциально имеют широкий спектр выбора лекарственных препаратов для назначения процесса лечения. При этом назначение лекарственного препарата конкретному пациенту выполняется врачом на интуитивном уровне и, во многом, определяется его квалификацией. Поэтому задача оптимального формирования терапевтических комплексов при многокритериальной оценке лекарственных препаратов с учетом не только диагноза, но и индивидуальных особенностей пациента является актуальной при создании интеллектуальных систем поддержки принятия решений в медицине. Для решения подобного класса задач на основе современных информационных технологий, эффективно используется аппарат искусственных нейронных сетей (ИНС) [2 – 5]. Перспективным классом ИНС являются сети адаптивной резонансной теории (Adaptive Resonance Theory (ART)), в которых в значительной мере решены проблемы стабильности – пластичности и обнаружения новой информации [4, 6, 7]. Основными задачами, решаемыми ИНС, являются задачи классификации и распознавания, при которых объект A_i , который характеризуется вектором признаков X_i , относится к классу Ω_k . Формализация задачи формирования вектора признаков X_i и сведение задачи формирования терапевтических комплексов к задаче классификации с целью ее решения на

ИНС является актуальной и нерешенной.

Цель статьи – формализация задачи многокритериального подбора лекарственных препаратов пациенту с учетом диагноза и индивидуальных особенностей пациента и решение указанной задачи с использованием искусственной нейронной сети.

Формализация задачи многокритериального подбора лекарственных препаратов. При реализации терапевтических процедур врачу необходимо решить задачу подбора лекарственных препаратов (сформировать терапевтический комплекс) с учетом установленного диагноза и индивидуальных особенностей пациента. В формализованном виде указанная задача является задачей формирования множества лекарственных препаратов $Y_i = \{y_1, \dots, y_{ni}\}$ которые обеспечивают процесс выздоровления пациента A_i (переход из состояния D_i в состояние D_0 – практически здоров), при этом необходимо оптимизировать некий интегральный критерий качества Q процесса реабилитации (процесса лечения)

$$Q = \min(t, C, \alpha, \beta), \quad (1)$$

где t – время процесса реабилитации;

C – стоимость процесса реабилитации;

α – риск негативных последствий применения лекарственных препаратов во время процесса лечения;

β – риск негативных последствий применения лекарственных препаратов в после реабилитационный период.

Исходными данными для решения поставленной задачи являются развернутый диагноз пациента D_i , который включает в себя основное заболевание, его нозологическую форму, стадию, дополнительные заболевания [8], и его индивидуальные характеристики: возраст, пол, анамнез, по которому определяется риск сенсализации к отдельным препаратам, социальный статус и т.д. На основании исходных данных формируется необходимое множество фармакологических воздействий $F_{Di} = \{f_1, \dots, f_m\}$, которые направлены как на подавление причин заболевания (антивирусные, антибактериальные и др. действия), так и на подавления симптомов (жаропонижающие, нормализация давления, ритма и т.д.). В общем случае, любое лекарственное воздействие обеспечивает более комфортные условия иммунной системе организма для возвращения в состояние D_0 и снижения риска осложнений.

Кроме того, каждый лекарственный препарат характеризуется вектором свойств: терапевтическим действием, ценой, брендом производителя, направленностью действия, использованием натуральных ингредиентов, временем выведения из организма и т.д. Терапевтическое действие обеспечивается одним или несколькими активными веществами (в данном

случае имеем препараты комплексного воздействия), причем на основе одного активного вещества может производиться целый класс препаратов. Таким образом, каждый лекарственный препарат y_i характеризуется вектором терапевтических действий $F_{y_i} = \{f_1, \dots, f_g\}$ и вектором характеристик $S_{y_i} = \{s_1, \dots, s_r\}$, которые могут быть получены в результате экспертных оценок [9]. При этом, отдельные препараты y_k и y_l могут взаимодействовать между собой и это взаимодействие характеризуется показателем V_{kl} , значение которого можно задать в интервале $[-1, 1]$. При $V_{kl} = 0$ – препараты y_k и y_l не взаимодействуют, при $V_{kl} > 0$ – препараты y_k и y_l усиливают действия друг друга, при $V_{kl} < 0$ – препараты y_k и y_l ослабляют действия друг друга, а в предельном случае $V_{kl} = -1$ – их совместное применение недопустимо. Кроме того, у каждого пациента может наблюдаться непереносимость к отдельным препаратам. При подборе лекарственных средств необходимо сформировать подмножество препаратов $Y_i = \{y_1, \dots, y_{n_i}\}$, при выполнении условия $\forall k, l V_{kl} \geq 0, k, l = \overline{1, N}$, где N – общее число доступных препаратов, совместное терапевтическое действие которых $F_{y_1} \cup \dots \cup F_{y_i} \cup \dots \cup F_{y_{n_i}}$ покрывает множество необходимых терапевтических действий для пациента F_{D_i} . Вариантов такого покрытия может быть много, но надо обеспечить такое покрытие, которое минимизирует критерий качества Q .

С учетом отмеченных выше особенностей, рассмотрим реализацию многокритериального подбора лекарственных препаратов с использованием ИНС ART. Для заданного развернутого диагноза D_i пациента с помощью информационной системы формируется множество необходимых терапевтических воздействий F_{D_i} для i -го пациента, и на его основе – бинарный входной вектор X ИНС. Компоненты вектора X соответствуют элементам множества терапевтических воздействий $F_D = \{f_1, \dots, f_k\}$, которые могут применяться к множеству диагнозов $D = \{D_1, \dots, D_l\}$, в данной предметной области (например, в дерматологии). Единичными компонентами вектора X являются те компоненты, которые соответствуют элементам подмножества F_{D_i} ($f_l \in F_{D_i}$, $l = \overline{1, k}$). Выходными нейронами ИНС являются нейроны Y , соответствующие множеству возможных препаратов, применяемых в данной предметной области $Y^0 = \{y_1, \dots, y_n\}$, и которые обеспечивают покрытие F_D . На этом заканчивается этап подготовки исходных данных для ИНС. Упрощенная структура ИНС ART (не показаны управляющие нейроны) и особенности формирования векторов X и Y представлены на рис. 1. ИНС ART состоит из трех слоев нейронов [3, 7] (дискретные F_0 и F_1 – для хранения векторов X и Z соответственно; непрерывный F_2 – для хранения вектора выходных сигналов Y).

Слои нейронов F_0 и F_1 соединены однонаправленными связями w_{ii}^0

между одноименными элементами x_i и z_i , $i = \overline{1, n}$, где n – число нейронов в слоях F_0 и F_1 . Слои F_1 и F_2 соединены двунаправленными связями w_{ij}^1 и w_{ji}^2 , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$ (каждый с каждым), где m – число распознающих нейронов слоя F_2 . Связи w_{ij}^1 формируются в процессе обучения ИНС и определяют величину выходного сигнала нейрона y_j ($j = \overline{1, m}$) от соответствующих компонент вектора X , а связи w_{ji}^2 определяют дискретный эталон класса при активации нейрона y_j .

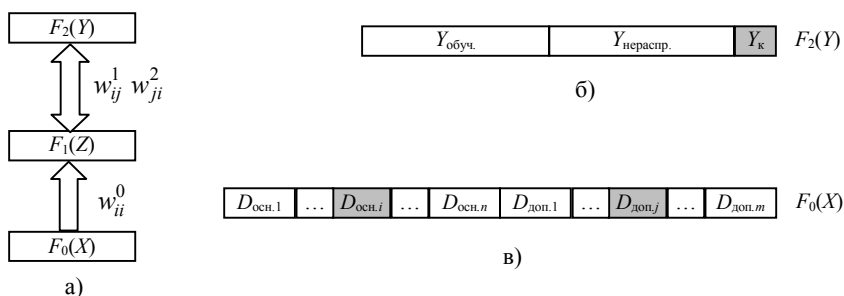


Рис. 1. ИНС ART а) упрощенная структура; б) структура слоя Y ; в) структура слоя X .

На рис. 1 б показан выходной слой F_2 , который состоит из поля обученных нейронов $Y_{обуч.}$, поля нераспределенных нейронов $Y_{нераспр.}$, которое является резервом и распределяется при появлении новых лекарственных препаратов, и выходного нейрона терапевтического комплекса $Y_к$, назначение которого описано ниже.

На рис. 1 в показан входной слой F_0 , компоненты которого x_i сгруппированы по соответствующим диагнозам (основным и дополнительным). Поэтому при формировании терапевтического комплекса i -го пациента единичные значения принимают соответствующие поля вектора X (выделены на рис. 1 в). В отличие от "классической" структуры ИНС, где элементы слоев F_1 и F_2 объединены каждый с каждым (полносвязная схема), в данной структуре связь слоев сильно прорежена, так как она отражает покрытие элементами слоя F_2 элементов слоя F_0 и F_1 соответственно.

Допустим, что ИНС обучена на обучающей выборке, при этом обеспечивается минимум критерия Q при выборе препарата u_i с заданным F_{y_i} (особенности формирования глобальных приоритетов y_i и соответствующих весов w_{ij}^1 при экспертной оценке компонент вектора характеристик S_{yi} с использованием метода анализа иерархий рассмотрены в [9]), тогда процесс

формирования терапевтического комплекса Y_k является итерационным и выглядит следующим образом:

Шаг 1. Входной вектор X подается на вход ИНС и выполняется его классификация, при этом определяется выходной нейрон-победитель y_j , который с учетом весов связей w_{ij}^1 обеспечивает максимальное покрытие компонент входного вектора. Так как y_j обеспечивает покрытие только части вектора X , то параметр сходства p входного вектора и эталона не достигается, поэтому он на данном этапе не проверяется.

Шаг 2. Нейрон y_j включается в терапевтический комплекс Y_k , а сам нейрон затормаживается (блокируется). Одновременно с нейроном y_j затормаживаются все те нейроны y_k , для которых $V_{kj} < 0, k = \overline{1, m}, k \neq j$. Для реализации процедуры формирования терапевтического комплекса Y_k , те компоненты вектора X_{y_j} , которые соответствуют терапевтическим действиям F_{y_j} нейрона победителя y_j обнуляются, то есть $X^n = X^{old} \oplus X_{y_j}$, где X^n и X^{old} новое и старое значение входного вектора соответственно, \oplus – операция покомпонентного сложения векторов по модулю 2.

Шаг 3. Модифицированный входной вектор X^n подается на ИНС и в результате выполнения шагов 1 и 2 определяется второй выходной нейрон-победитель y_l , который включается в терапевтический комплекс.

Процедура продолжается до достижения критерия останова (выполнено покрытие F_{D_i} , что соответствует обнулению всех компонент вектора X).

Шаг 4. В качестве нейрона терапевтического комплекса Y_k выбирается нераспределенный нейрон, который имеет связи со всеми компонентами вектора X . Формирование весов связей указанного нейрона заключается в том, что он наследует связи w_{ij}^1 и w_{ji}^2 всех компонент сформированного терапевтического комплекса. Для нейрона Y_k определяется параметр сходства p , а также компоненты сформированного терапевтического комплекса (множество нейронов-победителей, полученное на шагах 1, 2). Они являются выходными данными системы поддержки принятия решения и предъявляются врачу для принятия окончательного решения. Время жизни Y_k равно времени принятия решения для i -го пациента, после чего ему восстанавливаются веса связей нераспределенных нейронов.

Шаги 1 – 4 соответствуют режиму классификации ИНС, которая обучена на основании экспертных оценок компонент векторов характеристик $S_{y_i} = \{s_1, \dots, s_r\}$ лекарственных препаратов. Указанная процедура может быть реализована с применением режимов обучения (шаг 5) без учителя и с учителем.

Шаг 5. Классификация с обучением ИНС. Режимы обучения ИНС позволяют корректировать веса связей Y_k с учетом статистики обслуживания пациентов и действий ЛПР. Окончательным этапом обучения является возврат

откорректированных связей Y_k нейронам-компонентам терапевтического комплекса y_j и перевод Y_k в состояние нераспределенного нейрона.

Пример формирования исходных данных ИНС в дерматологии. В реальной медицинской базе данных на 194 пациента имеется 3 основных диагноза, при этом 117 пациентов имеют сопутствующие заболевания. Распределение пациентов по диагнозам представлено в табл. 1. Указанные диагнозы (основные и сопутствующие) соответствуют 41 фармакологическому действию. Для реализации указанных фармакологических действий, в базу данных лекарственных средств внесено 340 лекарственных препаратов.

Таблица 1

Характеристика медицинской базы данных

Код МКБ	Диагноз	Количество пациентов	Имеющие сопутствующие заболевания
L 240,9	Псориаз	116	68
L 30,9	Экзема	45	27
T 88,7	Лекарственная болезнь	33	22

Для указанных в табл. 1 основных диагнозов на основании [10] в табл. 2 представлены схемы терапевтического воздействия.

Таблица 2

Рекомендованные терапевтические воздействия

Псориаз	Экзема	Лекарственная болезнь
Цель терапевтического воздействия		
Рассасывание инфильтративных элементов высыпаний, отсутствие гиперемии, лущение бляшек, отсутствие субъективных проявлений заболевания.	Коррекция нервных и нейроэндокринных нарушений, санация очагов хронической инфекции. Ограничения контакта с водой.	Прекращение воздействия этиологических факторов – медикаментозных препаратов и выведение из организма остатков этих веществ.
Фармакологические действия системной терапии		
Седативное, антистрессовое, транквилизирующее, дезинтоксикационное, вегетотропное, гипосенсибилизирующее, антигистаминное, улучшающее периферическое кровообращение, гепатопротекторное, витамины, иммуномодулирующее.	Дезинтоксикационное, гипосенсибилизирующее, антигистаминное, глюкокортикоидное, транквилизирующее, седативное, ферментное, иммуномодулирующее, витамины, сорбенты.	Глюкокортикоидное, гипосенсибилизирующее, энтеросорбенты, дезинтоксикационное, антигистаминное, противовоспалительное, седативное.
Внешняя терапия		
Кортикостероидные и кератолитические кремы, для мытья головы – шампуни с детгем, с пиритион цинком, с кетоконазолом.	Примочки растворов борной кислоты, нитрата серебра, калия перманганата, комбинированные кортикостероидные препараты.	Цинко-водная суспензия, примочки, аэрозоли, глюкокортикоидные кремы, мази, содержащие антибиотики.

Примеры фармакологических действий лекарственных средств представлены в табл. 3.

Таблица 3

Фармакологические действия лекарственных средств

Диагноз	Препарат	Фармакологические действия
Псориаз	Кардонат (70)	Анаболическое, антигипоксическое, кардио- и гепатопротекторное, метаболическое, улучшающее кровообращение, комплекс витаминов.
	Аевит (69)	Витамины.
	Реосорбилакт (48)	Реологическое, противошоковое, дезинтоксикационное.
	Атоксил (48)	Дезинтоксикационное, энтеросорбент.
	Магния сульфат (40)	Седативное, вегетотропное, гипосенсибилизирующее.
	Адаптол (31)	Антиоксидантное, психотропное, транквилизирующее.
	Лоратадин (19)	Антигистаминное.
	Глицисед (18)	Антистрессовое, седативное.
	Сондокс (10)	Седативное, снотворное.
	Циклоспорин (5)	Иммуномодулирующее.
...
Экзема	Тавегил (27)	Антигистаминное, противоаллергическое.
	Тиосульфат натрия (27)	Дезинтоксикационное, противовоспалительное, гипосенсибилизирующее.
	Атоксил (24)	Дезинтоксикационное, энтеросорбент.
	Супрастин (24)	Антигистаминное, седативное, противоаллергическое.
	Реосорбилакт (23)	Реологическое, противошоковое, дезинтоксикационное.
	Мезим-форте (14)	Ферментное.
	Глутаргин (14)	Дезинтоксикационное, антиоксидантное, антигипоксическое.
	Тиотриазолин (13)	Антиоксидантное, иммуномодулирующее.
	Адаптол (10)	Антиоксидантное, психотропное, транквилизирующее.
	Преднизолон (6)	Глюкокортикоидное.
...
Лекарственная болезнь	Атоксил (28)	Дезинтоксикационное, энтеросорбент.
	Тиосульфат натрия (25)	Дезинтоксикационное, противовоспалительное, гипосенсибилизирующее.
	Тавегил (16)	Антигистаминное, противоаллергическое.
	Реосорбилакт (12)	Реологическое, противошоковое, дезинтоксикационное.
	Седасен (8)	Седативное, снотворное.
...

В табл. 3 представлены те лекарственные препараты, которые наиболее часто встречаются в терапевтических комплексах указанных заболеваний (число назначений препарата указано в скобках после названия препарата). Как правило, каждый терапевтический комплекс содержит от 4 до 8 препаратов. Из табл. 3 следует, что для лечения разных заболеваний могут применяться одни и те же препараты (например, атоксил, реосорбилакт), а каждый препарат может обладать несколькими фармакологическими действиями. Сформирована база данных лекарственных средств, структура которой соответствует структуре табл. 3, и рассмотренный выше алгоритм формирования терапевтических комплексов позволяют применить ИНС для решения задачи многокритериального подбора лекарственных средств.

Выводы. Проанализированы особенности формирования

терапевтических комплексов при многокритериальном подборе лекарственных препаратов пациенту с установленным развернутым диагнозом при учете его индивидуальных особенностей с целью применения ИНС. Предложена процедура формирования входных векторов и назначения фармакологических комплексов с использованием ИНС. Приведен пример формирования исходных данных ИНС в дерматологии. Планируется программная реализация метода и тестовая проверка его на реальной базе данных.

Список литературы: 1. Компендиум 2007 – лекарственные препараты / Под ред. *В.Н. Коваленко, А.П. Викторова*. <http://www.compendium.com.ua>. 2. *Хайкин С.* Нейронные сети: Полный курс. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с. 3. *Бодянский Е.В., Руденко О.Г.* Искусственные нейронные сети: архитектура, обучение, применение. – Х.: ТЕЛТЕХ, 2004. – 372 с. 4. *Комарцова А.Г., Максимов А.В.* Нейрокомпьютеры. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с. 5. *Галуцкий А.И.* Нейрокомпьютеры и их применение на рубеже тысячелетий в Китае. В 2-х томах. Том 2. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 464 с. 6. *Grossberg S.* Competitive learning: from interactive activation to adaptive resonance // *Cognitive Science*. – 1987. – Vol. 11. – P. 23-63. 7. *Дмитриенко В.Д., Поворознюк О.А.* Новые алгоритмы обучения одно- и многомодульных дискретных нейронных сетей АРТ // *Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Тем. вип.: Інформатика і моделювання*. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008. – № 24. – С. 51-64. 8. *Весенко А.И., Попов А.А., Пронкко М.И.* Топо-типология структуры розвернутого клінічного діагноза в сучасних медичинських інформаційних системах і технологіях // *Кибернетика и системный анализ*. – 2002. – № 6. – С. 143-154. 9. *Дмитриенко В. Д., Поворознюк О. А.* Система оптимального підбору лікарських засобів в дерматології // *Автоматика-2008: доповіді XV міжнародної конференції по автоматичному управлінню*, 23 – 26 вересня 2008 г. – Одеса: ОНМА. – С. 159 - 161. 10. *Рациональна діагностика та лікування в дерматології та венерології / За ред. І.І. Маврова // "Довідник лікаря Дерматолог – Венеролог"*. – К.: ТОВ "Доктор-Медіа", 2007. – 344 С. (Серія "Бібліотека "Здоров'я України").

УДК 681.513:620.1

Застосування нейронних мереж у задачі оптимального підбору лікарських препаратів / Дмитрієнко В.Д., Поворознюк О.А. // *Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання*. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008. – № 49. – С. 56 – 63.

Розглянуто особливості застосування штучних нейронних мереж при багатокритеріальному підборі лікарських препаратів пацієнтові із установленим розгорнутим діагнозом при врахуванні його індивідуальних особливостей. Запропоновано процедуру формування вхідних векторів і призначення фармакологічних комплексів з використанням нейронних мереж. Іл.:1. Табл.: 3. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: штучна нейронна мережа, лікарський препарат, багатокритеріальний підбір, діагноз, вхідний вектор, фармакологічний комплекс.

UDC 681.513:620.1

Using neural networks in problem of the optimum selection medicinal preparation / Dmitrienko V. D., Povoroznyuk O. A. // *Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling*. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2008. – №. 49. – P. 56 – 63.

The Considered particularities of the using artificial neural networks at многокритериальном selection medicinal preparation patient with installed by unfolded diagnosis at account his(its) individual particularities. The Offered procedure of the shaping input vector and purposes pharmacological complex with use neural networks. Figs: 1. Tabl.: 3. Refs: 10 titles.

Key words: artificial neural network, medicinal preparation, multicriterial selection, diagnosis, input vector, pharmacological complex.

Поступила в редакцию 15.10.2008

М.М. ЗАЦЕРКЛЯНИЙ, д-р техн. наук, "ХНУВС" (м. Харків),
Г.С. КИРИЧЕНКО, "ХНУВС" (м. Харків)

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ RS-СТЕГАНОАНАЛІЗУ

В даній статті стеганографія розглядається як інструмент, за допомогою якого може порушуватись безпека інформаційної системи. Проведено дослідження одного з інструментів протидії певному класу стеганографічних вкладень – метод RS-стеганоаналізу. Докладно проаналізовані процеси, що відбуваються при вкладенні пошуку прихованих даних у типові зображення. Встановлено властивість типових зображень, яка може бути застосована при розробці та модифікації методів стеганоаналізу.

Ключові слова: стеганографія, стеганоаналіз, пошук прихованих даних.

Постановка проблеми. Цифрова стеганографія – це сукупність методів, метою яких є передача секретних повідомлень всередині інших цифрових даних таким чином, що існування вбудовувань складно чи неможливо виявити. Носіями прихованої інформації найчастіше виступають цифрові зображення [1, 2]. Це пов'язано з тим, що особливості деяких класів зображень дозволяють досить легко вносити зміни, не помітні для людського ока. Враховуючи можливість використання стеганографії для реалізації злочинних намірів, досить актуальною є розробка методів стеганоаналізу.

Аналіз літератури. До можливих стеганоаналітичних методів відносяться статистичні методи [3, 4]. Їх особливість полягає у тому, що для певного класу зображень вони дозволяють відшукати "сталі" критерії, за допомогою яких із певною ймовірністю можна зробити висновок про наявність прихованих вкладень [5].

Статистичні методи, які запропоновані в N. Provos [6] та A. Westfeld [7], нехтують важливою інформацією – відношеннями між сусідніми пікселями стеганозображення. Використання просторових зв'язків пікселів зображення дозволяє створювати методи з більш точним виявленням об'єму прихованої інформації.

Одним з таких методів є метод RS-стеганоаналізу [8]. Цей метод дозволяє віднайти та виміряти слабкий зв'язок між найменш значущими пікселями зображення та самим зображенням. Очевидно, що цей зв'язок зміниться після вбудовування прихованої інформації. Отже його можна використовувати як підґрунтя стеганографічного алгоритму.

Мета статті – дослідження методу RS-стеганоаналізу та пошук стеганоаналітичних закономірностей.

Основи методу RS-стеганоаналізу. Розглядаємо зображення розміром $H \times W$ пікселів, де пікселі приймають значення з множини P . Наприклад, для 8-бітових сірих зображень $P = \{0, 1, \dots, 255\}$. Просторова кореляція

визначається за допомогою функції-дискримінанта f , яка ставить у відповідність дійсне число $f(x_1, x_2, \dots, x_n) \in R$ групі пікселів $G = (x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Такою функцією є

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^{n-1} |x_{i+1} - x_i|,$$

яка вимірює гладкість G .

Більше значення f відповідає більшому значенню шуму.

Вкладення в найменш значущі біти (НЗБ) збільшує шумові властивості зображення, що очевидно збільшує значення f . Вбудовування в НЗБ зручно описувати, використовуючи функцію-перемикач

$$F_1 : 0 \leftrightarrow 1, 2 \leftrightarrow 3, \dots, 254 \leftrightarrow 255. \quad (1)$$

Зсунута функція-перемикач визначається так:

$$F_{-1} : -1 \leftrightarrow 0, 1 \leftrightarrow 2, \dots, 255 \leftrightarrow 256$$

або

$$F_{-1} : (x) = F_1(x+1) - 1 \forall x. \quad (2)$$

Для повноти також визначається

$$F_0(x) = x, \forall x \in P.$$

Функція-дискримінант f та функція-перемикач F визначають три типи груп пікселів: R – "регулярні", S – "нерегулярні" та U – "незмінні"

$$G \in R \Leftrightarrow f(F(G)) > f(G), \quad (3)$$

$$G \in S \Leftrightarrow f(F(G)) < f(G), \quad (4)$$

$$G \in U \Leftrightarrow f(F(G)) = f(G), \quad (5)$$

де $F(G)$ означає, що функція-перемикач застосована до кожного елементу множини $G = (x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Аби застосовувати функцію-перемикач до різних пікселів групи введемо поняття маски (рис. 1)

$$M = (m_1, m_2, \dots, m_n), \quad m_i \in \{-1, 0, 1\}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Операція перемикачання з використанням маски визначається так:

$$F_M(G) = F_{M(i)}(x_i), \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

В типових зображеннях застосування функції-перемикача до групи G частіше призведе до збільшення значення функції-дискримінанта. Таким чином, кількість регулярних груп буде більше кількості нерегулярних груп. Позначимо відносну кількість регулярних груп для додатної маски як R_M (у відсотках всіх груп), аналогічно для нерегулярних груп – S_M . Для від'ємної маски кількості регулярних та нерегулярних груп відповідно дорівнюють R_{-M} та S_{-M} . Отже, маємо

$$R_M + S_M \leq 1 \quad \text{та} \quad R_{-M} + S_{-M} \leq 1. \quad (6)$$

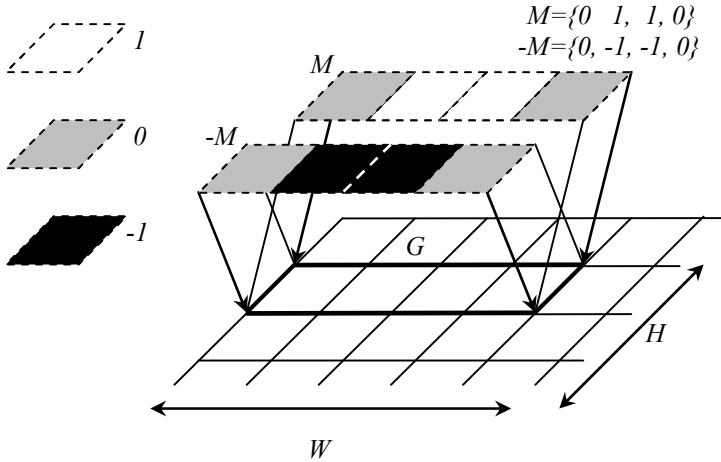


Рис.1. Застосування додатної та від'ємної масок M та $-M$

За нульову гіпотезу описуваного стеганоаналітичного методу приймається рівність кількості регулярних та нерегулярних груп для зображень без вбудовувань

$$R_M \cong R_{-M} \text{ та } S_M \cong S_{-M}. \quad (7)$$

Цю гіпотезу легко довести, розглянувши рівняння (2). Використання від'ємної функції-перемикача F_{-1} є застосуванням додатної функції F_1 до зображення, значення кольорів якого зсунуті на одиницю. Оскільки функція-дискримінант f визначає близькість пікселів групи, додавання до всіх пікселів одиниці значно не змінить статистики розподілу регулярних та нерегулярних груп. В роботі [8] заявлено про проведення досліджень, результат яких показує, що зображення, одержані цифровою фотокамерою в JPEG і в нестисненому форматі відповідають виразу (7). Проте вираз (7) порушується в разі зміни площини НЗБ повністю випадковими значеннями.

Наближення розподілу НЗБ до випадкового спрямовує розбіжність R_M та S_M до нуля, тобто зі збільшенням довжини приховуваного зображення кількість регулярних та нерегулярних груп стає для додатної маски однаковою: $R_M \cong S_M$. Проте на R_{-M} та S_{-M} "випадковість" НЗБ зовсім по-іншому впливає. Розбіжність кількості регулярних та нерегулярних груп за умови від'ємної маски – збільшується.

Пошук стеганоаналітичних властивостей. Розглянемо процеси, що відбуваються при застосуванні функції-перемикача та функції-дискримінанта. Для прикладу візьмемо найпростішу маску $[0, 1, 0]$. Аналогічні процеси можна

відстежити й для більш складних масок. За зображення, що тестується, візьмемо повнокольорове зображення "Lena". Враховуючи розмір маски розіб'ємо зображення на групи пікселів $\{x_i, x_{i+1}, x_{i+2}\}$. Ці групи можна класифікувати за розташуванням елементів на числовій прямій (табл. 1).

Таблиця 1
Класифікація груп пікселів.

	x_i		x_{i+1}		x_{i+2}
1		=		=	
2		=		>	
3		=		<	
4		<		=	
5		<		>	
6		<		<	
7		>		=	
8		>		>	
9		>		<	

Групи пікселів 2 та 4, 3 та 7, а також 6 та 8 є дзеркальним відображенням одна одної. Через те, що інструмент аналізу не має залежати від асиметрії зображення, об'єднаємо відповідні групи (табл. 2). Одержимо 6 множин, до яких можна відносити групи.

Таблиця 2
Класифікація з урахуванням асиметричності деяких груп.

	x_i		x_{i+1}		x_{i+2}
1		=		=	
2		=		>	
3		=		<	
4		<		<	
5		>		<	
6		<		>	

Сформувавши правила віднесення пікселів до тієї чи іншої множини, розглянемо розподіл у них R , S та U типів груп для зображення без вбудовування (табл. 3).

Групи першої множини можуть бути лише R типу. Застосування функції перемикача до центрального пікселя завжди змінить його в більшу чи меншу сторону. Збільшення чи зменшення значення пікселя залежить від парності значення пікселя, та типу функції-перемикача. Зміна центрального пікселя

збільшить відстань від нього до його (до того однакових) сусідів. Відповідно виразу (3) ця група є групою R типу.

Таблиця 3

Розподіл груп пікселів за множинами для зображення без вбудовувань

	0% $F+$				0% $F-$			
	R	S	U	SUM	R	S	U	SUM
1	1,37	0,00	0,00	1,37	1,37	0,00	0,00	1,37
2	4,37	0,00	4,52	8,89	4,52	0,00	4,37	8,89
3	4,12	0,00	3,96	8,09	3,96	0,00	4,12	8,09
4	0,00	0,00	41,39	41,39	0,00	0,00	41,39	41,39
5	10,00	9,88	0,00	19,88	9,88	10,00	0,00	19,88
6	10,09	10,29	0,00	20,38	10,29	10,09	0,00	20,38
All	29,95	20,17	49,87	100,00	30,03	20,09	49,88	100,00

Групи другої множини можуть бути R та U типів. Особливість цієї групи полягає в тому, що центральний піксель більший від одного зі своїх сусідів і дорівнює другому сусіду. Розглянемо випадок застосування додатної функції-перемикача (1).

У випадку парного центрального пікселя застосування функції (1) збільшить його значення на одиницю. Це призведе до того, що він стане більшим за сусідній рівний піксель на одиницю і збільшить свою відстань до сусіднього меншого пікселя також на одиницю, отже відстань між пікселями групи збільшиться. За формулою (3) це буде група R типу.

У випадку непарного центрального пікселя застосування функції (1) зменшить його значення на одиницю. Це призведе до того, що він стане меншим від сусіднього рівного пікселя на одиницю і наблизиться до сусіднього меншого пікселя також на одиницю, тобто відстань між пікселями залишиться незмінною. За формулою (5) це буде група U типу.

Аналогічні міркування дозволяють пояснити розподіл типів груп у всіх шести множинах.

Аналіз табл. 3 дозволяє краще зрозуміти вирази (6) та (7) для зображень без вбудовувань.

Загальне перевищення кількості регулярних R груп над нерегулярними S забезпечуються першою, другою та третьою множинами. До четвертої множини, належать лише групи U типу. Кількості груп R та S типів в п'ятій, як і в шостій множинах приблизно однакові. Немає причини, чому б кількість парних центральних пікселів у множинах п'ятої і шостої груп відрізнялась від кількості непарних пікселів. Проаналізувавши розподіли для зображень без вбудовувань, розглянемо розподіл в них R , S та U типів груп для зображення з вбудовуванням 100% прихованої інформації (табл. 4).

Таблиця 4

Розподіл груп пікселів за множинами для зображення
з вбудовуванням 100% прихованої інформації

	100% F_+				100% F_-			
	R	S	U	SUM	R	S	U	SUM
1	1,20	0,00	0,00	1,20	1,20	0,00	0,00	1,20
2	3,65	0,00	4,83	8,48	4,83	0,00	3,65	8,48
3	3,34	0,00	4,58	7,92	4,58	0,00	3,34	7,92
4	0,00	0,00	40,92	40,92	0,00	0,00	40,92	40,92
5	8,33	12,08	0,00	20,42	12,08	8,33	0,00	20,42
6	8,39	12,67	0,00	21,06	12,67	8,39	0,00	21,06
All	24,91	24,76	50,33	100,00	35,38	16,72	47,90	100,00

На перший погляд кількість пікселів у множинах суттєво не змінилась (стовпчики SUM в таб. 3 та таб. 4). Але якщо поглянути на розподіл R , S та U типів всередині множин, можна помітити їх певне перегрупування. Для додатної функції перемикача F_+ спостерігається вирівнювання кількості R та S груп. Для від'ємної маски навпаки відстань між кількістю R та S груп збільшується порівняно із зображеннями без вбудовувань (рядок All в табл. 4). Проаналізувавши дані табл. 4, можна відмітити, що на перерозподіл кількості груп R та S типів впливають п'ята та шоста множина пікселів.

До вбудовування в цих множинах кількість груп із парним центральним пікселем дорівнювала кількості груп із непарним центральним пікселем. Після вбудовування в цих множинах відбулося збільшення кількості груп із парним центральним пікселем і зменшилась кількість груп із непарним центральним пікселем. Більш детальний аналіз наведено на рис. 2. З нього випливає причина перерозподілу R та S груп в п'ятій та шостій множинах.

Пояснимо цю причину на множині п'ятій за умови додатної функції-перемикача. R група початкового зображення розподіляє свій об'єм приблизно порівну між R та S групами зображення із вбудовуванням. Одночас у зображенні із вбудовуванням R група формується лише з R та S початкового зображення. S група початкового зображення розподіляє свій об'єм серед різних множин та груп зображення із вбудовуванням. Одночас S група зображення із вбудовуванням формується з різних множин та груп початкового зображення.

Описаний щойно обмін не є рівноцінним. R група початкового зображення віддає приблизно половину свого об'єму для формування S групи зображення із вбудовуванням. S група початкового зображення віддає суттєво менше за половину свого об'єму для формування R групи кінцевого

зображення. Таким чином, виникає асиметрія, яку можна застосовувати зі стеганоаналітичною метою.

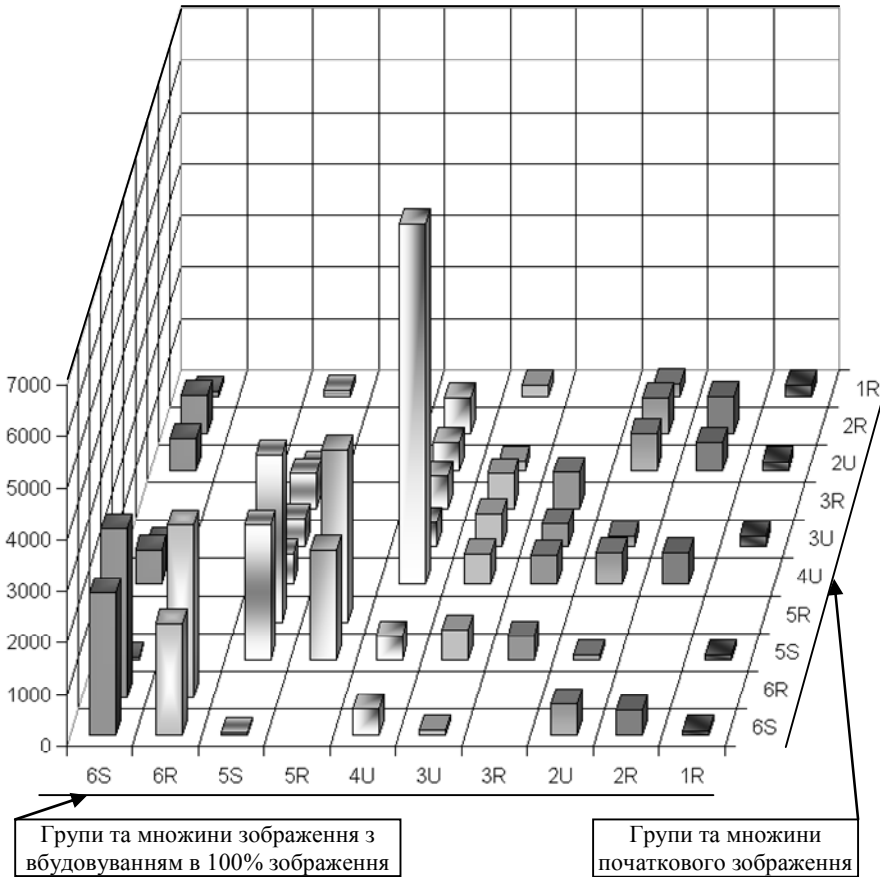


Рис.2. Перехід груп з множин зображення без вбудовування до множин зображення з вбудовуванням прихованого повідомлення максимального розміру (за умови F^+)

Висновки. Досліджена властивість може застосовуватися при розробці та модифікації методів стеганоаналізу.

Список літератури: 1. *Генне О.В.* Стеганография: основные положения стеганографии // Конфидент. – 2000. – № 3 (33). – С. 20–41. 2. *Cachin C.* An information-theoretic model for steganography // Lecture notes on computer science. Springer. – Berlin Heidelberg. – Vol. 1525. – 1998. – P. 306–318. 3. *Anderson R., Petitcola F.* On the limits of steganography // IEEE Selected Areas Commun, 1998. – P. 474–481. 4. *Westfeld A.* Detecting low embedding rates // Proc. Information Hiding Workshop. Springer. – 2002. – Vol. 2578. – P. 324–339. 5. *Гурман В.Е.* Теория вероятностей и

математическая статистика: Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Высш. шк., 2003. – 479 с.
6. *Provos N.* Defending Against Statistical Steganalysis / 10th USENIX Security Symposium. – Washington, DC, 2001. – P. 224–239. 7. *Westfeld A., Pfitzmann A.* Attack on Steganographic Systems // Lectures Notes in Computer Science. – Berlin: Springer-Verlag, 2000. – P. 61–75. 8. *Fridrich J., Goljan M.* Practical Steganalysis of Digital Images – State of the Art // Proc. SPIE Photonics California, January, 2002. – Vol. 2554. – P. 1–13.

УДК 651.326

Исследование метода RS-стеганоанализа / Зацеркляний Н.М., Кириченко Г.С. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2008. – № 49. – С. 64 – 71.

В статье стеганография рассматривается как инструмент, с помощью которого может нарушаться безопасность информационной системы. Проведено исследование одного из инструментов противодействия определенному классу стеганографических вложений – метода RS-стеганоанализа. обстоятельно проанализированы процессы, которые происходят при вложении скрытых данных в типичные изображения. Установлено свойство типичных изображений, которое может быть применено при разработке и модификации методов стеганоанализа. Ил.: 2. Табл.: 4. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: стеганография, стеганоанализ, вложение скрытых данных.

UDC 651.326

Research of method of RS-stegananalysis / Zacerklyaniy N.M., Kirichenko G.S. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2008. – №. 49. – P. 64 – 71.

In this article steganography is examined as an instrument by which can be violated safety of the information system. It is conducted one research of instruments of counteraction the certain class of steganography investments is a method of RS-stegananalysis. Processes which take a place at the investment of the hidden information in typical images are thoroughly analysed. Property of typical images, which can be applied at development and modification of methods of stegananalysis, is set. Figs: 2. Tabl.: 4. Refs: 8 titles.

Keywords: steganography, stegananalysis, investment of the hidden information

Надійшла до редакції 12.10.2008

К.В. ЗАЩОЛКІН, канд. техн. наук, ОНПУ (м. Одеса)

РОЗВИТОК МЕТОДА КВАДРАТИЧНОГО КОДУВАННЯ СТАНІВ ЦИФРОВОГО АВТОМАТА

Виконано дослідження факторів, які негативно впливають на ефективність методу квадратичного кодування станів цифрового автомата. Запропонований подальший розвиток даного методу, спрямований на зменшення впливу цих факторів. Розроблені модифікації методу квадратичного кодування, засновані на використанні методів Монте-Карло, обмеженого пошуку в ширину та на введенні штучної надмірності в розмірність кодових комбінацій. Наведені результати експериментів, які підтверджують ефективність зазначених модифікацій.

Ключові слова: квадратичне кодування, цифровий автомат, метод Монте-Карло, пошук в ширину, надмірність.

Постановка проблеми. Цифрова обчислювальна система у загальному випадку являє собою сукупність трьох компонентів: множини обчислювачів, множини елементів пам'яті, пристрою керування обчислювальним процесом (цифрового керуючого пристрою, ЦКП). Математичною моделлю ЦКП, що застосовується при його проектуванні являється цифровий автомат (ЦА). Важливим етапом структурного синтезу ЦКП є кодування внутрішніх станів відповідного цифрового автомата. Ефективність такого кодування значною мірою впливає на складність апаратної реалізації ЦКП. Тому дослідження методів оптимального кодування станів з метою поліпшення їх результатів є вельми актуальною проблемою теорії проектування ЦКП.

Аналіз літератури. Існує кілька груп методів вирішення завдання оптимального кодування станів автомата: методи, засновані на теорії розбивок [1, 2], квадратичне (кубічне) кодування [3, 4], кодування, спрямоване на зменшення залежності функцій переходів від змінних в зворотних зв'язках автомата [5]. Більшість із цих методів є неточними (приблизними) в силу великої обчислювальної складності точних методів. Одним з приблизних методів оптимального кодування, що найбільш часто використовується на практиці, є евристичний метод (ЕМ) квадратичного кодування.

Завдання квадратичного кодування полягає в мінімізації цільової функції [6]:

$$W = \sum_{k=1}^p |Ka_i, Ka_j|_k$$
, де $|Ka_i, Ka_j|_k$ – метрика Хеммінгу між кодами станів k -го переходу, p – кількість переходів між станами ЦА. Ефективність квадратичного кодування чисельно оцінюють коефіцієнтом ефективності $k_{\text{эф}} = W/p$. Евристичний метод квадратичного кодування дозволяє значно скоротити пошук за рахунок вибору з множини кодових комбінацій (КК) підмножини "бажаних КК" (ПБКК) та зведе процес мінімізації функції W до мінімізації оцінних функцій φ_i , які обчислюються на кожному кроці. При

цьому, на кожному кроці ЕМ виконується кодування чергового стану, для цього формується ПБКК, із якого вибирається “найкраща” КК, така, для якої φ_i має найменше значення.

Мета статті – визначити фактори, які знижують ефективність методу квадратичного кодування станів цифрових автоматів; виконати розвиток цього методу шляхом зменшення впливу зазначених факторів.

Фактори, що знижують ефективність квадратичного кодування. Було проведено дослідження ЕМ, в результаті чого виявлено два фактори, що знижують його ефективність.

Фактор 1. Оцінна функція φ_i на деяких кроках методу може приймати мінімальне значення для декількох КК з ПБКК. Для такого випадку ЕМ не передбачає ніякого конструктивного критерію вибору найкращої КК. Виникнення подібних ситуацій знижує ефективність ЕМ через те, що вибір різних КК із рівними φ_i істотно впливає на значення функції W .

Фактор 2. Для виявлення другого фактора, проведено експериментальне дослідження залежності k_{Φ} традиційного ЕМ від кількості станів (D). Розмірність T КК є деякою функцією $T=f(D)$. Кількість можливих КК розмірності T дорівнює $t=2^T=2^{f(D)}$. Свободою кодування буде називатися відношення кількості можливих КК до кількості станів автомата, які потрібно закодувати: $F(D)=t/D=2^T/D=2^{f(D)}/D$. Лівою околицею точки x_0 буде називатися інтервал $(x_0-\varepsilon, x_0]$, при $\varepsilon > 0$ ($\varepsilon, x_0 \in \mathbb{N}$).

Був проведений аналіз функції $F(D)$ та її зіставлення з поведінкою функції $k_{\Phi}(D)$. У результаті цього, другим фактором, що знижує ефективність квадратичного кодування, була визначена низька свобода кодування при D , що приймає значення з лівої околиці цілого ступеня двійки.

Зменшення впливу першого фактора

З метою зменшення негативного впливу першого фактора в роботі запропоновано чотири модифікації ЕМ (ЕМ1 – ЕМ4). Нехай $K = \{K_1, \dots, K_i\}$ – множина усіляких КК розмірності T ; $A = \{a_1, \dots, a_D\}$ – множина станів автомата, які потрібно закодувати; $t = 2^T$, $D \leq t$. Задача ЕМ полягає у однозначному зіставленні $L_K: A \rightarrow KA$, множині A множини кодів станів $KA = \{ka_i | ka_i \in K\}$. На нульовому кроці традиційного ЕМ кодуються одразу два стани, обрані за визначеними правилами. На i -му кроці ЕМ кодується черговий незакодований раніше стан a^H . Для цього за правилами ЕМ з множини ще незакодованих КК $K^{H3} \subset K$ вибирається ПБКК $K^{\mathcal{J}} \subseteq K^{H3}$. Для всіх КК, що входять до $K^{\mathcal{J}} = \{K_1^{\mathcal{J}}, K_2^{\mathcal{J}}, \dots, K_p^{\mathcal{J}}\}$ за правилами ЕМ, підраховуються значення оцінних функцій $\Phi = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p\}$. Після цього, за наступним правилом, виконується кодування стану a^H :

$$\text{якщо } \varphi_j = \min(\Phi), \text{ то } L_K(a^H) = K_j^{\mathcal{J}}.$$

ЕМ передбачає, що у випадку, якщо мінімальне значення мають оцінні функції для декількох КК із $K^{\mathcal{K}}$ (надалі цей випадок буде називатися "спеціальною ситуацією"), то для кодування на поточному кроці необхідно вибрати першу з цих КК. Тобто, правило кодування для "спеціальної ситуації" має такий вигляд:

$$\text{якщо } \varphi_{a_1}^i = \varphi_{a_2}^i = \dots = \varphi_{a_k}^i = \min(\Phi), \text{ то } L_K(a^H) = K_{a_1}^{\mathcal{K}}. \quad (1)$$

Модифікація 1 (ЕМ1). Пропонується вирішення задачі розвитку ЕМ шляхом використання методу Монте-Карло, аналогічно тому, як це робиться для рішення задачі комівояжера. Виконується традиційний ЕМ, для якого правило розв'язання "спеціальної ситуації" (1) формулюється в наступному вигляді:

$$\begin{aligned} &\text{якщо } \varphi_{a_1}^i = \varphi_{a_2}^i = \dots = \varphi_{a_k}^i = \min(\Phi), \\ &\text{то } L_K(a^H) = \text{random}(K_{a_1}^{\mathcal{K}}, K_{a_2}^{\mathcal{K}}, \dots, K_{a_k}^{\mathcal{K}}). \end{aligned} \quad (2)$$

Це означає, що якщо на i -му кроці ЕМ, виникає "спеціальна ситуація", тобто мінімум на множині Φ міститься в декількох її елементах, то випадковим образом вибирається одна із КК, що відповідає цим мінімумам. Після завершення кодування, підраховується значення k_{Φ} . Результати кодування запам'ятовуються у вигляді двох елементів: значення k_{Φ} та множина кодів KA . Процедура кодування повторюється задане число раз N . Якщо знову отримані, на черговому кроці, результати кодування KA мають менший k_{Φ} , то вони запам'ятовуються замість попередніх результатів.

Модифікація 2 (ЕМ2). Пропонується вирішення задачі розвитку ЕМ шляхом використання методу обмеженого пошуку в ширину [7, 8]. Задається параметр пошуку – ціле число $R = 0, \dots, (D-2)$. Виконується традиційний ЕМ, для якого правило розв'язання "спеціальної ситуації" формулюється в наступному вигляді:

$$\begin{aligned} &\text{якщо } 0 < i \leq R, \text{ то виконати правило (4),} \\ &\text{інакше виконати правило (1),} \end{aligned} \quad (3)$$

де i – номер кроку кодування – ціле число від 1 до $D - 2$; R – глибина обмеження пошуку, ціле число від 0 до $D - 2$. Правило (4) має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} &\text{якщо } \varphi_{a_1}^i = \varphi_{a_2}^i = \dots = \varphi_{a_k}^i = \min(\Phi), \\ &\text{то } L_K^1(a^H) = K_{a_1}^{\mathcal{K}}, L_K^2(a^H) = K_{a_2}^{\mathcal{K}}, \dots, L_K^k(a^H) = K_{a_k}^{\mathcal{K}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Правило (4) означає, що якщо на i -му кроці ЕМ виникає "спеціальна ситуація" $\varphi_{a_1}^i = \varphi_{a_2}^i = \dots = \varphi_{a_k}^i = \min(\Phi)$, то формується стільки варіантів процедури кодування стану a^H , скільки є мінімальних значень у множині Φ . Подальші кроки виконуються з урахуванням всіх отриманих на даному кроці варіантів кодування. Правило (3) означає, що правило (4) застосовується для

розв'язання "спеціальної ситуації" тільки на обмеженій кількості початкових кроків.

Така процедура призводить до одержання дерева рішень. Гілкам цього дерева на кожному кроці присвоюються КК з множини $\{K_{a_1}^{\mathcal{K}}, K_{a_2}^{\mathcal{K}}, \dots, K_{a_k}^{\mathcal{K}}\}$.

Альтернативні множини результатів кодування KA_1, KA_2, \dots, KA_h отримуються як послідовності КК, що зустрічаються на шляху від кореня до кожної з кінцевих вершин дерева. Для кожної з множин KA_1, KA_2, \dots, KA_h підраховується $k_{\text{эф}}$. У якості остаточного результату кодування, обирається будь-яка множина KA_i , що має найменший $k_{\text{эф}}$.

Модифікація 3 (EM3). Запропоновано подальший розвиток EM на основі спільного застосування EM1 та EM2. До ЦА застосовується EM2, результатом цього є множина кодів KA_{\min} , яка складається з двох непересічних підмножин $KA_{\min} = KA_4 \cup KA_1$, де KA_4 і KA_1 – підмножини КК отриманих за правилами (4) та (1), що входить до EM2, відповідно. Задається параметр N і до станів, що кодуються на лінійному ланцюжку вершин дерева рішень, підмножиною кодів KA_1 застосовується EM1.

Модифікація 4 (EM4). Запропоновано подальший розвиток EM за рахунок модифікації EM3. При виконанні EM3 обирається будь-яка підмножина KA , що має найменше значення $k_{\text{эф}}$. Якщо таких підмножин декілька, то до кожної з них можна застосувати етапи EM3 і вибрати кращий результат. Для керування процесом кодування пропонується параметр $1 \leq H \leq u$, що визначає кількість підмножин KA , до яких застосовується EM4.

Зменшення впливу другого фактора. З метою зменшення негативного впливу другого фактора, запропонована п'ята модифікація EM (EM5). Завдання усунення впливу другого фактора може бути вирішено шляхом штучного збільшення розмірності КК. Таке збільшення розмірності КК на одиницю призводить до: збільшення простору рішень задачі кодування (множини можливих КК) у два рази; збільшення пам'яті автомата на один елемент та можливо додатковим витратам апаратури. Перший із зазначених наслідків, збільшення розмірності КК, може послужити поліпшенню результатів кодування, а отже зменшенню апаратних витрат на реалізацію ЦА. Другий наслідок призводить до безумовного збільшення апаратних витрат. Рішення задачі кодування при цьому полягає в знаходженні компромісу між результатами даних двох наслідків введення штучної надмірності в розмірності КК.

Модифікація 5 (EM5) полягає в наступному. Виконується кодування одним з EM – (EM, ..., EM4). Результатом кодування є три компоненти: KA – множина кодів станів; $k_{\text{эф}}$; ціна за Квайном C для системи булевих рівнянь, що реалізують функції збудження елементів пам'яті ЦА. Задається C_{Π} – ціна за Квайном елемента пам'яті та $E \in [0, 1]$ – дійсний параметр, що визначає поріг кількості станів, починаючи з якого свобода кодування вважається "недостатньою" для ефективного кодування. Зазначений поріг обчислюється за формулою:

$$\Pi = \text{OK}^{\rightarrow}(D) - \{[\text{OK}^{\leftarrow}(D)] \cdot E + 1\},$$

де $\text{OK}^{\rightarrow}(D)$ та $\text{OK}^{\leftarrow}(D)$ – операції округлення, результат яких дорівнює найближчому більшому та меншому числу, відповідно, що є цілим ступенем двійки (операнд кратний числу, яке є цілим ступенем двійки, не округляється); $\{\}$ – операція традиційного арифметичного округлення.

Якщо $D < \Pi$, то кодування припиняється і як остаточний результат приймається отримана множина кодів, тому що для даного D , при заданому порозі, вважається, що свобода кодування має "достатню" величину і її збільшення не приведе до підвищення ефективності кодування. Інакше у КК вноситься надмірність, шляхом збільшення їх розмірності на один розряд і процедура кодування повторюється. Якщо сума знов отриманої ціни C та ціни C_{Π} менша за ціну отриману до внесення надмірності, то збільшення свободи кодування дало позитивний результат і робиться спроба подальшого її збільшення.

Експеримент. Були проведені експерименти над програмними реалізаціями запропонованих модифікацій ЕМ і виконані зіставлення отриманих результатів з результатами традиційного квадратичного кодування. Експерименти полягали в кодуванні автоматів, що розрізняються: числом станів, видами графів, призначенням. Експерименти показали доцільність застосування запропонованих модифікацій в процесі синтезу ЦКП. Узагальнені результати експериментів, які показують зменшення апаратних витрат на реалізацію функцій збудження елементів пам'яті ЦКП, наведені в таблиці.

Таблиця

Узагальнені результати експериментів над ЕМ1 – ЕМ5

Модифікація	Зменшення апаратних витрат, %
ЕМ1	0,2 ... 2,5
ЕМ2	2,0 ... 6,8
ЕМ3	2,2 ... 7,3
ЕМ4	2,2 ... 7,7
ЕМ5	2,2 ... 9,1

Висновки. В результаті дослідження можливостей мінімізації апаратної реалізації ЦКП за рахунок використання методів оптимального кодування внутрішніх станів встановлені фактори, які знижують ефективність традиційних методів квадратичного кодування. Було запропоновано ряд модифікацій методу квадратичного кодування станів, які усувають вплив цих факторів, що дозволило зменшити обсяг апаратних витрат на реалізацію функцій збудження елементів пам'яті ЦКП.

Список літератури: 1. *Островский В.И., Шуман В.З.* Алгоритм кодирования внутренних состояний частичных автоматов // Автоматика и вычислительная техника. – 1976. – №1. – С. 1 – 7. 2. *Villa T., Kam T., Brayton R.K.* Synthesis of finite state machines: logic optimization. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998. – 422 p. 3. *Мороз Д.З.* Об одном алгоритме кодирования состояний автомата // Автоматика и вычислительная техника. – 1970. – №4. – С. 21 – 24. 4. *Potosin Y.V.*

"Assembling" a Boolean hypercube: an approach to state assignment of finite state machines / Proc. of the Second International Conference on Computer-Aided Design of Discrete Devices (CAD-DD-97). – Minsk, Belarus, 1997. – Vol. 1. – P. 54 – 59. **5. Saucier G.** State assignment of asynchronous sequential machines using graph techniques // IEEE Trans. on Computers. – 1979. – Vol. 21. – P. 282 – 288. **6. Du X., Hachtel G., Lin B.** MUSE: a multileveled symbolic encoding algorithm for state assignment // IEEE Transaction on CAD. – 1999. – Vol. 10. – P. 28 – 38. **7. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М.** Генетические алгоритмы. – 2-е издание. – М.: Физматлит, 2006. – 320 с. **8. Овчинников В.А.** Алгоритмизация комбинаторно-оптимизационных задач при проектировании ЭВМ и систем. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001. – 288 с.

УДК 004.312.4:519.713.1

Развитие метода квадратичного кодирования состояний цифрового автомата / Защелкин К.В. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2008. – № 49. – С. 72 – 77.

Выполнено исследование факторов, которые негативно влияют на эффективность метода квадратичного кодирования состояний цифрового автомата. Предложено дальнейшее развитие данного метода, направленное на уменьшение влияния этих факторов. Разработаны модификации метода квадратичного кодирования, основанные на использовании методов Монте-Карло, ограниченного поиска в ширину и на введении искусственной избыточности в размерность кодовых комбинаций. Приведены результаты экспериментов, которые подтверждают эффективность данных модификаций. Табл. 1. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: квадратичное кодирование, цифровой автомат, метод Монте-Карло, поиск в ширину, избыточность.

UDC 004.312.4:519.713.1

Elaboration of a method square coding of conditions of the digital automatic device / Zashcholkina K.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2008. – №. 49. – P. 72 – 77.

Research of factors which negatively influence efficiency of a method of square coding conditions of the digital automatic device is executed. The further development of the given method directed on reduction of influence of these factors is offered. Updatings a method of the square coding, based on use of methods of Monte-Carlo, the limited search at width and on introduction of artificial redundancy in dimension of code combinations are developed. Results of experiments which confirm efficiency of the given updating are resulted. Tabl.: 1. Refs: 8 titles.

Key words: square coding, digital control device, method of Monte-Carlo, search at width, redundancy.

.Поступила в редакцию 12.10.2008

В.Г. ИВАНОВ, д-р. техн. наук,
Ю.В. ЛОМОНОСОВ, канд. техн. наук,
М.Г. ЛЮБАРСКИЙ, д-р физ.-мат. наук (г. Харьков)

АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Построена классификация перспективных методов сжатия данных по критериям эффективности и качества сжатия. Отмечается, что одним из наиболее перспективных методов кодирования изображений является агрегативный подход, объединяющий различные методы сокращения избыточности и методы распознавания образов.

Ключевые слова: сжатие изображений, классификация, перспективные методы.

Постановка проблемы. Профессионально-техническая и социально-культурная среда современного человека становится все более электронной, а главной характеристикой этого процесса является огромный объем цифровых данных, который создается, хранится и циркулирует в этой среде [1]. Поскольку значительная часть этих данных является графической, аудио или видеоинформацией, требования к техническим параметрам средств связи и системам хранения становятся чрезвычайно высокими [2, 3]. Поэтому эффективное функционирование и развитие коммуникативно-компьютерных систем хранения, обработки, передачи и поиска мультимедийной информации невозможно без использования методов сжатия, многообразие которых требует их корректного сравнения и классификации [4 – 6].

Анализ литературы. Цитируемая литература в основном состоит из работ, в которых наиболее полно и ясно изложено то или иное направление в области сжатия данных. К сожалению, законченной классификации методов и алгоритмов сжатия данных, отвечающих современному состоянию этой области, нет ни в отечественной, ни в зарубежной литературе [1 – 17].

Цель статьи. Провести анализ и сопоставление методов сжатия данных с целью получения их классификации, взаимосвязи и направлений дальнейшего развития.

Классификация методов сжатия. Избыточность данных является центральным понятием цифрового сжатия данных [7, 8].

В общем случае (см. рис. 1) причины возникновения избыточности данных могут быть следующие [8]:

1. Непреднамеренное завышение размерности вектора сведений $W(t)$, предоставляемых получателю. Оно может быть вызвано неполным учетом свойств получателя, которому, вообще говоря, для правильного восприятия состояний объекта достаточно располагать вектором меньшей размерности. Таким образом, первая причина возникновения избыточности данных связана

с физическими и психофизическими свойствами получателя, семантическими и прагматическими аспектами восприятия информации. Процесс разработки методов сокращения такого вида избыточности трудно формализуем и носит в значительной степени эвристический характер.

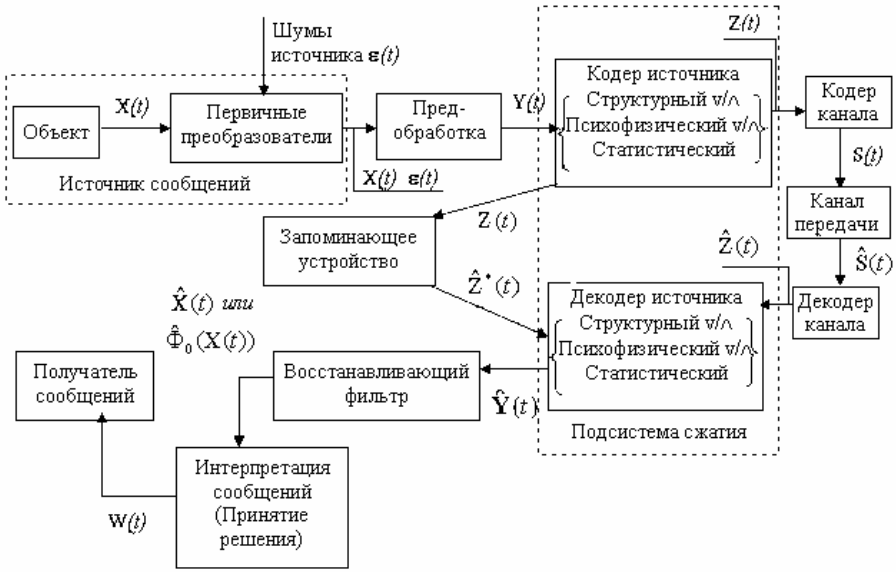


Рис. 1. Обобщенная модель информационных технологий со сжатием данных

2. Непреднамеренное завышение числа компонент $\{X_m(t)\}_{m=1, \overline{M}}$ процесса $X(t)$, порождаемого объектом, что приводит, как правило, к повышению размерности сообщения $Y(t)$ и оценок $\bar{Y}(t)$ и $\bar{X}(t)$. Это может быть связано с неоптимальностью методов получения сведений $W(t)$. Следовательно, вторая причина возникновения избыточности вызвана тем, что для решения задач классификации, распознавания образов, идентификации объектов и других, связанных с выработкой решений, объект рассматривается в пространстве состояний завышенной размерности.

3. Проектирование системы ведется на основании осредненных по множеству реализаций процесса $X(t)$ или предельных значений характеристик процесса $X(t)$, например, из расчета максимально возможной ширины его спектра. В этом случае говорят о возникновении естественной (статистической) избыточности сообщений, которая характеризуется наличием корреляционных связей между отдельными компонентами $\{X_m(t)\}_{m=1, \overline{M}}$ процесса $X(t)$, а также тем, что распределение вероятностей передачи этих компонент и

символов сигнала, которыми кодируется каждая компонента, отличаются от равномерного.

С учетом изложенного все методы сжатия данных по классификационному признаку – виду устраняемой избыточности – могут быть разделены предварительно на классы методов, реализующих сжатие данных с учетом позиций 1 – 3. При этом методы уменьшения размерности $W(t)$ и $X(t)$ должны рассматриваться в тесной связи с конкретными задачами. Например такими, как классификация, идентификация, обнаружение и выделение объектов и др. Поскольку эти методы существенно уменьшают объем обрабатываемой в системе информации, то их также необходимо отнести к методам сжатия данных.

В традиционной постановке сжатие данных обычно связывается с устранением третьего вида избыточности, то есть с использованием методов, основанных на теории информации и обобщенной теории дискретных сигналов.

Известно, что изображения наряду с большой информационной емкостью обладают и большой информационной избыточностью. Поэтому одна из основных проблем обработки заключается в извлечении из исходных изображений лишь необходимой информации, т.е. в ее сжатии путем устранения избыточности. Мы определим следующие виды избыточности изображений, на основании которых и будет осуществлена классификация методов сжатия: кодовая избыточность, межэлементная избыточность (статистическая избыточность), психовизуальная избыточность, структурная избыточность, которая включает в себя контурно-текстурную и содержательную избыточность. Сжатие данных достигается в том случае, когда сокращается или устраняется избыточность одного или нескольких из вышеуказанных видов.

Возникновение кодовой избыточности можно пояснить на основе теоретико-информационного понятия энтропии источника, которое ввел Клод Шеннон в созданной им теории [6]. Если дискретная случайная переменная r_K , распределенная в интервале $[0, 1]$, представляет значение яркости изображения, и каждое значение r_K появляется с вероятностью

$$P_r(r_K) = \frac{n_K}{n}, \quad K = 0, 1, 2, \dots, L - 1,$$

где L – общее число уровней яркостей, n_K – число пикселей, имеющих значение яркостей K ; n – общее число элементов в изображении. Если число битов, используемых для представления каждого из значений r_K , равно $\ell(r_K)$, то среднее число битов (энтропия), требуемых для представления значения одного элемента, равно:

$$L_{cp} = \sum_{K=0}^{L-1} \ell(r_K) P_r(r_K). \quad (1)$$

Если присваивать кодовые слова с меньшим числом бит более вероятным значениям, то можно достичь сжатия данных. Такой подход называют неравномерным кодированием. Когда значения яркости изображения кодируют некоторым способом, требующим большего числа символов, чем это строго необходимо (т.е. код не минимизирует выражение (1)), то говорят, что изображение имеет кодовую избыточность. Физической природой возникновения кодовой избыточности в этом случае является то, что изображения, как правило, состоят из объектов, имеющих регулярную, в некотором смысле, предсказываемую морфологию (форму) и отражательные свойства поверхности. Прямым следствием этого является тот факт, что на большинстве изображений определенные значения яркости оказываются более вероятными, чем другие (т.е. гистограммы большинства изображений не являются равномерными). Обычное двоичное кодирование значений яркости таких изображений присваивает кодовые слова одинаковой длины как более вероятным, так и менее вероятным значениям. В результате не обеспечивается минимизация выражения (1) и появляется кодовая избыточность.

Важным следствием теории информации является тот факт, что энтропия сжатых данных совпадает с энтропией исходного источника. При этом предполагается, что по сжатым данным можно полностью восстановить исходную информацию. Такой подход принято называть сжатием без потерь (энтропийным сжатием) [6, 7]. Можно сказать, что компрессия без потерь является экстремальным случаем сжатия, при котором энтропия данных остается неизменной.

Здесь мы приходим к другой важной проблеме: каково наиболее компактное представление информации, если допускается неточное восстановление сжатых данных. Такое сжатие называется сжатием с частичной потерей информации. Сжатие с потерями по существу предполагает уменьшение энтропии исходной информации на основе удаления статистической (межэлементной), психовизуальной и структурной избыточности.

Как показали результаты измерения некоторых статистических характеристик второго порядка для различных изображений, функция автокорреляции зависит от наличия деталей в изображении, т.е. функция автокорреляция качественно связана со структурой изображения и является убывающей функцией. Примерно так же ведет себя и огибающая энергетического спектра. Отсюда следует, что большая часть энергии видеосигнала сосредоточена на низких частотах [9], иначе говоря, соседние элементы сильно коррелированы. Это отражает другую важную форму избыточности данных, которая напрямую связана с межэлементными связями внутри изображения – межэлементную избыточность.

Причиной возникновения межэлементной избыточности изображений является высокая разрешающая способность дискретного поля изображения, которая реализуется только вдоль контуров; на всех гладких участках

изображения она расходуется впустую, т.е. возникает межэлементная избыточность и увеличивается объем информации.

При сжатии видеoinформации кроме вероятностно-статистических свойств изображения (кодовая и межэлементная избыточность) весьма важно учитывать и особенности получателя изображений. Зрение человека обладает ограниченными возможностями и характеризуется некоторыми известными (отчасти) особенностями [6, 10]. Использование конкретных особенностей зрения для сокращения избыточности изображений называется психофизической обработкой, заключающейся в том, что часть информации, переносимой изображением, может быть исключена (потеряна) без соответствующих негативных последствий для восприятия этого изображения человеком.

Установлено, что процесс зрительного восприятия той или иной сцены меньше всего напоминает количественный анализ яркости или координат цвета отдельных элементов изображения. Наблюдатель скорее стремится отыскать в изображении наиболее важные отличительные характеристики такого типа, как контуры или текстурные области, и образовать из них комбинации, поддающиеся распознаванию [11, 12].

Наличие таких областей определяет структурную избыточность изображений, которая является следствием упорядоченности реальных сцен, состоящих из более или менее однородных областей, которые в конечном счете образуют предметы той или иной сцены. Опыт человеческого восприятия одной и той же сцены в различных графических, черно-белых и цветных вариантах показал, что для сохранения семантики изображения более важным оказывается не тип поля, а форма и взаимное расположение в нем целостных структурных единиц (объектов) [12]. Следовательно, при структурированном (контурно-текстурном) представлении цвет и яркость элементов играют, по всей видимости, вспомогательную роль, а успех восприятия определяется организацией экономного описания таких элементов, как контур или область. Однако необходимо сказать, что несмотря на очевидность такого вывода, большинство систем кодирования и передачи изобразительной информации основаны на устранении избыточности именно в яркости и цвете, а не в форме и положении объектов [6 – 9]. Поэтому есть все основания ожидать, что перспективные более емкие алгоритмы кодирования будут основываться главным образом на структурах изображения [10, 13].

Способы сжатия изображений на основе такого подхода (контурно-текстурной избыточности) заключаются в его сканировании и обнаружении повторяющихся однородных областей. Полученное таким образом описание изображения можно эффективно использовать для решения задач распознавания и классификации, а методы выделения признаков в этих задачах – для сжатия изображений. Таким образом, структурное описание изображений является общей частью решения проблем распознавания, классификации и сжатия изображений.

Существует и другой вид избыточности структурного типа, которая определяется семантической природой изображения на основании цели обработки и анализа изображений – содержательная избыточность [12, 14].

В задачах сжатия изображений устранение содержательной избыточности заключается в выделении объектов и фона и кодировании их с различным визуальным качеством. Это самый сложный и эффективный подход к решению задачи сжатия изображений, где в максимальной степени объединяются и используются методы распознавания образов и эффективного кодирования данных. Сложность такого подхода обусловлена недостаточной формализацией такого понятия как “объект” и отсутствием возможности иметь обязательный список обрабатываемых объектов, каждый из которых задан детерминировано, например, уравнением границ и распределением отсчетов сигнала внутри границ, что является характерным для задач распознавания и классификации [6, 9].

Содержательная (семантическая) избыточность тесно связана с конкретной решаемой задачей. Для одного и того же изображения она может быть различной в зависимости от целей обработки или получателя информации, поэтому формальное ее измерение затруднительно. В частности, два изображения можно считать семантически (содержательно) эквивалентными, если они позволяют выработать идентичные решения после их анализа человеком или ЭВМ.

Тогда одним из возможных подходов к передаче данных с устранением содержательной избыточности может быть такая организация последовательности передаваемых данных, при которой у получателя информации обеспечивается наиболее быстрое принятие решения. Когда решение принято, передачу (или выборку данных из памяти) можно прекратить, что эквивалентно сокращению объема передачи или сжатию данных. Следовательно, первой должна выбираться, передаваться, анализироваться и качественно кодироваться семантически наиболее насыщенная часть данных. Такой подход к кодированию на основе сокращения содержательной избыточности применяется во всех новейших информационных технологиях сжатия изображений [15, 16, 17].

На основании вышеизложенного на рис. 2. представлена схема классификации, взаимосвязи и развития методов сжатия, отвечающая современным тенденциям исследования в области кодирования и обработки изображений.

На основании анализа методов сжатия и схемы их классификации, на рис. 3. представлена обобщенная модель технологической среды сжатия данных, которая отражает концептуальный подход к кодированию изображений на основе объединения независимых методов сокращения избыточности и методов распознавания образов.

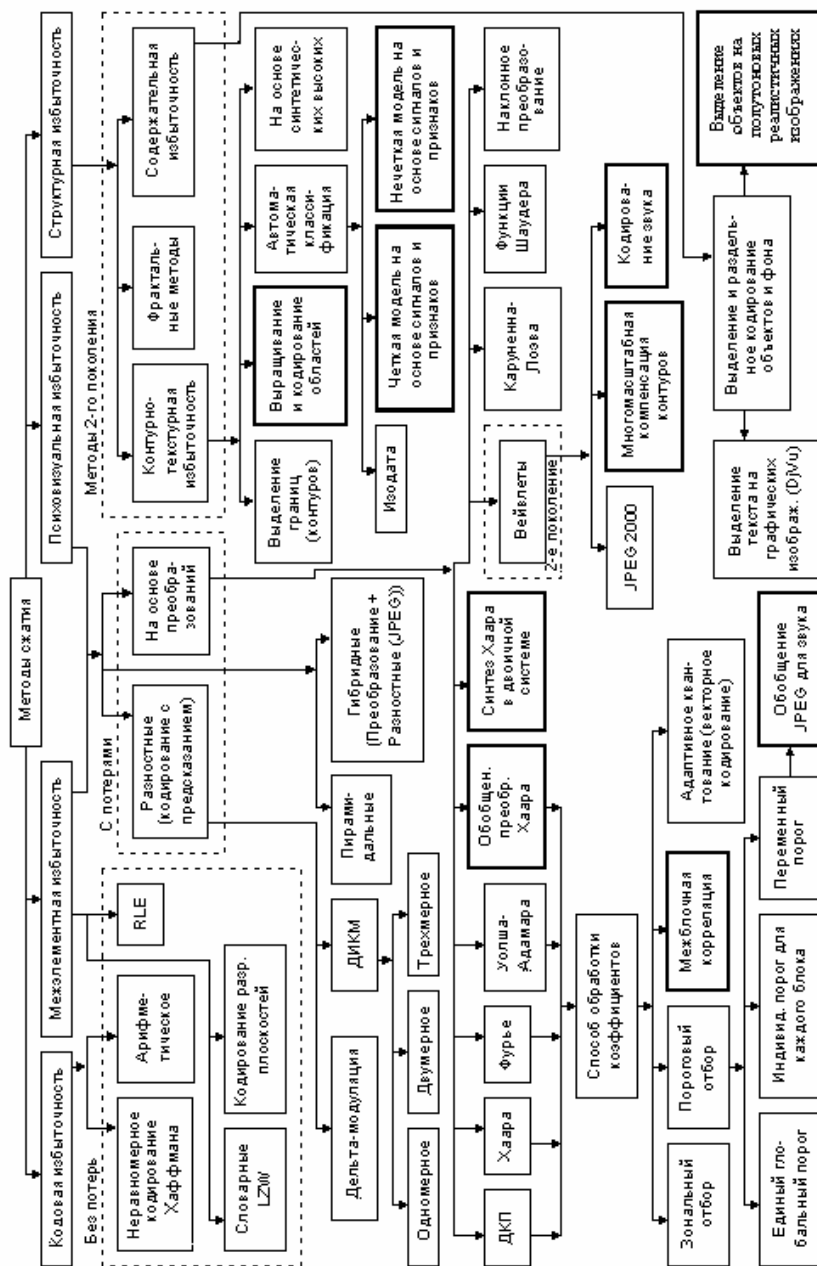


Рис. 2. Схема классификации, взаимосвязи и развития методов сжатия данных

Обобщенная модель технологической среды сжатия данных включает в себя декомпозиционные составляющие моделей разложения сигналов в ряды Фурье, вейвлет-анализа и контурно-текстурной модели на принципах группирования данных (автоматической классификации), позволяющая оставаться при этом в рамках классических методов теории и практики JPEG-сжатия изображений.

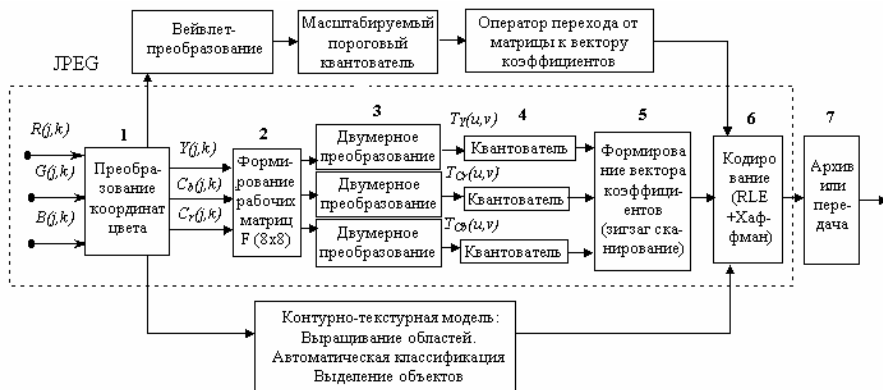


Рис. 3. Обобщенная модель технологической среды сжатия данных

Модель позволяет ослабить ограничения методов теории информации и теории кодирования, которые в недостаточной степени учитывают свойства зрительной системы человека, и в общей схеме кодирования изображений, состоящей из этапа формирования последовательности сообщений, а затем этапа формирования кодовых слов, основной упор делают на втором этапе, состоящем, в основном, из методов устранения межэлементной и кодовой избыточности сообщений. Результаты из области физиологии зрения и последних достижений технологий сжатия [1] дают веские аргументы в пользу применения общей контурно-текстурной модели для обработки и кодирования изображений, которая акцентирована, в первую очередь, на отбор сообщений для кодирования, используя методы распознавания образов, а само кодирование производится классическими методами теории информации [11, 15 – 17].

Выводы. Таким образом проведенный анализ и приведенная схема классификации методов сжатия данных вместе с предложенной обобщенной моделью технологической среды сжатия данных позволяет определить перспективные направления исследований в данной предметной области и выявить резервы как действующих JPEG-форматов сжатия изображений, так и указать новые подходы на основе методов автоматической классификации и

выделения объектов с целью дальнейшего их кодирования с различной степенью качества.

Список литературы: 1. Головных А. Цифровая среда обитания // СНИР. Компьютеры и коммуникации. – К.: Издат. дом "Софт Пресс". – 2003. – № 1. – С. 68-70. 2. Миронов С. Электронные архивы для промышленности // Открытые системы. – 2005. – № 2. – С. 56-60. 3. Новиков С. Передача данных видеонаблюдения по IP-сетям // Открытые системы. – 2003. – № 9. – С. 57-59. 4. Молодчик П. Видеокомпрессия: настоящее и будущее // Компьютерное обозрение. – К.: "Издательский Дом ИТС", 2002. – № 33. – С. 49-51. 5. Д. Мюррей, Уван Райнер. Энциклопедия форматов графических файлов. – К.: Издат. группа ВНУ, 1997. – 672 с. 6. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с. 7. Мановцев А.П. Основы теории радиотелеметрии. – М.: Энергия, 1973. – 592 с. 8. Орищенко В.И., Санников В.Г., Свириденко В.А. Сжатие данных в системах сбора и передачи информации. – М.: Радио и связь, 1985. – 184 с. 9. Претт У. Цифровая обработка изображений. В 2-х кн. – Кн. 2. – М.: Мир, 1982. – 480 с. 10. Кунт М., Икономопулос А., Кошер М. Методы кодирования изображений второго поколения // ТИИЭР. – М.: Мир, 1985. – Т. 73. – № 4. – С. 59-86. 11. Завалишин Н.В., Мучник И.Б. Модели зрительного восприятия и алгоритмы анализа изображений. – М.: Наука, 1974. – 344 с. 12. Александров В.В., Горский Н.Д. Представление и обработка изображений: Рекурсивный подход. – М.: Наука, 1985. – 192 с. 13. Сэлмон Д. Сжатие данных, изображений и звука. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с. 14. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. – М.: Радио и связь, 1986. – 400 с. 15. <http://www.dejavu.research.att.com/djvu/sci/djvuspec>. 16. Ричардсон Ян. Видеокодирование. Н. 264 и MPEG-4 – стандарты нового поколения. – М.: Техносфера, 2005. – 368 с. 17. Иванов В.Г., Любарский М.Г., Ломоносов Ю.В. Сокращение содержательной избыточности изображений на основе классификации объектов и фона // Проблемы управления и информатики. – К., 2007. – № 3. – С. 93-102.

УДК 004.627

Аналіз і класифікація методів стиснення зображень / Иванов В.Г., Ломоносов Ю.В., Любарский М.Г. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008. – № 49. – С. 78 – 86.

Побудована класифікація перспективних методів стиснення даних за критеріями ефективності і якості стиснення. Наголошується, що одним з найбільш перспективних методів кодування зображень є агрегативний підхід, об'єднуючий різні методи скорочення надмірності і методи розпізнавання образів. Лл.: 3. Бібліогр.: 17 назв.

Ключові слова: стиск зображень, класифікація, перспективні методи.

UDC 004.627

Analysis and classification of methods of compression of images / Ivanov V.G., Lomonosov U.V, Lyubarsky M.G. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2008. – № 49. – P. 78 – 86.

Classification is built perspective methods of compression of data on the criteria of efficiency and quality of compression. It is marked that one of the most perspective methods of encoding of images is aggregate approach, uniting the different methods of reduction of surplus and methods of recognition of patterns. Figs: 3. Refs: 17 titles.

Key words: compression of images, classification, perspective methods.

Поступила в редакцію 10.10.2008

Ю.П. КОНДРАТЕНКО, д-р техн. наук (м. Миколаїв),
С.А. СИДОРЕНКО, канд. техн. наук (м. Миколаїв),
Д.М. ПІДОПРИГОРА, канд. техн. наук "ПрогАвто" (м. Київ),
Є.С. МАРТИНЕНКО, (м. Миколаїв)

НЕЧІТКІ МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМИ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МОРСЬКИХ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Розглядаються питання формалізації нечіткими множинами та засобами нечіткої арифметики невизначеностей, що виникають в процесі прогнозування термінів прибуття вантажів в порти призначення при здійсненні морських контейнерних перевезень. Сформовані нечіткі моделі базуються на експертних оцінках та статистичних даних щодо руху контейнерів на напрямку "Південно-Східна Азія – Україна". Результати імітаційного моделювання підтверджують адекватність запропонованих нечітких моделей та ефективність запропонованого підходу щодо розв'язання задач прогнозування.

Ключові слова: нечітка модель, алгоритм прогнозування, параметри морських контейнерних перевезень, експертні оцінки, статистичні дані, імітаційне моделювання.

Постановка проблеми та аналіз літератури. До класу актуальних задач, що стоять перед розробниками сучасних інформаційних систем, відноситься математична формалізація невизначеностей при моделюванні транспортних процесів різного характеру. Однією з таких задач, що містить невизначеності, є прогнозування часу перевезення контейнерів на морському транспорті [1].

Процес руху контейнерів можна представити у вигляді послідовності, що складається з наступних етапів: 1) вихід з порту завантаження; 2) перехід між портами; 3) перевантаження в проміжному порту; 4) прибуття в порт призначення. При цьому пункти 2 та 3 можуть повторюватися кілька разів в залежності від реалізації конкретного маршруту.

Часові витрати на кожному з етапів не можуть прогнозуватись з достатньою точністю, оскільки на них впливають різноманітні (змінні у часі) фактори (сезон, завантаженість портів тощо), математична формалізація яких в рамках традиційних підходів є важкою або неможливою через необхідність врахування невизначеностей та експертної інформації. В той же час при управлінні відповідним логістичним підприємством задача планування ресурсів (наприклад, кількості автотранспорту, робочого часу митних брокерів тощо) не може бути ефективно розв'язана без достатньо адекватного прогнозування кількості контейнерів, що прибувають в порт призначення в певну добу. В таких випадках для врахування невизначеностей доцільним є використання теорії нечіткої логіки та нечітких множин [2 – 4].

Ціль статті – створення інформаційної системи прогнозування часу руху контейнерів з порту виходу до порту призначення на основі нечіткої моделі процесу транспортування контейнерів, розробленої з урахуванням

статистичної та експертної інформації з використанням методів теорії нечіткої логіки та нечітких множин. Апробація запропонованої нечіткої моделі та навчання бази функцій належності здійснені на прикладі актуальної для Української транспортної системи задачі перевезення контейнерів з Південно-Східної Азії та Китаю до портів Одеса та Іллічівськ.

Автоматизація управління підприємством на рівні інформаційних потоків. Розв'язання вказаної задачі у випадку транспортного логістичного підприємства включає ряд підзадач теоретичного та практичного характеру. До задач теоретичного характеру, в першу чергу, відноситься задача прогнозування часу прибуття контейнерів в порт призначення. Такий прогноз, виконаний з дотриманням вимог щодо точності, дозволить забезпечити ефективність планування ресурсів підприємства (зокрема автотранспорту).

Основою для побудови нечіткої моделі прогнозування часу прибуття контейнерів в порт призначення є статистична вибірка даних щодо близько 6 000 контейнерів, які надійшли до портів України впродовж 2007 р., а також експертна інформація щодо впливу сезонного фактору на рух суден та швидкість обробки контейнерів в портах перевантаження за даними одного з логістичних підприємств м. Одеси.

Час руху контейнера від порту завантаження до порту призначення в загальному вигляді може бути визначений наступним чином:

$$T = \sum_{i=1}^{n-1} P_{i+1} + \sum_{i=1}^{n-1} L_{i,i+1}$$

де T – загальний час проходження маршруту, включаючи час, що витрачається на обробку контейнера в порту призначення; n – кількість портів на маршруті руху (включаючи порт відправлення та порт призначення); P_{i+1} – час, що витрачається на етапі перевантаження в проміжному порту для i -го порту в маршруті. У випадку P_n розглядається час, що витрачається на розвантаження в порту призначення, митний, санітарний та екологічний контроль тощо. Завершенням етапу обробки в порту призначення вважається час, коли контейнер при вивезенні перетинає ворота порту; $L_{i,i+1}$ – час, що витрачається на переходи між i -м та j -м портами маршруту.

Величини P_{i+1} , $L_{i,i+1}$ та T , згідно до загальноприйнятої в галузі морських перевезень практики, слід дискретизувати з рівнем дискретизації одна доба.

Величини P_{i+1} та $L_{i,i+1}$ для конкретних портів та маршрутів не являються постійними. Вони залежать від цілого ряду факторів, що не можуть бути математично формалізовані (наприклад, сезонний фактор, фактор завантаженості судноплавних каналів тощо). При вирішенні задачі побудови моделі процесу перевезення контейнерів можна використати значний наявний масив статистичних даних, а також експертні дані, отримані від спеціалістів

галузі.

Для розробки нечіткої моделі пропонується формалізувати час, що витрачається на кожному з етапів руху контейнерів, за допомогою нечітких множин, визначених на універсумі часу руху T (в добах). Таким чином враховується невизначеність витрат часу на здійснення кожного з можливих етапів руху контейнерів. Маршрут руху представляється у вигляді послідовності етапів двох видів "Перехід між портами" і "Перевантаження". При введенні нечіткості параметрів попередній вираз набуває вигляду:

$$\tilde{T} = \sum_{i=1}^{n-1} \tilde{P}_{i+1} + \sum_{i=1}^{n-1} \tilde{L}_{i,i+1}, \quad (1)$$

де \tilde{T} – нечітка множина, що характеризує загальний час проходження маршруту; \tilde{P}_{i+1} – нечітка множина, що характеризує час на етапі "Перевантаження" для i -го порту в маршруті; $\tilde{L}_{i,i+1}$ – нечітка множина, що характеризує час на етапі "Перехід між портами".

Розглянемо можливі шляхи формування функцій належності нечітких множин \tilde{P} та \tilde{L} . В якості бази для формування нечітких множин використано реальні дані, отримані при доставці контейнерів під управлінням однієї з українських логістичних компаній на напрямках "Південно-східна Азія – Україна" та "Китай – Україна".

При синтезі функцій належності використовуються дані про 5864 реальних переходів контейнерів та 649 рейсів суден-контейнеровозів. Такий масив статистичної інформації не є достатнім для побудови математичної моделі лише з використанням традиційних імовірнісних підходів, тому в даній статті розглядається методика, що полягає в формуванні відповідних нечітких множин на базі статистичної інформації з їх наступною корекцією спеціалістами-експертами. Зв'язок між щільністю розподілу імовірності $X_p \sim \rho_X(x)$ випадкової величини X_p та функцією належності $\mu_X(x)$ відповідної їй нечіткої множини визначається виразом [5]:

$$\mu_X(x) = \frac{\rho_X(x)}{\max_x(\rho_X(x))}. \quad (2)$$

Згідно виразу (2) для формування функцій належності нечітких множин \tilde{P}_i та $\tilde{L}_{i,i+1}$ необхідно визначити щільність імовірності відповідних випадкових величин. Для вирішення цієї задачі побудовано гістограми витрат часу на переходи та перевантаження в портах на основі статистичної вибірки. В якості прикладу на рис. 1 наведено гістограми для порту Port Kelang.

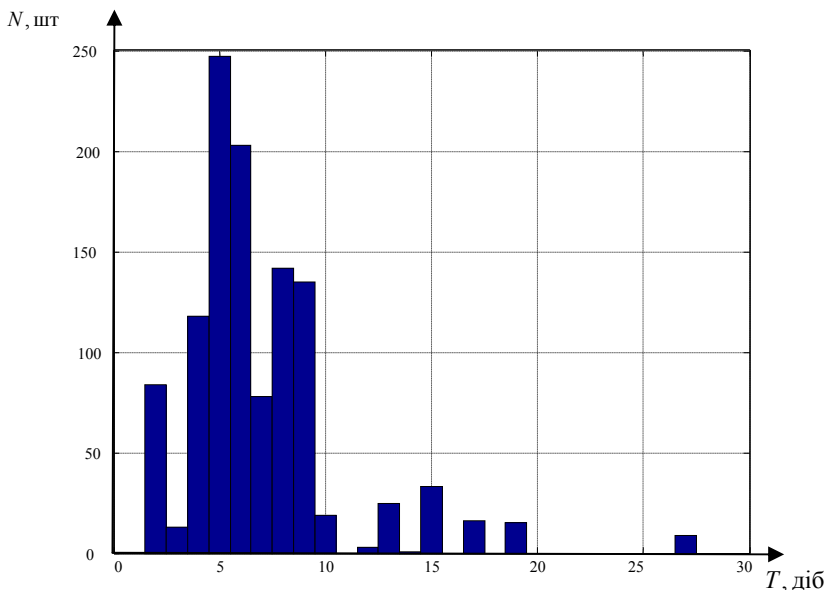


Рис. 1. Гістограма для порту Port Kelang

Отримані гістограми пред'являлись спеціалістам-експертам, завдання яких полягало в формуванні трикутних функцій належності на базі гістограм. Експерти формулювали свої висновки у вигляді висловлювань виду "Найбільш можливий (ймовірний) час переходу між портами A та B складає x діб, при цьому не може бути меншим за y діб і більшим за z діб".

Для врахування сезонного фактору до нечіткої моделі (1) введено сезонний коефіцієнт \tilde{k}_{i+1} , що також має нечіткий характер. В результаті корекції нечітка модель (1) набуває вигляду

$$\tilde{T} = \sum_{i=1}^{n-1} \tilde{P}_{i+1} \cdot \tilde{k}_{i+1} + \sum_{i=1}^{n-1} \tilde{L}_{i,i+1} \cdot \quad (3)$$

Згідно гістограм отримані функції належності кожного етапу для двох сезонів "зима – весна" і "літо – осінь". Після формування на основі експертних даних базових функцій належності діленням нечітких чисел $\tilde{P}_{\text{сез}}$ (дані статистичної вибірки) на $\tilde{P}_{\text{баз}}$ (формується на основі експертних даних) отримано сезонні коефіцієнти для кожного з етапів:

$$\tilde{k}_{\text{сез}} = \tilde{P}_{\text{сез}} / \tilde{P}_{\text{баз}} \cdot \quad (4)$$

При визначенні нечітких множин $\tilde{L}_{i,i+1}$, що характеризують час переходу

між близько розташованими портами, відхилення від нормативного часу руху не перевищує одну добу. В таких випадках нечітка множина має характеризуватися імпульсною функцією належності (ФН). Іншими словами, час переходу між портами в даному випадку є детермінованим і не містить невизначеностей. Для решти нечітких множин прийнято спосіб апроксимації за допомогою ФН трикутної форми.

Перехід до ФН обраної форми від функцій належності, сформованих на основі гістограм розподілу з використанням виразу (2), полягає в пошуку найближчої за відстанню трикутної ФН. Приклад сформованої функції належності та вихідної гістограми для процесу перевантаження в Port Kelang представлено на рис. 2.

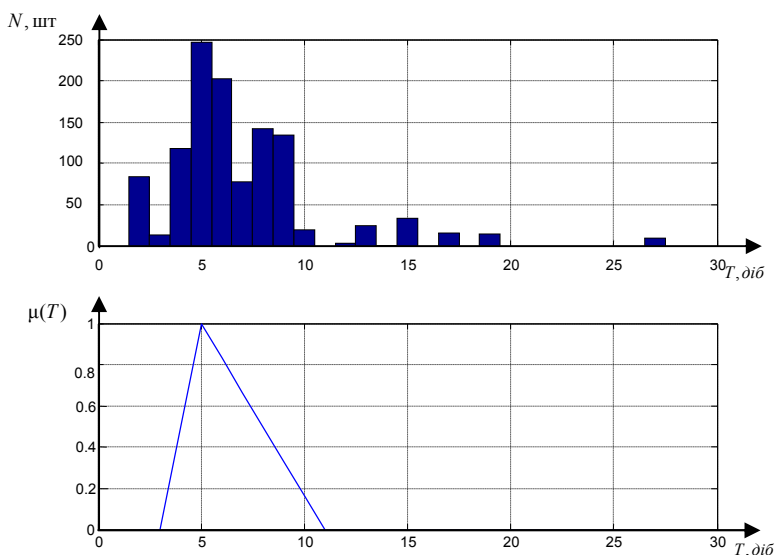


Рис. 2. Гістограма і найближча трикутна функція належності для порту Port Kelang

Кінцевим результатом розроблюваної системи прогнозування часу прибуття контейнерів є:

- час прибуття контейнера, розрахований на основі відомої дати виходу з порту завантаження і представлений у вигляді інтервалу дат;
- короткостроковий план прибуття контейнерів, що формується на найближчі 30 днів і містить дані про очікувану кількість контейнерів, що прибувають кожної доби.

Нижче сформульовано алгоритм обчислення дати прибуття контейнера на основі нечіткої моделі (3):

Крок 1. Задається дата виходу контейнера з порту відвантаження, назва

порту відвантаження, порт призначення та всі проміжні пункти маршруту (зазвичай вони є відомими).

Крок 2. З бази даних вибираються значення нечітких множин \tilde{P} , \tilde{L} та \tilde{k} для обраних портів та переходів.

Крок 3. За виразом (3) розраховується нечітка множина, що характеризує час переходу контейнера з порту завантаження до порту призначення.

Крок 4. Для заданого α -рівня α_D , що характеризує "рівень довіри", визначаються границі діапазону часу найбільш очікуваного прибуття контейнеру $[T_1, T_2]$.

В процесі відстежування руху контейнерів дата початку і завершення етапів його руху стають відомими. Для таких контейнерів трикутні функції належності, що характеризують очікуваний час завершення етапів замінюються імпульсними ФН, що характеризують фактичну інформацію.

Розглянемо більш детально алгоритм формування короткострокового плану:

Крок 1. Для всіх контейнерів, що знаходяться на стадії руху до порту призначення, розраховуються інтервали $[T_1, T_2]$.

Крок 2. Для кожної j -ої доби формується вибірка Q з контейнерів, для яких доба, що розглядається, потрапляє в інтервал $[T_1, T_2]$. Кількість контейнерів в вибірці позначимо m .

Крок 3. Для кожної j -ої доби прогнозована кількість контейнерів, що прибувають, обчислюється за формулою:

$$N_j = \sum_{i=1}^m \frac{1}{d_i},$$

де d_i – ширина інтервалу $[T_1, T_2]$ i -го контейнера вибірки Q .

Крок 4. Після повторення кроків 1, 2 для всіх діб прогнозу результати представляються в графічному вигляді – залежність $N(j)$ кількості контейнерів N від конкретної доби j .

Апробацію розробленого алгоритму здійснено на базі імітаційного моделювання процесу прогнозування руху додаткової вибірки з 491 контейнерів, які не використовувалися при формуванні функцій належності для вищезгаданих етапів руху (рис. 3, 4).

Оскільки обсяг початкової вибірки недостатній для формування ФН всіх портів і маршрутів, то моделювання проводилося для маршруту Busan – Shanghai – Constanza – Plychevsk (вибірка для даного маршруту має найбільший обсяг). Рівняння (3) для вказаного маршруту має вигляд:

$$\tilde{T} = \sum_{i=1}^{n-1} \tilde{P}_{i+1} \cdot \tilde{k}_{i+1} + \sum_{i=1}^{n-1} \tilde{L}_{i,i+1} \cdot \tilde{k}_{i,i+1} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\tilde{P}_2 \cdot \tilde{k}_2, \bar{P}_2 \cdot \bar{k}_2) + \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\tilde{P}_3 \cdot \tilde{k}_3, \bar{P}_3 \cdot \bar{k}_3) +$$

$$\begin{aligned}
& + \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\tilde{P}_4 \cdot \tilde{k}_4, \tilde{P}_4 \cdot \tilde{k}_4) + \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\tilde{L}_{1,2} \cdot \tilde{k}_{1,2}, \tilde{L}_{1,2} \cdot \tilde{k}_{1,2}) + \\
& + \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\tilde{L}_{2,3} \cdot \tilde{k}_{2,3}, \tilde{L}_{2,3} \cdot \tilde{k}_{2,3}) + \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\tilde{L}_{3,4} \cdot \tilde{k}_{3,4}, \tilde{L}_{3,4} \cdot \tilde{k}_{3,4}).
\end{aligned}$$

На рис. 3 представлені результати синтезу функцій належності на кожному з етапів руху контейнера по маршруту "Busan – Shanghai – Constanza – Ilyichevsk" для сезону зима-весна, а рис. 4 – процес формування короткострокового плану прибуття контейнерів.

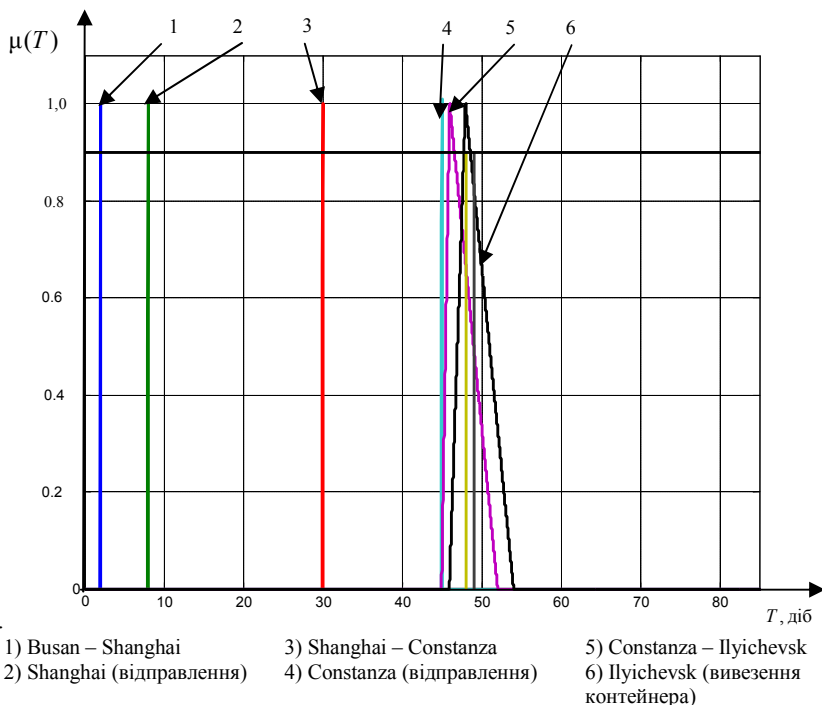


Рис. 3. Прогнозування часових параметрів для 6-ти етапів

Висновки. В результаті проведених досліджень створено нечітку модель процесу транспортування контейнерів з урахуванням статистичних даних вибірки обсягом 5864 елементів та формалізацією експертної інформації відносно впливу сезонного фактору на зміну параметрів руху контейнерів. Розроблена модель враховує характер невизначеності вхідної інформації відносно часу перевантаження в проміжних портах та часу переходу між портами. Обґрунтовано та формалізовано методику синтезу функцій належності нечітких множин, що характеризують окремі етапи руху

контейнерів. Синтез здійснюється на основі гістограм розподілу елементів статистичної вибірки. На основі нечіткої моделі руху контейнерів розроблено алгоритм прогнозування часу прибуття контейнера до порту призначення та алгоритм формування короткострокового плану прибуття контейнерів.

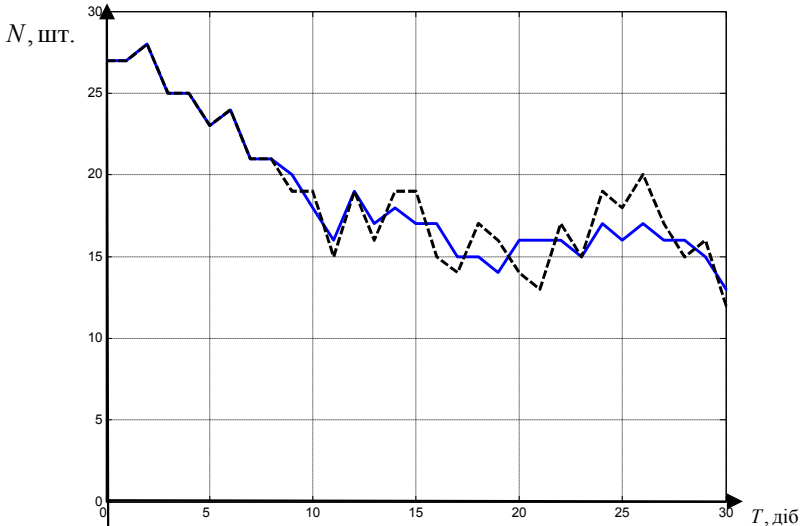


Рис. 4. Формування короткострокового плану прибуття контейнерів:
 а) неперервна лінія – прогнозована кількість контейнерів;
 б) пунктирна лінія – фактична кількість контейнерів за добу

Здійснено перевірку адекватності розроблених моделей та сформованих на їх основі алгоритмів шляхом імітаційного моделювання та порівняння отриманих прогнозів з фактичними даними для додаткової вибірки з 491 контейнерів. На основі моделювання встановлено, що при виборі α -рівня = 0,9 кількість контейнерів, які потрапили у прогнозований часовий інтервал, дорівнює 67 % (випадок повної відсутності детермінованої інформації), що відповідає наперед встановленим вимогам.

Список літератури: 1. Kondratenko Y.P., Werners B. Solving routing problem in marine environment using fuzzy logic / Proc. of Int. Conf. on Modelling and Simulation MS'2001. – Lviv. – 2001. – P. 109–110. 2. Zadeh L. Fuzzy sets // Information and control. – 1965. – №. 8. – P. 338–353. 3. Zimmerman H.J. Fuzzy Set Theory. – 2nd edition. – Kluwer, Boston, 1991. – 315 p. 4. Weber R., Werners B., Zimmermann H.-J. Planning models for research and development // European Journal of Operational Research. – 1990. – 48. – P. 175–188. 5. Шолун А.Г. Построение функции принадлежности нечеткого множества и оценка его вероятностных характеристик. – 2003. – <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/040.pdf>

УДК 651.326

Нечеткие модели и алгоритмы для прогнозирования параметров морских контейнерных перевозок / Кондратенко Ю.П., Сидоренко С.А., Подопрюга Д.Н., Мартыненко Е.С. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2008. – № 49. – С. 87 – 95.

Рассматриваются вопросы формализации нечеткими множествами и средствами нечеткой арифметики неопределенностей, возникающих при прогнозировании сроков прибытия грузов в порт назначения при осуществлении морских контейнерных перевозок. Сформированные нечеткие модели основаны на экспертных оценках и статистических данных движения контейнеров на направлении "Юго-Восточная Азия – Украина". Результаты имитационного моделирования подтверждают эффективность предложенного подхода для решения задач прогнозирования. Ил.: 4. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: нечеткая модель, алгоритм прогнозирования, параметры морских контейнерных перевозок, экспертные оценки, статистические данные, имитационное моделирование.

UDC 651.326

Fuzzy models and algorithms for prediction of parameters of sea container transportation / Kondratenko Y.P., Sydorenko S.A., Pidopryhora D.M., Martynenko Ye.S. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2008. – №. 49. – P. 87 – 95.

The formalization of uncertainty, which appear during prediction of cargo arriving time to destination port in international sea transportation, is considered in the report using fuzzy sets and fuzzy arithmetic approach. Suggested fuzzy models are based on the experts' evaluations and statistical data about containers movement in the direction "South-East Asia - Ukraine". The results of simulation modeling confirm the efficiency of suggested approach for prediction tasks solving. Figs: 4. Refs: 5 titles.

Key words: fuzzy model, algorithm of the forecasting, parameters of sea containerized transportation, expert estimations, statistical data, simulation modeling.

Поступила в редакцию 28.10.2008

С.И. МАТОРИН, д-р техн. наук, БелГУ (г. Белгород, Россия),
М.В. МИХЕЛЕВ, БелГУ (г. Белгород, Россия),

ФОРМАЛИЗАЦИЯ МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ ПАТТЕРНОВ

В статье рассмотрены многоагентные системы (МАС) и теория паттернов. Предложена модель, позволяющая формализовать структурную и функциональную часть агента. Также представлено описание МАС в виде алгебраической системы.

Ключевые слова: агент, многоагентные системы, теория паттернов.

Постановка проблемы. Развитие информационных технологий и современных компьютерных систем привело к тому, что при практической реализации распределенных систем возникли серьезные трудности с проектированием и описанием объединенных в единую сеть разнородных локальных компьютерных узлов. Главный смысл происходящих в настоящее время смен концепций состоит в переходе от индивидуальных систем к распределенной обработке информации и разработке многоагентных интеллектуальных систем (МАС).

Анализ литературы. Многоагентные системы (МАС) созданы для решения различных задач искусственного интеллекта, в которых присутствует несколько участников (интеллектуальных агентов).

Технология многоагентных систем – это новая парадигма информационной технологии, ориентированной на совместное использование научных и технических достижений и преимуществ, которые дают идеи и методы искусственного интеллекта, современные локальные и глобальные компьютерные сети, распределенные базы данных и распределенные вычисления, аппаратные и программные средства поддержки теории распределенности и открытости. Принципиальным отличием новой парадигмы построения прикладных систем является то, что в ней определяющим являются данные (факты), которые указывают направление вычислений [1, 2].

Интеллектуальные агенты – программные объекты (особый род компьютерных программ), которые способны взаимодействовать друг с другом, анализировать полученную информацию и выполнять процесс преобразования входного потока данных в выходной. Как правило, агенты могут обучаться для выполнения конкретной работы.

Уровень интеллектуальности (уровень интеллекта) определенного агента можно оценить как способность агента использовать старые знания в новых, может быть, заранее неизвестных ему ситуациях и проблемных областях, где оцениваемый агент приемлем как активный решатель задач.

Как правило, каждый агент (модуль) работает с определенной метафорой, определяющей функции и особенности исполнителя (человека). Идея каждой

метафоры – это инструментальная система (прототип), отражающая схему взаимодействия между исполнителями в данной ситуации.

Под интеллектуальным агентом в информатике и искусственном интеллекте понимаются любые физические или виртуальные единицы, способные, по крайней мере, поддерживать взаимодействие с окружающим миром, получая от него информацию, и, реагируя на нее своими действиями, проявлять собственную инициативу, посылать и получать сообщения от других агентов и вступать с ними во взаимодействие, действовать без вмешательства извне, в том числе и без вмешательства человека.

Интеллектуальные агенты, обладая развитым внутренним представлением внешней среды и возможностями рассуждений, способны запоминать и анализировать различные ситуации, предвидеть возможные реакции на свои действия, делать из этого выводы, полезные для дальнейших действий, и в результате прогнозировать свое будущее и изменения внешней среды. Интеллектуальные способности позволяют таким агентам строить виртуальные миры, работая в которых, они формируют планы действий [3].

Ульф Гренандер создал основы теории паттернов в период с 1960 по 1970 годы. Выход в свет работы Гренандера привлекло внимание специалистов в области распознавания образов, информатики и программирования. Эта теория обладает большой гибкостью, оригинальностью, глубиной математических и философских идей, она может быть использована в различных областях знаний [4]. Особый интерес представляет ее применение в системах, обладающих модульной структурой.

Гренандер в своей теории [5] использует объекты или паттерны четырех видов. Паттерн – означает образец, шаблон, шаблонную модель.

К первому типу относятся объекты, называемые образующими. Они моделируют относительно простые объекты реального мира, обладающие связями. Образующие также могут соединяться с другими объектами (образующими).

Из образующих, путем объединения их в группы, конструируются регулярные конфигурации, являющиеся объектами второго типа.

Объектами третьего типа теории являются изображения, получаемые следующим образом: сходные между собой регулярные конфигурации объединяются в множество, на котором определяются классы эквивалентности. Отношение эквивалентности, определяющее класс эквивалентности на множестве регулярных конфигураций, называется изображением.

Четвертым типом объектов являются образы. В теории паттернов образом называется множество изображений, инвариантных относительно преобразований подобия [6, 7].

Формальные методы теории паттернов, применяемые на каждом из четырех уровней, отличаются высокой степенью гибкости и позволяют

моделировать связи, соединения и преобразования подобия логических объектов реального мира.

Цель статьи – структурное и функциональное описание агента и MAC с помощью теории паттернов.

Формализация MAC. Для структурного и функционального описания агента и MAC воспользуемся теорией паттернов. Попробуем представить агента в терминах теории паттернов. Агент соответствует понятию образующей в данной теории. Под образующей в этой теории [5] понимается именованный объект, обладающий некоторыми признаками *a*, а так же входящими и выходящими связями (в свою очередь характеризующимися некоторыми показателями *b*).

В нашем случае экземпляр агента можно рассматривать как имя образующей. Процесс преобразования входного потока данных в выходной агента – как признак образующей, а связи взаимодействия агента с другими агентами – как связи образующей.

Общее описание MAC в виде алгебраической системы может быть представлено следующим образом:

$$MAC = (A, E, R, ORG),$$

где *A* – множество агентов, т.е. множество образующих; *E* – множество MAC, т.е. коммуникационная среда, в которой происходит взаимодействие с другими MAC; *R* – множество взаимодействий между агентами, т.е. множество конфигураций; *ORG* – представление данной MAC как изображения.

В рамках такой модели *i*-й агент (образующая) с точки зрения организации его интерфейса с другими элементами системы может быть описан как тройка

$$A_i = (E_i, R_i, ORG_i),$$

где *E_i* – MAC коммуникационной среды, в которой взаимодействует агент ($E_i \subset E$); *R_i* – подмножество связей данного агента с другими агентами ($R_i \subset R$); *ORG_i* – представление данной MAC как изображения.

Многоагентную систему можно представить в виде системы УФО-элементов. Система УФО-элементов строится на основе системологического подхода [8]. Системологический подход в первую очередь позволяет представить бизнес-систему как функциональный объект, связанный входными и выходными потоками с другими объектами (системами). Детализация этого положения приводит к рассмотрению бизнес-системы с трех сторон. С одной стороны, как перекрестка входных и выходных связей/потоков, т.е. как Узла. С другой стороны, как процесса (процедуры) преобразования элементов, втекающих по входным потокам, в элементы, вытекающие по выходным потокам, т.е. как Функции. С третьей стороны, как

материального явления, реализующего (выполняющего) функцию преобразования входа в выход, т.е. как Объекта.

Интеграция этих трех аспектов позволяет представить любую бизнес-систему как элемент Узел–Функция–Объект (УФО-элемент), формализующий три очевидных факта:

1) любая бизнес-система обязательно находится в структуре (является узлом) системы более высокого яруса (надсистемы);

2) любая бизнес-система обязательно как-либо функционирует (преобразует вход в выход);

3) любая бизнес-система (если она находится в структуре и функционирует) обязательно существует как материальное явление (персонал, здания, оборудование, документы и т.д. и т.п.):

$$o = F(\gamma, \phi) .$$

В нашем случае УФО-элемент с узлом ($У$) – перекрестком потоков o, γ, ϕ ; функцией (F) – процессом преобразования потоков γ, ϕ в поток o ; объектом (O) – материальным образованием, физически выполняющим данный процесс.

Многоагентная система будет состоять из агентов, каждый агент, в свою очередь, будет представлять из себя УФО-элемент. Проектирование МАС с использованием системно-объектного подхода (УФО) приводит к упрощению (автоматизации) построения моделей бизнес-систем. Это произойдет за счет того, что модель бизнес-системы будет строиться из готовых, относительно независимых, самостоятельных блоков (агентов).

Выводы. В результате проделанной работы был предложен новый метод формализации многоагентных систем.

Список литературы: 1. *Поспелов Д.А.* Многоагентные системы – настоящее и будущее // Информационные технологии и вычислительные системы. – 1998. – № 1. – С.14-21. 2. *Евгеньев Г.Б.* Мультиагентные системы компьютерной инженерной деятельности // Информационные технологии. – 2000. – № 4. 3. *Тарасов В.Б.* От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с. 4. *Шуткин Л.В.* О применении теории паттернов в компьютерных системах // <http://www.osp.ru/os/1995/06/31.htm>. 5. *Гренандер У.* Лекции по теории образов. Синтез образов. – М.: Мир, 1979. – 384 с. 6. *Шуткин Л.В.* Результаты и перспективы применения теории паттернов к компьютерам // НТИ. Сер. 2. – 1996. – № 12. – С. 13-21. 7. *Шуткин Л.В.* Паттерновые сети для моделирования информационных систем // <http://www.pvti.ru/stat/shutkin.pdf>. 8. *Маторин С.И.* Анализ и моделирование бизнес систем: системологическая объектно-ориентированная технология. – Харьков: ХНУРЭ, 2002. – 322 с.

УДК 651.326

Формалізація багатоагентних систем за допомогою теорії патернів / Маторін С.І., Міхлев М.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008. – № 49. – С. 96 – 99.

У статті розглянуті багатоагентні системи (БАС) і теорія патернів. Запропонована модель, що дозволяє формалізувати структурну і функціональну частину агента. Також представлений опис БАС у вигляді системи алгебри. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: агент, багатоагентні системи, теорія патернів.

UDC 651.326

Formalization of the multiagent systems by the theory of patterns / Matorin S.I., Mikhelev M.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2008. – №. 49. – P. 96 – 99.

In article multiagent systems (MAS) and the theory of patterns are considered. It suggested allowing to formalize a structural model and functional part of the agent. Also description MAS in the form of algebraic system is presented. Refs: 8 titles.

Key words: agent, multiagent systems, theory of patterns.

Поступила в редакцию 28.10.2008

К.В. МЕЛЬНИК, НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
А.Е. ГОЛОСКОКОВ, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

ПРОЦЕДУРА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ПАЦИЕНТА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Рассмотрена процедура применения нечеткой логики к решению задачи диагностирования сердечно-сосудистой системы пациента на примере такого заболевания сердца, как инфаркт миокарда. Рассмотрены характерные особенности задачи диагностирования. Предложен вариант решения задачи постановки диагноза работы сердца, используя экспертную систему, построенную с помощью продукционной модели представления знаний.

Ключевые слова: нечеткая логика, задача диагностирования, инфаркт миокарда, экспертная система, продукционная модель представления знаний.

Описание проблемы и анализ литературы. На современном этапе развития общества, с его новыми методами и средствами лечения, существует проблема заболеваемости населения. Несмотря на постоянные исследования в сфере медицины, появляются все новые смертельные заболевания, а процент существующих, только увеличивается. Причин тому много – и плохая экология, и геномодифицированные продукты, и постоянное развитие промышленности. Такие весомые факторы влияют на понижение иммунитета человека, что способствует увеличению процента смертности от различных заболеваний. К таким заболеваниям относятся заболевания сердечно-сосудистой системы (ССС). Поэтому в настоящее время актуальна задача диагностирования состояния СССР пациента. Анализ литературы показал, что проблемой в сфере кардиологического диагностирования занимались еще с середины 20-го века. Для решения данной задачи применялись различные методики: метод логического базиса и фазового интервала [1], вероятностный или байесовский метод [1, 2], статистический подход [1, 3], нейросетевые технологии [4, 5]. Использование этих подходов имеет такие характерные особенности: ненадежность принятия решения, необходимость в большой базе архивных данных, которая доступна не всем медицинским учреждениям, нераспознавание исключительных ситуаций, пересечение классов заболеваний. Еще одна особенность заключалась в том, что для принятия решений о каком-либо нарушении в работе сердца использовался только один анализ электрокардиограмм (ЭКГ). Как показывает медицинская практика, одного снятия ЭКГ недостаточно в связи с тем, что существуют нарушения в организме, не связанные с кардиологией, но которые будут проявляться на кардиограмме как нарушения работы сердца. Для исключения подобных ситуаций необходимо проводить еще ряд анализов: клинический анализ крови, биохимический анализ крови, рентген грудной клетки.

Постановка задачи. В данной статье предлагается решение поставленной проблемы в виде создания и использования экспертной системы (ЭС), которая будет помогать принимать решения кардиологам в сложных случаях. ЭС в сфере кардиологии – интеллектуальная система, аккумулирующая знания экспертов (врачей – кардиологов), и способная вырабатывать решения на уровне врача. Одним из важнейших свойств ЭС является то, что принятие решений может осуществляться в условиях не полной исходной информации. В таком случае при проведении диагностирования может возникнуть ситуация, при которой степень уверенности в повреждении миокарда примерно равна по всем локализациям, либо не достигнут заданный порог принятия решения, то есть результат работы ЭС – неопределенное состояние ССС. Такая ситуация характерна при явном нарушении работы сердца, но характер заболевания не относится к повреждению миокарда. Неоднозначность в работе ЭС может быть вызвана дополнительными нарушениями в организме, например, воспалительным процессом или нарушением ритма сердца, вызванным стрессом. Результат работы системы в таком случае будет характеризоваться определенной степенью достоверности.

Задача диагностирования наличия инфарктов миокарда имеет следующие характерные особенности:

- большая размерность исходных данных, что объясняется достаточно большим количеством синдромов и признаков, получаемых при обработке необходимых анализов;
- различная природа исходных данных (качественные, количественные, шкалированные данные);
- пересечение классов заболеваний – осложненные случаи нарушения работы сердца;
- неполные исходные данные из-за невозможности определить какие-либо признаки ввиду различных проблемных ситуаций;
- стохастичность исходных данных.

Анализируя свойства, присущие рассматриваемой проблеме, можно заключить, что в основе работы ЭС необходимо использовать не классические методы, как то – статистический или вероятностный, имеющие ряд недостатков, а методы, основанные на использовании нечеткой логики, которая позволит учесть все характерные особенности задачи диагностирования.

Врач-кардиолог производит постановку диагноза с помощью логических рассуждений, основываясь на апостериорной информации, полученной на основе своего опыта. ЭС при решении какой-либо проблемы пытается смоделировать рассуждения врача для получения результата, то есть в основу функционирования системы необходимо заложить одну из моделей представления знаний кардиолога, связанных с инфарктами миокарда. Существует четыре модели представления знаний: логические,

продукционные, сетевые, фреймовые [6]. Каждая модель имеет свое применение и свои достоинства и недостатки. В работе предлагается использовать продукционную модель, поскольку продукционная модель наиболее адекватно отображает знания эксперта – кардиолога. Рассуждениям врача часто присуща эмоциональная окраска, что способствует тому, что даже количественные признаки могут быть описаны качественными понятиями, как то: хороший пульс, высокое давление, нестабильный ритм. Поэтому для формализации знаний кардиолога необходимо применить аппарат лингвистических переменных (ЛП) [7], который позволит обрабатывать значения признаков и синдромов, имеющих различную природу. Как было показано в работе [8], каждый признак наличия инфаркта миокарда представляет собой ЛП, состоящую из совокупности нечетких переменных, например:

< "Уровень фибриногена", {низкий, средний, высокий}, $[0 \div 7 \text{ г/л}] >$.

Каждая нечеткая переменная из терм-множества ЛП представляет собой описание нечеткого множества с помощью функций принадлежности. В работе [8] показан пример описания качественной переменной для выявления инфаркта миокарда с помощью функций Гаусса. Далее каждый признак необходимо описать аналогичным образом для того, чтобы сделать основу для создания продукционной системы.

Продукционная система состоит из продукционной базы правил и интерпретатора, реализующего логический вывод. В свою очередь, нечеткая продукционная база правил (НПБП) состоит из множества нечетких продукционных правил, которые представляют собой обособленные фрагменты знаний о решаемой проблеме. Каждое правило описывает состояние ССС пациента, в данном случае это такие состояния, как перечень различных локализаций инфаркта миокарда и нормальное состояние работы сердца – отсутствие рассматриваемого заболевания, например:

{ P_i : если $y_1=\text{пр}$ и $y_2=\text{отс}$ и $y_3=\text{отс}$ и $y_4=\text{отс}$ и $y_5=\text{пр}$ и $y_6=\text{отс}$ и $y_7=\text{отс}$ и $y_8=\text{отс}$ и $y_9=\text{отс}$ и $y_{10}=\text{пр}$ и $y_{11}=\text{пр}$ и $y_{12}=\text{пр}$ и ... $y_{15}=\text{выс}$ и ... , то $x_j = \text{ИМ2}$ },

где y_1, \dots, y_{12} – патологический зубец Q соответственно в отведениях I, II, III, $avR, avL, avF, V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$;

y_{15} – уровень фибриногена;

"пр", "отс", "выс" – функции принадлежности значений признаков, равные соответственно: присутствует, отсутствует, высокий;

ИМ2 – острый переднебоковой инфаркт миокарда.

После составления НПБП, производится инициализация интерпретатора, заключающаяся в выборе метода для нечеткого логического вывода. Самыми распространенными алгоритмами нечеткого вывода являются алгоритмы Мамдани, Сугено, Цукамото, Ларсона, которые имеют отличительные особенности на заключительном этапе использования НПБП – этапе

дефаззификации (приведения к четкости). Предварительными этапами являются следующие этапы: фаззификация (введение нечеткости), логический вывод, композиция [7, 8].

Выводы. Использование интеллектуальных систем принятия решений поможет произвести выбор из перечня предполагаемых заболеваний, что существенно сократит время на постановку диагноза и ускорит процесс оказания помощи пациенту. Уменьшению сложности выработки управляющего воздействия для такого сложного и неоднозначного объекта исследования как человеческий организм, способствует применение нечеткого аппарата принятия решений.

Список литературы: 1. Мисюк Н.С., Гурленя А.М., Лозовик В.В. Диагностические алгоритмы. – Мн.: Вышэйшая школа, 1980. – 187 с. 2. Ластед Л. Введение в проблему принятия решений в медицине. – М.: Мир, 1981. – 283 с. 3. Фрейзер П. Микрокомпьютеры в физиологии. – М.: Мир, 1990. – 383 с. 4. Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с. 5. Комашинский В.И., Смирнов Д.А. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 94 с. 6. Бондарев В.Н., Аде Ф.Г. Искусственный интеллект. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2002. – 615 с. 7. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 382 с. 8. Мельник К.В., Голоскоков А.Е. Система принятия решений при управлении лечением сердечных заболеваний // Вестник НТУ "ХПИ". Тем. вып.: Системный анализ, управление и информационные технологии. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2008. – № 26. – С. 13-17.

УДК 004.93

Процедура діагностування стану серцево-судинної системи пацієнту на основі нечіткої логіки / Мельник К.В., Голоскоков О.Є. // Вісник НТУ "ХПИ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2008. – № 49. – С. 101 – 104.

Розглянута процедура застосування нечіткої логіки до рішення задачі діагностування серцево-судинної системи пацієнта на прикладі такого захворювання серця, як інфаркт міокарду. Розглянуті характерні особливості задачі діагностування. Запропонований варіант рішення задачі постановки діагнозу роботи серця, використовуючи експертну систему, побудовану за допомогою продукційної моделі представлення знань. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: нечітка логіка, задача діагностування, інфаркт міокарду, експертна система, продукційна модель представлення знань.

UDC 004.93

Diagnostics of cardiovascular system health state based on fuzzy logic approach / Melnik K.V., Goloskokov A.E. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2008. – № 49. – P. 101 – 104.

Procedure for fuzzy logic application to solve problem of cardiovascular system diagnostic of patient based on myocardial infarction is considered. Properties of diagnostic is described. Problem solving variant of heart work diagnostic with the help of expert system based on productional model of knowledge presentation. Refs: 8 titles.

Key words: fuzzy logic, diagnostics, myocardial infarction, expert system, productional model of knowledge presentation.

Поступила в редакцию 10.10.2008

Д.А. НИЦЫН

МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРИЗНАКОВ В БАЙЕСОВСКОМ КЛАССИФИКАТОРЕ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Предлагается модель представления диагностических признаков в виде графа, который связывает значения признаков, описывающих состояние здоровья, с числами их возможных сочетаний. Предложенная модель упрощает определение условных вероятностей данных сочетаний диагностических признаков при применении формулы Байеса для классификации медицинских изображений.

Ключевые слова: диагностические признаки, формула Байеса, медицинские изображения.

Постановка проблемы. К решению задач медицинской диагностики, как правило, привлекаются данные, которые являются неполными или неточными. Поэтому наилучшим подходом к классификации медицинских изображений является применение вероятностных методов [1 – 3]. Например, в основу классификации, которая позволяет распознавать состояние здоровья пациентов по рентгеновским изображениям их внутренних органов, можно положить формулу Байеса [1]:

$$P(H_1 / S_k) = \frac{P(H_1)P(S_k / H_1)}{P(H_1)P(S_k / H_1) + P(H_2)P(S_k / H_2)}. \quad (1)$$

Результатом вычислений по формуле Байеса является оценка апостериорной вероятности $P(H_1 / S_k)$ гипотезы о том, что данное медицинское изображение не имеет симптомов заболевания, при условии, что диагностические признаки имеют данное сочетание S_k . При этом $P(H_1)$ – априорная вероятность гипотезы о том, что рентгенограмма не содержит патогенных зон; $P(H_2)$ – априорная вероятность гипотезы о том, что рентгенограмма содержит патогенные зоны; $P(S_k / H_1)$ – условная вероятность данного сочетания диагностических признаков при условии, что рентгеновское изображение не содержит симптомов болезни; $P(S_k / H_2)$ – условная вероятность данного сочетания диагностических признаков при условии, что рентгеновское изображение содержит симптомы болезни.

Одна из проблем применения формулы Байеса состоит в том, что вычисление апостериорной вероятности $P(H_1 / S_k)$ требует подсчета числа сочетаний диагностических признаков. Эта задача имеет достаточно простое решение, если размерность E пространства диагностических признаков равна двум. Действительно, пусть классификация состояний здоровья выполняется по двум независимым признакам S^1 и S^2 , которые могут принимать следующие значения $S^1 = S_1^1, \dots, S_i^1, \dots, S_n^1$, $S^2 = S_1^2, \dots, S_j^2, \dots, S_m^2$. Тогда результаты вычислений условных вероятностей $P(S_k / H_1)$, $P(S_k / H_2)$ можно

представить в виде таблиц, в ячейки которых заносятся объекты диагноза, имеющие данное сочетание диагностических признаков $S_k = S_i^1 \& S_j^2$. Поэтому в таблице, представленной на рис. 1, содержимое каждой ячейки соответствует количеству объектов наблюдения, которые имеют данное сочетание диагностических признаков $S_k = S_i^1 \& S_j^2$. Однако в случае, если евклидова размерность пространства диагностических признаков $E \geq 3$, представление результатов статистических вычислений в виде таблицы становится невозможным.

	S^1_1	...	S^1_i	...	S^1_n
S^2_1	N_{11}	...	N_{i1}	...	N_{n1}
...
S^2_j	N_{1j}	...	N_{ij}	...	N_{nj}
...
S^2_m	N_{1m}	...	N_{im}	...	N_{nm}

Рис.1

Анализ литературы. Приложению формулы Байеса к решению задач медицинской диагностики посвящено достаточное количество публикаций. Например, в работе [1] приведена модификация формулы Байеса, которая представляет собой попытку найти решение проблемы подсчета данных сочетаний диагностических признаков. Вычисление вероятности диагноза $P(H_1/S_k)$ при условии, что состояние пациента определяется набором признаков S_k , основывается на предположении, что признаки S_i^1, S_j^2 могут принимать дискретные значения в интервале $S_i^1 = [0, 1]$, $i = 1, \dots, n$, и $S_j^2 = [0, 1]$, $j = 1, \dots, m$. При этом условные вероятности $P(S_k/H_1)$, $P(S_k/H_2)$, входящие в выражение (1), определяются по следующим формулам:

$$P(S_k / H_1) = \prod_{i=1}^n (S_i^1 P(S_i^1 / H_1) + (1 - S_i^1)(1 - P(S_i^1 / H_1))) \cdot \prod_{j=1}^m (S_j^2 P(S_j^2 / H_1) + (1 - S_j^2)(1 - P(S_j^2 / H_1))); \quad (2)$$

$$P(S_k / H_2) = \prod_{i=1}^n (S_i^1 P(S_i^1 / H_2) + (1 - S_i^1)(1 - P(S_i^1 / H_2))) \cdot \prod_{j=1}^m (S_j^2 P(S_j^2 / H_2) + (1 - S_j^2)(1 - P(S_j^2 / H_2))). \quad (3)$$

Формулы, по которым подсчитываются условные вероятности $P(S_k / H_1)$ и $P(S_k / H_2)$, выведены в предположении, что значения диагностических признаков равняются $S_i^1 = 1$ и $S_j^2 = 1$, если данный признак у наблюдаемого пациента присутствует, и значения диагностических признаков равняются $S_i^1 = 0$ и $S_j^2 = 0$, если указанный признак у диагностируемого пациента отсутствует.

Однако к данному способу вычисления условных вероятностей $P(S_k / H_1)$ и $P(S_k / H_2)$ можно предъявить существенное замечание. Это замечание состоит в том, что вероятности $P(S_k / H_1)$ и $P(S_k / H_2)$ данного сочетания диагностических признаков $S_k = S_i^1 \& S_j^2$ не могут равняться произведениям условных вероятностей того, что признаки S_i^1 , S_j^2 принимают данные значения:

$$P(S_k / H_1) = P(S_i^1 \& S_j^2 / H_1) \neq P(S_i^1 / H_1)P(S_j^2 / H_1);$$

$$P(S_k / H_2) = P(S_i^1 \& S_j^2 / H_2) \neq P(S_i^1 / H_2)P(S_j^2 / H_2).$$

Это обусловлено тем, что данное сочетание значений диагностических признаков является событием, а не совокупностью независимых событий, состоящих в присвоении диагностическим признакам данных значений. Поэтому приведенный выше способ вычисления условных вероятностей не решает проблему, связанную с подсчетом числа данных сочетаний диагностических признаков [4 – 7].

Целью статьи является разработка модели представления диагностических признаков, которая позволяет придать процедуре подсчета числа данных сочетаний диагностических признаков наглядный и удобный для вычислений вид.

Метод определения условных вероятностей данных сочетаний диагностических признаков. Пусть задана статистическая выборка, которая

состоит из N рентгенограмм, не содержащих признаков заболевания. Кроме того, пусть классификация состояний здоровья также выполняется по двум признакам S^1 и S^2 , как и классификация, представленная на рис. 1. Выполним процедуру подсчета числа данных сочетаний диагностических признаков в следующей последовательности:

– распределим число N объектов наблюдения по значениям $S^1 = S_1^1, \dots, S_i^1, \dots, S_n^1$ первого признака. Получим числа $N_1^1, \dots, N_i^1, \dots, N_n^1$ объектов наблюдения, которые имеют данные значения первого признака;

– распределим каждое число $N_1^1, \dots, N_i^1, \dots, N_n^1$ объектов наблюдения, которые имеют данные значения первого признака, по значениям $S^2 = S_1^2, \dots, S_j^2, \dots, S_m^2$ второго признака. Получим числа $N_{11}, \dots, N_{ij}, \dots, N_{nm}$ сочетаний данных значений первого S^1 и второго S^2 признаков.

Представим результаты подсчета числа данных сочетаний диагностических признаков в виде графа [8], показанного на рис. 2. Этот граф образован совокупностью значений двух признаков S^1 и S^2 , причем связи между его узлами описываются числом их возможных сочетаний. Заметим, что представление результатов расчета в виде графа позволяет установить следующие зависимости между числом объектов наблюдения, имеющих данное сочетание диагностических признаков, и числом объектов наблюдения, которые имеют данное значение диагностического признака:

$$N_1^2 = N_{11} + \dots + N_{i1} + \dots + N_{n1}; \quad (4)$$

$$\dots \dots \dots$$

$$N_j^2 = N_{1j} + \dots + N_{ij} + \dots + N_{nj}; \quad (5)$$

$$\dots \dots \dots$$

$$N_m^2 = N_{1m} + \dots + N_{im} + \dots + N_{nm}; \quad (6)$$

$$N_1^1 = N_{11} + \dots + N_{1j} + \dots + N_{1m};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$N_i^1 = N_{i1} + \dots + N_{ij} + \dots + N_{im};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$N_n^1 = N_{n1} + \dots + N_{nj} + \dots + N_{nm};$$

$$N = N_1^1 + \dots + N_i^1 + \dots + N_n^1.$$

Покажем, что определение числа сочетаний диагностических признаков не зависят от порядка, в котором перечисляются диагностические признаки. Пусть процедура вычисления начинается с того, что объекты наблюдения распределяются по значениям второго признака S^2 , после чего объекты

наблюдения, сгруппированные по значениям $S^2 = S_1^2, \dots, S_j^2, \dots, S_m^2$, распределяются по значениям первого признака S^1 .

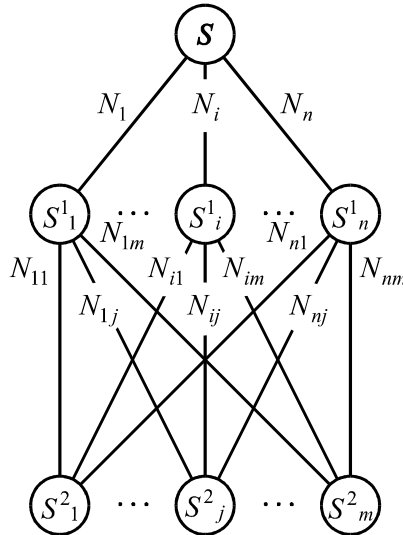


Рис.2

Представим результаты распределения объектов наблюдения в виде графа, приведенного на рис. 3. При этом связи между узлами графа, характеризующими значения диагностических признаков, позволяют установить следующие зависимости:

$$N_1^2 = N_{11} + \dots + N_{1i} + \dots + N_{1n}; \quad (7)$$

$$N_j^2 = N_{j1} + \dots + N_{ji} + \dots + N_{jn}; \quad (8)$$

$$N_m^2 = N_{m1} + \dots + N_{mi} + \dots + N_{mn}. \quad (9)$$

Сравним соотношения (4) – (6) с соотношениями (7) – (9). Поскольку число объектов наблюдения, имеющих данное значение второго признака S^2 , одинаково как при составлении соотношений (4) – (6), так и при составлении соотношений (7) – (9), будут справедливы следующие равенства:

$$N_{ij} = N_{ji}, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m.$$

Следовательно, результаты определения числа сочетаний диагностических признаков действительно не зависят от порядка, в котором перечисляются диагностические признаки.

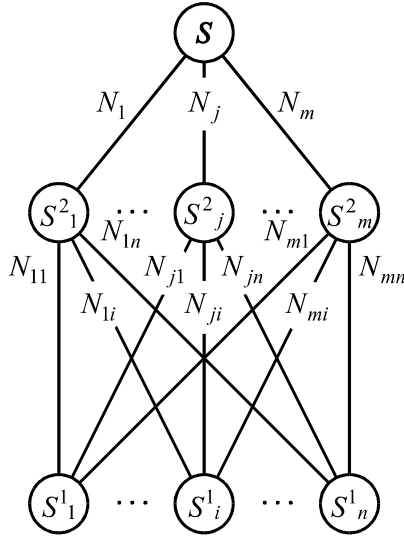


Рис.3

Введем третий диагностический признак, принимающий значения $S^3 = S^3_1, \dots, S^3_k, \dots, S^3_l$. При этом граф, описывающий процедуру определения числа данных сочетаний диагностических признаков S^1 и S^2 , дополняется строкой, моделирующей процедуру распределения объектов наблюдения, сгруппированных по значениям второго признака $S^2 = S^2_1, \dots, S^2_j, \dots, S^2_m$, по значениям третьего признака S^3 . Представим процедуру определения числа данных сочетаний диагностических признаков S^1 , S^2 , S^3 в виде графа, показанного на рис. 4. При этом, если узлы графа соответствуют отдельным значениям диагностических признаков, а связи между ними – числу возможных сочетаний значений диагностических признаков, то данный граф можно описать следующей системой линейных уравнений:

$$N_k^3 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m N_{ijk}, \quad k = 1, \dots, l; \quad (10)$$

$$N_j^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l N_{ijk}, \quad j = 1, \dots, m; \quad (11)$$

$$N_i^1 = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l N_{ijk}, \quad i = 1, \dots, n; \quad (12)$$

$$N = \sum_{i=1}^n N_i^1. \quad (13)$$

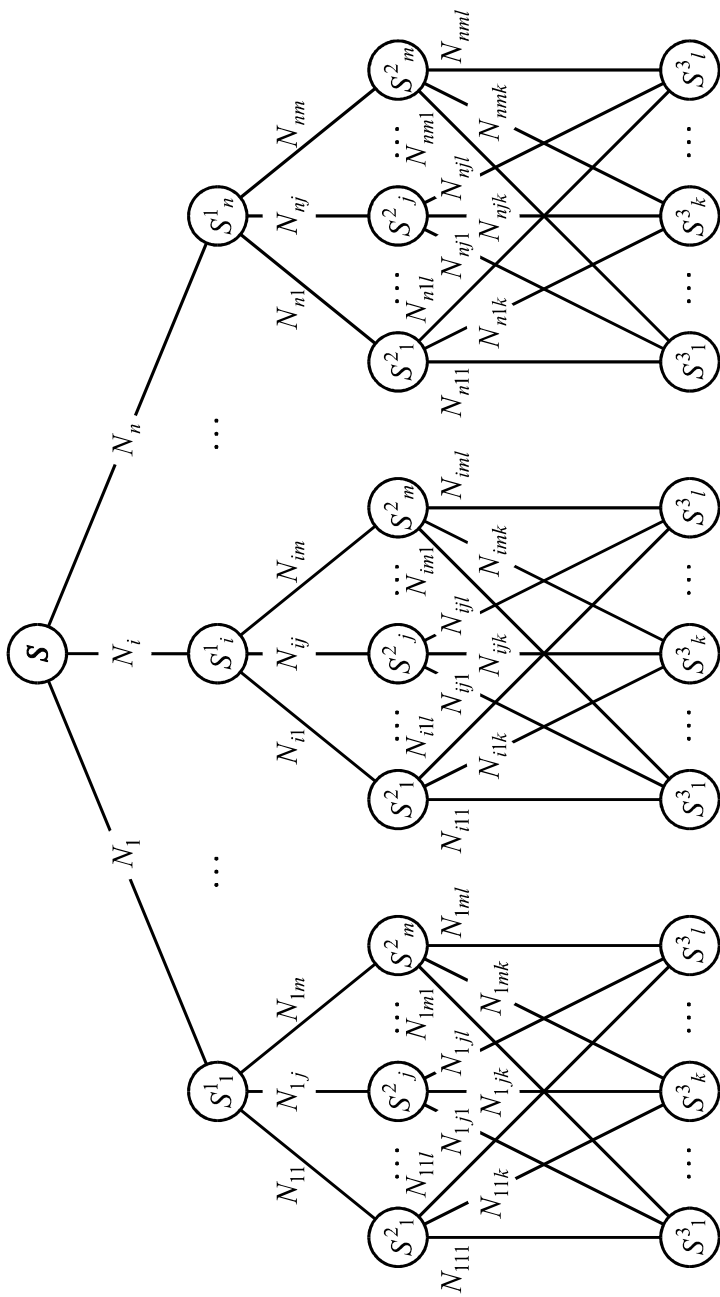


Рис.4

Заметим, что данную графическую модель представления диагностических признаков можно распространить на случай, когда евклидова размерность пространства диагностических признаков $E > 3$. Действительно, введем дополнительный признак S^4 . При этом граф, соответствующий размерности $E = 4$, наследует структуру графа, построенного для размерности $E = 3$, и дополняет его строкой, состоящей из узлов, отображающих значения диагностического признака S^4 . Кроме того, связи между узлами описываются системой линейных алгебраических уравнений, количество которых равно сумме чисел значений всех диагностических признаков, увеличенной на единицу $q = n + m + l + \dots + 1$, а количество неизвестных равно произведению чисел значений всех диагностических признаков $p = n \times m \times l \times \dots \times 1$. Если ввести $p - q$ дополнительных условий, то процедуру подсчета числа возможных сочетаний диагностических признаков можно заменить решением системы линейных алгебраических уравнений (10) – (13).

Преимуществом данного подхода является то, что достаточно сложная задача на определение числа данных сочетаний значений диагностических признаков сводится к решению более простой задачи на определение числа данных значений диагностических признаков. При этом определение числа данных сочетаний значений диагностических признаков можно представить как решение системы уравнений (10) – (13).

Выводы. Таким образом, впервые разработана графическая модель представления диагностических признаков в виде графа, узлы которого являются значениями диагностических признаков, а связи между ними выражают условные вероятности того, что объект наблюдения имеет данное сочетание значений диагностических признаков. Эта модель позволяет придать процедуре подсчета числа данных сочетаний диагностических признаков наглядный и удобный для вычислений вид и распространяется на случай, когда евклидова размерность пространства диагностических признаков больше или равна трем. Кроме того, впервые выведены соотношения (10) – (12), которые связывают условные вероятности того, что объект наблюдения имеет данные сочетания значений диагностических признаков, с условными вероятностями того, что объект наблюдения, имеет данные значения диагностических признаков. Эти соотношения доказывают несостоятельность применения формул (2) – (3) для выбора гипотезы с помощью формулы Байеса. Направление дальнейших исследований связано с поиском дополнительных условий, необходимых для решения системы линейных уравнений, описывающей граф чисел данных сочетаний диагностических признаков.

Список литературы: 1. *Постнова Т.Б.* Информационно-диагностические системы в медицине. – М.: Наука, 1972. – 376 с. 2. *Максимов Г.К., Синицын А.Н.* Статистическое моделирование многомерных систем в медицине. – Л.: Медицина, 1983. – 144 с. 3. *Завалишин Н.В., Мучник И.Б.*

Модели зрительного восприятия и алгоритмы анализа изображений. – М.: Наука, 1976. – 402 с. 4. *Форсайт Д, Понс Ж.* Компьютерное зрение. Современный подход. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. – 928 с. 5. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1104 с. 6. *Потанов А.С.* Распознавание образов и машинное зрение. – СПб.: Политехника, 2007. – 548 с. 7. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с. 8. *Кристофидес Н.* Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978. – 432 с.

УДК 681.518.54

Модель подання ознак у байсовському класифікаторі медичних зображень / Ніцин Д.О. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", 2008. – № 49. – С. 105 – 113.

Пропонується модель подання діагностичних ознак у вигляді графа, який зв'яже значення параметрів, що описують стан здоров'я, із числами їх можливих сполучень. Запропонована модель спрощує визначення умовних ймовірностей даних сполучень діагностичних ознак при застосуванні формули Байеса для класифікації медичних зображень. Л.: 4. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: діагностичні ознаки, формула Байеса, медичні зображення.

UDC 681.518.54

Model of representation of attributes in the Bayesian qualifier of the medical images / Nitsyn D.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – NTU "KhPI". – 2008. – №. 49. – P. 105 – 113.

The model of representation of diagnostic attributes as the column is offered which connects meanings of parameters describing a condition of health, to numbers of their probable combinations. The offered model simplifies definition of conditional probabilities of the given combinations of diagnostic attributes at application of the Bayesian formula for classification of the medical images. Figs: 4. Refs: 8 titles.

Key words: diagnostic attributes, Bayesian formula, medical images.

Поступила в редакцію 16.10.2008

И.И. ОБОД, д-р техн. наук, НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
А.Э. ЗАВОЛОДЬКО, НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО ОБНАРУЖИТЕЛЯ ТРАЕКТОРИЙ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ ЗАПРОСНЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ

Приводится синтез оптимальной структуры обнаружителя траекторий воздушных объектов по данным запросных систем наблюдения в единой постановке вопроса обнаружения в рассматриваемых информационных системах: обнаружитель ответных импульсов, обнаружитель ответных сигналов, обнаружитель воздушного объекта и собственно обнаружитель траекторий. Получены выражения для показателей качества обнаружения траекторий.

Ключевые слова: обнаружитель траекторий, воздушный объект, запросные системы наблюдения, информационная система, ответный сигнал.

Постановка задачи и обзор литературы. Информационное обеспечение, базирующееся на системах наблюдения (СН), в значительной степени определяет решение задач, стоящих перед потребителями. Опыт ведущих стран мира свидетельствует, что в них уже довольно длительный срок существуют национальные единые системы контроля использования воздушного пространства как войсковой, так и гражданской авиацией. Очевидно, что при этом достигается максимальная эффективность использования воздушного пространства при сравнительно низких материальных, технических и людских затратах. Одной из составляющих системы контроля использования воздушного пространства является единая информационная сеть (ЕИС) на базе существующих СН страны. Сетевому построению информационных средств уделяется значительное внимание [1, 2]. Как правило, в ЕИС реализуется распределенная обработка информации. Это приводит к реализации вторичной обработки информации в каждой СН. При этом следует отметить, что в запросных СН [3, 4], которые при реализации принципа автоматического зависимого наблюдения превращаются в один из основных источников информации, вынуждено реализуются и алгоритмы сопровождения воздушных объектов (ВО). Действительно, если для первичных СН теория и практика реализации алгоритмов сопровождения ВО достаточно подробно изложена в [2, 5], то вопросам сопровождения ВО по данным запросных СН уделено незначительное внимание. Запросные СН, решающие классификационную задачу идентификации ВО, построены по принципам: несинхронной сети; открытых одноканальных систем массового обслуживания с отказами [6–8]. Это обстоятельство вынуждает рассматривать их как инерционные системы со случайным пропаданием ответных сигналов, характеризующиеся коэффициентом готовности ответчика

(P_0). Это обстоятельство необходимо учитывать при реализации алгоритмов сопровождения ВО по данным запросных СН.

Цель работы. Синтез оптимального обнаружителя траекторий воздушных объектов по данным запросных систем наблюдения.

Обнаружение (захват) траекторий ВО рассматривается, как правило, в виде отдельной структуры, на вход которой поступают данные от устройства первичной обработки СН. Реализация распределенной обработки в ЕИС, которая предполагает реализацию устройств вторичной обработки информации в каждой СН, позволяет рассматривать обнаружение (захват) траекторий ВО в единой постановке вопроса, т.е. исключив разделение обработки на первичную и вторичную. Для запросных СН, с позиций обнаружения это: обнаружение ответных импульсов, обнаружение ответных сигналов, обнаружение ВО и собственно обнаружение (автозахват) траектории.

В такой постановке вопроса обнаружения траектории наблюдатель располагает матрицей реализаций $\vec{X} = x_{ij}$ ($i = \overline{1, n \times m}$; $j = \overline{1, N}$), где $x_{ij} = 1$, если в элементе временного разрешения, соответствующем анализируемому пространственному разрешению, произошло превышение порога; если же не произошло – то $x_{ij} = 0$, n – значность ответных сигналов; m – критерий принятия решения об обнаружении ВО; N – число ответных сигналов в пачке. Следует отметить, что рассматриваемые реализации берутся после линейной обработки и детектирования, с выхода порогового устройства.

Для принятия решения о наличии или отсутствии сигнала совместной обработки подвергается совокупность нулей и единиц x_{ij} . Очевидно, что x_{ij} – случайная величина, подчиняющаяся распределению Бернулли

$$P(x_{ij}) = P_{ij}^{x_{ij}} (1 - P_{ij})^{1-x_{ij}}, \quad (1)$$

где P_{ij} – вероятность превышения порога в i -м временном канале обработки. В отсутствие сигнала $P_{ij} = F_{ij}$ – вероятность ложной тревоги, а при воздействии сигнала $P_{ij} = P_0 D_{ij}$ – вероятность обнаружения сигнала в запросных СН.

Предположим, что на вход устройства совместной обработки принимаемых сигналов поступает совокупность случайных величин x_{ij} . Совместные распределения вероятностей всех возможных комбинаций x_{ij} как в отсутствии, так и при наличии сигнала (гипотезы H_0 и H_1), т.е. $P(x_{ij} | H_0)$ и $P(x_{ij} | H_1)$ произвольны, но известны. Для каждой конкретной совокупности x_{ij} сформируем отношение правдоподобия

$$\Lambda = P(x_{ij} | H_1) / P(x_{ij} | H_0).$$

Сравнение Λ с порогом, определенным по допустимой вероятности ложной тревоги, обеспечивает оптимальное по критерию Неймана-Пирсона решение о наличии или отсутствии сигнала.

Из-за независимости шумов в каналах временной обработки можно записать

$$P(x_{11}, \dots, x_{n \times m, N} | H_0) = \prod_{i=1, j=1}^{n \times m, N} P(x_{ij} | H_0) = \prod_{i=1, j=1}^{n \times m, N} F_{ij}^{x_{ij}} (1 - F_{ij})^{1-x_{ij}}. \quad (2)$$

При воздействии сигнала превышение порогов в каналах обработки – независимые события. Тогда можно записать

$$P(x_{11}, \dots, x_{n \times m, N} | H_1) = \prod_{i=1, j=1}^{n \times m, N} P(x_{ij} | H_1) = \prod_{i=1, j=1}^{n \times m, N} D_{ij}^{x_{ij}} (1 - D_{ij})^{1-x_{ij}}. \quad (3)$$

С учетом (2) и (3) выражение (1) можно записать как

$$\Lambda = \prod_{i=1, j=1}^{n \times m, N} D_{ij}^{x_{ij}} (1 - D_{ij})^{1-x_{ij}} \bigg/ \prod_{i=1, j=1}^{n \times m, N} F_{ij}^{x_{ij}} (1 - F_{ij})^{1-x_{ij}}. \quad (4)$$

Прологарифмировав (4), получаем

$$L = \ln \Lambda = \sum_{i=1, j=1}^{n \times m, N} x_{ij} (\ln D_{ij} - \ln F_{ij}) + (1 - x_{ij}) [\ln(1 - D_{ij}) - \ln(1 - F_{ij})]. \quad (5)$$

Если обозначить множители при x_{ij}

$$Q_{ij} = \ln D_{ij} - \ln F_{ij} - \ln(1 - D_{ij}) + \ln(1 - F_{ij}) = \ln \left(D_{ij} (1 - F_{ij}) / (1 - D_{ij}) F_{ij} \right) \quad (6)$$

и отбросить слагаемые, не зависящие от x_{ij} , то получаем оптимальный, по критерию Неймана-Пирсона, алгоритм обнаружения (захвата) траектории ВО при объединении предварительных решений всех временных каналов обработки

$$L = \sum_{i=1, j=1}^{n \times m, N} Q_{ij} x_{ij} \underset{<}{\overset{>}{\geq}} z_0, \quad (7)$$

где z_0 – порог, определяемый вероятностью F (ложного захвата траектории).

Следовательно, совместная обработка сигналов сводится к весовому суммированию единиц и нулей x_{ij} , отражающих принятые во временных каналах обработки предварительные решения. Весовые коэффициенты (6) повышают роль того временного канала обработки, где выше вероятность D_{ij} и ниже вероятность F_{ij} . Вышеизложенное позволяет изобразить структуру обнаружителя в виде, представленном на рис.

Поскольку x_{ij} равны 0 или 1, то левая часть (7) представляет собой сумму $k < n \times m \times N$ весовых коэффициентов Q_{ij} , а значит, может принимать лишь определенные дискретные значения. Значение порога z_0 в этом случае может

лежать в пределах $0 < z_0 < \sum_{i=1, j=1}^{n \times m, N} Q_{ij}$, чтобы, с одной стороны, не принималось всегда тривиальное решение об обнаружении траектории, а с другой – тривиальное решение о необнаружении траектории.

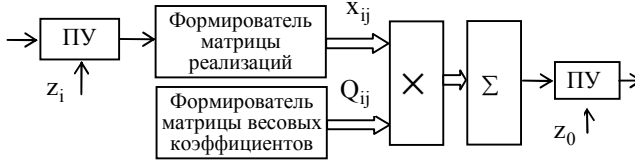


Рис. Структура обнаружителя

При фиксированных вероятностях предварительных решений во временных каналах обработки F_{ij} и D_{ij} , разные решающие правила дают разные значения вероятностей F и D . Чтобы выбрать оптимальное правило, т.е. порог z_0 в (7), получим выражения для вероятностей ложной тревоги F и обнаружения D . Так как x_{ij} подчиняются распределению Бернулли (1) с плотностью $W(x_{ij}) = P_{ij}\delta(x_{ij}-1) + (1-P_{ij})\delta(x_{ij})$, то для случайной величины $z_{ij} = Q_{ij}x_{ij}$ получим плотность вероятности и характеристическую функцию в виде

$$W(z_{ij}) = P_{ij}\delta(z_{ij} - Q_{ij}) + (1 - P_{ij})\delta(z_{ij}), \quad \Theta(u) = P_{ij} \exp(juQ_{ij}) + (1 - P_{ij}).$$

Характеристическая функция L – суммы независимых величин (7)

$$\Theta_L(u) = \prod_{i,j=1}^{n \times m, N} \Theta_{ij}(u) = \prod_{i,j=1}^{n \times m, N} [P_{ij} \exp(juQ_{ij}) + (1 - P_{ij})]. \quad (8)$$

Обратное преобразование Фурье дает плотность вероятности L

$$W_L(u) = \prod_{i,j=1}^{n \times m, N} (1 - P_{ij})\delta(z) + \sum_{k=1}^z \sum_{i_1=1}^{z-k+1} \dots \sum_{i_k=i_{k-1}+1}^z P_{i_1}P_{i_2} \dots P_{i_k} \delta(z - \sum_{r=1}^k Q_{i_r}) \prod_{j=1}^z (1 - P_j). \quad (9)$$

При изменении k от 1 до z кратность суммы в (9), в общем случае, также меняется от 1 до z . Подставив в (9) F_{ij} или D_{ij} , и проинтегрировав его от z_0 до ∞ получаем вероятность ложной тревоги или обнаружения. Если большее ближайшее z_0 значение суммы весовых коэффициентов содержит n слагаемых и равно $\sum_{r=1}^k Q_{i_r}$, то вероятность превышения порога z_0 можно записать в виде

$$P = \sum_{k=n}^z \sum_{i_1=1}^{z-k+1} \dots \sum_{i_k=i_{k-1}+1}^z P_{i_1}P_{i_2} \dots P_{i_k} \prod_{j=1}^z (1 - P_j). \quad (10)$$

Если $F_1 = \dots = F_z = F_0$ и $D_1 = \dots = D_z = D_0$, то $Q_1 = \dots = Q_z$, то для алгоритма (10) можно записать

$$P = \sum_{n=k}^z C_m^n \tilde{P}^n (1 - \tilde{P})^{z-n}. \quad (11)$$

По выражениям (10) и (11) при заданных значениях F_{ij} , D_{ij} можно вычислить выходные вероятности F и D для любого значения порога z_0 и соответствующего ему решающего правила. Чем больше z_0 (т.е. чем жестче решающее правило), тем меньше F и D . Алгоритм (11), оптимальный при $Q_1 = \dots = Q_z$, несколько проще, чем (10), так как не требует анализа в каждом временном канале вероятностей F_{ij} , D_{ij} и вычисления Q_{ij} .

Выводы. Таким образом, оптимизация обнаружения траекторий по данным запросных СН ЕИС сводится к выбору одного из решающих правил, удовлетворяющих алгоритму (7), и к выбору относительного порога обнаружения импульсов, обеспечивающего такое значение F_{ij} , которое при выбранном решающем правиле дают требуемое значение результирующей вероятности ложного захвата траектории F .

В дальнейшем, представляет интерес рассмотреть квазиоптимальные структуры обнаружителя траектории ВО по данным запросных СН, учитывающие последовательность выполнения промежуточных обнаружений. Сравнить показатели качества обнаружения (захвата) траекторий ВО, исследовать влияние конечного коэффициента готовности ответчика на качество обнаружения траекторий.

Список литературы: 1. *Lok J.J.* C^2 for the air warrior // *Jane's International Defense Review*. – October 1999. – V.2. – P. 53-59. 2. *Farina A., Studer F.A.* Radar Data Processing Introduction and Tracking. – Vol.1. – Research Studies Press. Letch worth England, 1985. – P. 121-123. 3. *AAP-28(B)* NATO Glossary of Identification. – NATO Standardization Agency, 2002. 4. *Маляренко А.С.* Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением и государственного радиолокационного опознавания: Справочник. – Харьков: ХУПС, 2007. – 78 с. 5. *Кузмин С.З.* Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Радио и связь, 1986. – 351 с. 6. *Обод И.И.* Помехоустойчивые системы вторичной радиолокации. – М.: ЦНТИ, 1998. – 119 с. 7. Комплексне інформаційне забезпечення систем управління польотами авіації та протиповітряної оборони // *В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков, І.І. Обод, І.О. Романенко*. – К.: МОУ, 2004. – 342 с. 8. Теоретичні основи побудови заводозахисних систем інформаційного моніторингу повітряного простору / *В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков, І.І. Обод, І.О. Романенко*. – К.: МОУ, 2004. – 271 с.

УДК 621.396.967.2

Синтез оптимального детектору траекторій повітряних об'єктів за даними запитних систем спостереження єдиної інформаційної мережі / Обод І.І., Заволодько Г.Е. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008. – № 49. – С. 114 – 119.

Наводиться синтез оптимальної структури детектору траекторій повітряних об'єктів за даними запитних систем спостереження в єдиній постановці питання виявлення в даних інформаційних системах: обнаружитель відповідних імпульсів, обнаружитель відповідних сигналів, обнаружитель повітряного об'єкту і власне обнаружитель траекторій. Отримані вираження для показників якості виявлення траекторій. Іл.: 1. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: обнаружитель траекторій, повітряний об'єкт, запитні системи спостереження, інформаційна система, відповідний сигнал.

UDC 621.396.967.2

Synthesis optimal trajectories detector of air objects by data of enquiry of observation of a uniform informational network/ Obod I.I., Zavolodko G.E. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – NTU "KhPI". – 2008. – № 49. – P. 114 – 119.

Synthesis of optimum structure trajectories detector of air objects by data enquiry in uniform statement of a detection question in considered information systems is resulted: reciprocal impulses detector, reciprocal signals detector, air object detector and actually trajectories detector. Expressions for indicators of trajectories detection quality are received. Figs: 1. Refs: 8 titles.

Keywords: trajectories detector, air object, enquiry supervision systems, information system, backward signal.

Поступила в редакцію 15.10.2008

И.И. ОБОД, д-р техн. наук, НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
М.Ю. ОХРИМЕНКО, НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ ПРИНИМАЕМЫХ СИГНАЛОВ В СИНХРОННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЯХ

Показано, что при создании синхронных информационных сетей (СИС) корреляционно-базовых систем (КБС) на основе единого координатно-временного обеспечения необходимо проведение корректировки фазы. Приводится максимально правдоподобная оценка времени задержки сигналов в СИС двухпунктовой КБС со случайным относительным изменением фазы принимаемых сигналов. Синтезирована структура измерителя времени задержки сигналов.

Ключевые слова: синхронная информационная сеть, корреляционно-базовые системы, единое координатно-временное обеспечение.

Постановка проблемы. При создании СИС [1] корреляционно-базовых систем (КБС), на основе единого координатно-временного обеспечения, значительно упрощаются вопросы согласованного приема и обработки сигналов. Однако, использование опорных генераторов с взаимной синхронизацией приводит к случайным относительным изменениям фазы опорных генераторов, что приводит, естественно, к случайным относительным изменениям фазы принимаемых сигналов. В связи с этим, оценка влияния относительного изменения фазы принимаемых сигналов на точность вычисления взаимного запаздывания сигналов представляет интерес.

Анализ литературы. В работах [1 – 5] проанализированы вопросы построения СИС систем наблюдения на основе единого координатно-временного обеспечения. В [6] приводится методика синтеза цифровых корреляторов с учётом влияния случайного изменения фазы принимаемых сигналов. Работа [7] раскрывает методику проведения оценок параметров принимаемых сигналов. В [8] приводятся математические модели процессов в замкнутой цепи синхронизации опорных генераторов приёмных пунктов.

Цель статьи – синтез измерителя времени задержки сигналов в СИС корреляционно-базовых систем.

Оценка времени задержки сигналов. Рассмотрим один из возможных вариантов учета влияния случайного относительного изменения фазы принимаемых сигналов в СИС КБС, предложенный в [6]. Рассмотрим СИС из двух, разнесённых на значительное расстояние, приёмных пунктов, которые принимают соответственно сигналы $r_1(t)$ и $r_2(t)$ на интервале времени $(0, T)$. Предположим, что сигналы отличаются друг от друга временной задержкой и фазой. При этих предположениях принимаемые сигналы можно записать как

$$\begin{aligned} r_{1p}(t) &= s_p(t-t_3)e^{j\phi} + n_{1p}(t), \quad 0 < t < T, \\ r_{2p}(t) &= s_p(t) + n_{2p}(t), \end{aligned}$$

где $s_p(t)$, $n_{1p}(t)$ и $n_{2p}(t)$ – соответственно, огибающая и шумы принимаемых сигналов, ϕ – относительная фаза и t_3 – неизвестное время задержки, которое должно быть определено.

Предположим, что $s_p(t)$, $n_{1p}(t)$ и $n_{2p}(t)$ – независимые величины с нулевым средним и что время наблюдения T больше времени корреляции принимаемых сигналов. Относительную фазу будем считать случайной с плотностью вероятности $p(\phi)$, симметричной относительно известного среднего, и которую можно записать как [7]

$$p(\phi) = \exp(\Lambda \cos(\phi - \theta)) / 2\pi I_0(\Lambda), \quad -\pi < \phi < \pi,$$

где I_0 – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка. Выбор такой функции вероятности позволяет анализировать, изменяя параметр Λ , влияние изменения фазы на точность оценки времени задержки. Кроме того, такая функция плотности вероятности точно моделирует шум в замкнутой цепи синхронизации опорных генераторов приемных пунктов СИС [8].

Так как время наблюдения процесса конечно, то принятые реализации входных сигналов можно представить рядами Фурье [7]. Если предположить, что ошибка, вызванная конечным временем наблюдения, незначительна, то можно записать

$$r_{1p}(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} \sum_{k=1}^N R_{1p}(k) \exp(j\omega_k t), \quad (1)$$

где $\omega_k = 2\pi k / T$, $R_{1p}(k) = \frac{1}{\sqrt{T}} \int_0^T r_{1p}(t) \exp(-j\omega_k t) dt$. (2)

Представим R – вектор Фурье коэффициентов в матричном виде как

$$R = [R(1), \dots, R(N)]^T \quad \text{и} \quad R(k) = [R_{1p}(k), R_{2p}(k)]^T.$$

Так как время наблюдения значительно больше времени корреляции принимаемых сигналов, можно утверждать, что Фурье коэффициенты соответствующие различным частотам не коррелированы. В этом случае матрица ковариации

$$\Theta_r = \begin{vmatrix} \Theta_r(1) & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \Theta_r(N) \end{vmatrix},$$

где $\Theta_r(k)$ есть ни что иное, как матрица ковариации от $R(k)$ и имеет вид

$$\Theta_r(k) = \begin{vmatrix} G_{11p}(k) & G_{12p}(k) \\ G_{21p}^*(k) & G_{22p}(k) \end{vmatrix},$$

а
$$G_{ijp}(k) = E |R_{ip}(k)R_{jp}^*(k)| = 4G_{ij}(k), \quad i, j = 1, 2. \quad (3)$$

Подставляя в (3) Фурье коэффициенты, соответствующие выражению (2), получаем

$$\Theta_r(k) = 4 \begin{vmatrix} G_{ss}(k) + G_{n1n1}(k) & G_{ss}(k) \exp(j(\omega_k t_{\dot{K}} + \varphi)) \\ G_{ss}(k) \exp(-j(\omega_k t_{\dot{K}} + \varphi)) & G_{ss}(k) + G_{n2n2}(k) \end{vmatrix}, \quad (4)$$

где $G_{ss}(k), G_{n1n1}(k), G_{n2n2}(k)$ – соответственно автоспектральные плотности мощности сигнала $s(t)$ и шумов $n_1(t)$ и $n_2(t)$ полученные на частоте ω_k .

Так как Фурье коэффициенты получаются с помощью линейных действий над гауссовским случайным процессом $r_i(t)$ ($i = 1, 2$), то можно утверждать, что коэффициенты Фурье есть комплексные гауссовские случайные переменные и что их совместная функция плотности определяется как [7]

$$p(R | t_3, \varphi) = \frac{1}{(\pi^N \prod_{k=1}^N |\Theta_r(k)| \exp \left| - \sum_{k=1}^N R^{*T}(k) \Theta_r^{-1}(k) R(k) \right|)}.$$

Однако, так как

$$p(R | t_3) = \int_{-\pi}^{\pi} p(R | t_3, \varphi) p(\varphi) d\varphi,$$

то получаем

$$P(R | t_{\dot{K}}) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi} \pi^T I_o(\Lambda) \prod_{k=1}^N |\Theta_r(k)|} \right) \int_{-\pi}^{\pi} \exp(\Lambda \cos(\varphi - \theta) - \sum_{k=1}^N R^{*T}(k) \Theta_r^{-1}(k) R(k)) d\varphi.$$

Максимально правдоподобную (МП) оценку времени задержки можно получить если определить то t_3 , при котором условная плотность $p(R | t_3)$ максимальна. Однако так как $(\Theta_r(k))$ не зависит от t_3 , то МП оценкой t_3 есть значение t_3 , которое максимизирует выражение

$$J_1(t_3) = \int_{-\pi}^{\pi} \exp(\Lambda \cos(\varphi - \theta) - \sum_{k=1}^N R^{*T}(k) \Theta_r^{-1}(k) R(k)) d\varphi.$$

Подставляя (4) и пренебрегая членами не зависящими от t_3 , получаем, что t_3 получается при максимизации выражения

$$J_1(t_3) = \int_{-\pi}^{\pi} \exp \left[\Lambda \cos(\theta - \varphi) + \sum_{k=1}^N \frac{R_{1p}(k)R_{2p}^*(k)}{|G_{12p}(k)|} \frac{C(k)}{1-C(k)} \exp(-j(\omega_k t_3 + \varphi)) + \sum_{k=1}^N \frac{R_{1p}^*(k)R_{2p}(k)}{|G_{12p}(k)|} \frac{C(k)}{1-C(k)} \exp(j(\omega_k t_3 + \varphi)) \right],$$

где $C(k) = |G_{12}(k)|^2 / G_{11}(k)G_{22}(k)$.

Приведенное выражение может быть записано как

$$J_1(t_3) = \int_{-\pi}^{\pi} \exp(\Lambda \cos(\varphi - \theta) + 2 \left| \sum_{k=1}^N G_{12}(k)W_q(k) \exp(-j(\omega_k t_3)) \right| \cos(\alpha - \varphi)) d\varphi,$$

где $G_{12}(k) = 0,25R_{1p}(k)R_{2p}^*(k)$; $W_q = C(k) / |G_{12}(k)(1-C(k))|$ и $\alpha = \arg(\sum_{k=1}^N G_{12}(k)W_q(k) \exp(-j\omega_k t_3))$.

Учитывая выражение для КФ $R_{12}(t_3) = \int_0^T G_{12}(f)W_q(f) \exp(-j2\pi f t_3) df$, а

также то, что T велико, можно записать

$$J_1(t_3) = \int_{-\pi}^{\pi} \exp([\Lambda \cos(\theta) + 2T|R_{12}(t_3)|\cos\alpha] \cos\varphi + [\Lambda \sin\theta + 2T|R_{12}(t_3)|\sin\alpha] \sin\varphi) d\varphi.$$

Выполняя интегрирование, получаем

$$J_1(t_3) = I_0 \{ [\Lambda \cos\theta + 2T|R_{12}(t_3)|\cos\alpha]^2 + [\Lambda \sin\theta + 2T|R_{12}(t_3)|\sin\alpha]^2 \}. \quad (5)$$

Используя монотонность функции Бесселя легко видеть, что выражение (5) максимизируется при

$$J_1(t_3) = [\Lambda \cos\theta + 2T|R_{12}(t_3)|\cos\alpha]^2 + [\Lambda \sin\theta + 2T|R_{12}(t_3)|\sin\alpha]^2,$$

которое соответствует максимизации следующей функции

$$J(t_3) = \Lambda / T \{ [\cos\theta \operatorname{Re}[R_{12}(t_3)]] + [\sin\theta \operatorname{Im}[R_{12}(t_3)]] \} + |R_{12}(t_3)|^2. \quad (6)$$

Следовательно, МП оценка времени задержки при случайном относительном изменении фазы принимаемых сигналов, вызванном неточностью синхронизации опорных генераторов приемных пунктов, определяется выражением (6). Как следует из (6), оценка определяется знаниями априорной информации о Λ / T .

Возможная реализация измерителя времени задержки, в соответствии с (6), представлена на рисунке [6].

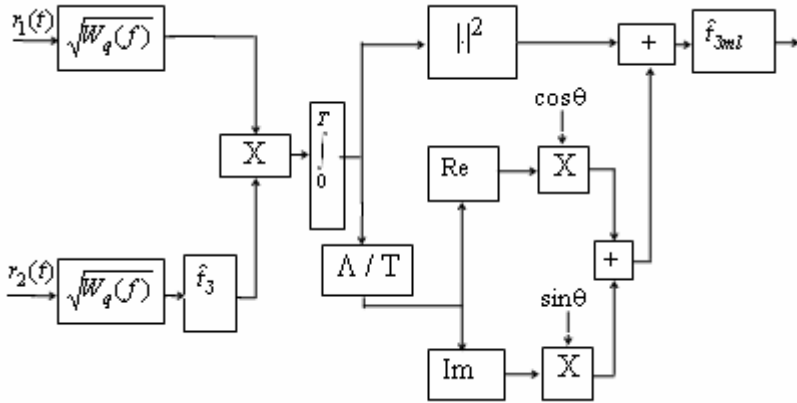


Рис.

Как следует из представленного рисунка, изменением параметра Λ удается получить МП КФ и, как следствие, оценить время задержки принимаемых сигналов.

Выводы. Таким образом, при создании СИС КБС на основе единого координатно-временного обеспечения необходимо проведение корректировки фазы. Получена МП оценка времени задержки сигналов в СИС двухпунктовой КБС со случайным относительным изменением фазы принимаемых сигналов, на основании которой была синтезирована структура измерителя времени задержки сигналов.

Список литературы: 1. *Обод И.И.* Синхронные сети получения и обработки информации рассредоточенных систем первичной и вторичной локации. Рукопись деп. в УкрИНТЭИ № 192-Уі96 от 18.11.96. 2. Комплексне інформаційне забезпечення систем управління польотами авіації та протиповітряної оборони // *В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков, І.І. Обод, І.О. Романенко.* – К.: МОУ, 2004. – 342 с. 3. *Черняк В.С.* Многопозиционная радиолокация. – М.: Радио и связь, 1993. – 415 с. 4. *Обод І.І., Заволодько Г.Е., Охрименко М.Ю.* Єдине координатно-часове забезпечення як основа розв'язування протиріч інформаційної мережі систем спостереження // *Вестник НТУ "ХПИ" – Х.: НТУ "ХПИ".* – 2008. – Вып. 24. – С. 113 – 119. 5. Патент на корисну модель, № 31507 (UA). Спосіб інформаційного забезпечення керування польотами авіації / *І.І. Обод, М.Ю. Охрименко.* 6. А.С. № 1824642. Цифровой коррелятор / *Обод И.И.* БИ № 24. – 1993. 7. *Ван Трис Г.* Теория обнаружения, оценок и модуляции. – М.: Сов. радио, 1972. – 340 с. 8. *Линдсей В.* Системы синхронизации в связи и управлении. – М.: Сов. радио, 1978. – 252 с.

УДК 621.396.96

Оцінка часу затримки сигналів, що приймаються, у синхронних інформаційних мережах / Обод І.І., Охрименко М.Ю. // *Вісник НТУ "ХПИ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання.* – Харків: НТУ "ХПИ". – 2008. – № 49. – С. 120 – 125.

Показано, що при створенні синхронних мереж (СМ) кореляційно-базових систем (КБС) на основі єдиного координатно-часового забезпечення необхідно проведення корегування фази. Наводиться максимально правдоподібна оцінка часу затримки сигналів в СМ двопунктної КБС із випадковою відносною зміною фази сигналів, що приймаються. Синтезовано структуру вимірювача часу затримки сигналів. Лл.: 1. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: синхронна інформаційна мережа, кореляційно-базові системи, єдине координатно-часове забезпечення.

UDC 621.396.96

Time estimation of the accepted signals delay is in synchronous informative networks / Obod I.I., Okhrymenko M.Yu. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – NTU "KhPI". – 2008. – № 49. – P. 120 – 125.

It is rotined that at creation of synchronous information network (SIN) the correlation-basic systems (CBS) on the basis of the single coordinate-tyme providing the phase modification implementation is needed. A maximally plausible estimation over of signals time delay is brought in SIN point-to-point KBS with the casual relative change of phase of the accepted signals. The structure of measuring device of time of delay signals is synthesized. Figs: 1. Refs: 8 titles.

Keywords: synchronous informative network, correlation-basic systems, single coordinate-tyme providing.

Поступила в редакцію 13.10.2008

И.И. ОБОД, д-р техн. наук, НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
А.А. ТЮРИН, НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ АДРЕСНОГО ПО ОТВЕТУ МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИИ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ

Приводится исследование помехоустойчивости запросных систем идентификации воздушных объектов, в которых используется сложный сигнал с псевдохаотической последовательностью в качестве ответного сигнала, код которой однозначно определяется пространственным положением воздушного объекта. Показано, что предлагаемый метод построения систем идентификации позволяет повысить как помехоустойчивость, так и помехозащищенность систем идентификации.

Ключевые слова: помехоустойчивость, запросные системы идентификации, воздушный объект, сложный сигнал, псевдохаотическая последовательность, ответный сигнал.

Постановка проблемы и анализ литературы. Информационное обеспечение системы контроля использования воздушного пространства в значительной степени определяется системами идентификации (СИ) воздушных объектов (ВО), к которым относят системы вторичной радиолокации [1, 2] и системы радиолокационного опознавания [3]. Системы идентификации предназначены для решения следующих задач:

- определения координат ВО;
- получения дополнительной полетной информации, необходимой для контроля и управления полетами и наведения ВО;
- идентификации обнаруженных ВО по признаку "свой-чужой";
- диспетчерской идентификации (опознавания) ВО.

Однако принцип построения существующих СИ и система сигналов, которые используются в них, не позволяют их отнести ни к помехоустойчивым ни к помехозащищенным [4, 5]. Действительно, как показано в [5], современные СИ не возможно отнести ни к энергетически скрытным, (за счет использования простых сигналов в качестве сигналов запроса и ответа), ни к помехоустойчивым, (за счет возможности несанкционированного использования самолетных ответчиков (СО) заинтересованной стороной). В [6, 7] рассмотрены некоторые методы повышения помехоустойчивости СИ, основанные на создании синхронных сетей СИ, а также за счет использования специфических особенностей построения запросных СИ. Однако вопросам повышения скрытности работы СИ уделено незначительное внимание. В [8] предложен способ идентификации объектов, который позволяет повысить не только помехоустойчивость СИ, но и помехозащищенность, за счет использования системы сигналов в качестве ответных сигналов (ОС), код псевдослучайной последовательности которых определяется пространственными координатами ВО.

Цель работы – исследование помехоустойчивости адресных по ответу СИ, ОС которых используют сложные сигналы с псевдохаотической последовательностью, код которой однозначно определен пространственным положением ВО.

Основная часть. Рассмотрим метод повышения помехоустойчивости СИ ВО, в канале ответа которых используется сложный сигнал с псевдохаотической последовательностью. В этом случае функционирование канала запроса СИ не изменяется в сравнении с существующими системами. В ответчиках СИ ВО, реализованной по отмеченному принципу, алгоритм обслуживания запросных сигналов (ЗС) изменяется следующим образом. В ответчиках формируется некоторый временной интервал T_a анализа, в течение которого принимаются ЗС. При окончании указанного временного интервала и приеме в течение этого временного интервала хотя бы одного **сигнала запроса (СЗ)** излучается ОС в который закладывается координаты ответчика, то есть излучается сложный сигнал с псевдохаотической последовательностью, код которой определяется пространственным положением ВО.

Таким образом, реализация этого метода (адресного по ответу) существенным образом снижает интенсивность потока ОС и делает эту интенсивность не зависимой от интенсивности потока ЗС. Действительно, максимальная интенсивность потока ОС в этом методе определяется как $\lambda_{вид} = 1/T_a$. Она не зависит от интенсивности потока ЗС и интенсивности потока имитируемых ЗС. Так как в этом методе обслуживание осуществляется не отдельного ЗС, а всех ЗС на временном интервале анализа, то постановка преднамеренных помех с целью снижения помехоустойчивости СО становится неуместной, так как нужно создать такую ситуацию при которой невозможно принять ни одного ЗС на интервале анализа. Это вынуждает заинтересованную сторону в переходе к постановке флуктуационных помех, что ведет к значительным энергетическим затратам. Так как ЗС другого запросчика сети (даже несанкционированного запроса заинтересованной стороной) на интервале анализа приводит к формированию ОС, в котором заложены координаты ответчика, то это приводит к переходу от обслуживания ЗС к обслуживанию сети.

Оценим помехоустойчивость СИ, реализованных на рассматриваемом методе при действии потока ЗС и хаотической импульсной помехи (ХИП). Для этого рассмотрим коэффициент готовности (КГ) СО при действии указанных потоков ЗС и ХИП. В дальнейшем определим вероятность обнаружения ВО по ОС, с учетом КГ СО.

Легко видеть, что при одновременном действии на вход анализатора СО ХИП и потока запросных сигналов (ПЗС) будут наблюдаться следующие неблагоприятные для правильного приема ЗС явления:

- подавление ЗС данной СИ из-за наложения опережающих ЗС соседних СИ и приводящих к искажению принимаемого сигнала;

- подавление ЗС данной СИ из-за наложения опережающих ЗС соседних СИ, излученных по боковым лепесткам;
- высокочастотное подавление импульсов ЗС данной СИ при совпадении по времени импульсов ХИП и ПЗС и неблагоприятных фазовых соотношениях;
- подавление ЗС в результате инерционности схем входных формирователей дешифратора.

Перечисленные ситуации приводят к невозможности правильного приема на временном интервале T_a ЗС. Кроме того, наличие ХИП приводит к ложному образованию ЗС и, при отсутствии действительных сигналов запроса, СО производит ложный ответ.

Произведем определение вероятности этих событий в предположении, что ХИП и ПЗС действует на ЗС данной СИ независимо друг от друга.

Пусть на вход СО поступает ХИП интенсивностью λ_0 , ПЗС, требующие излучения ОС, интенсивностью λ_1 , и ПЗС, излученные по боковым лепесткам диаграммы направленности (ДН) запросчика, интенсивностью λ_2 . При этом предположим, что длительность импульсов потока ХИП и ПЗС одинакова и равна длительности импульсов полезного сигнала τ_0 .

Совместное действие ХИП и ПЗС приводит к высокочастотному подавлению отдельных импульсов ХИП и ПЗС при неблагоприятных фазовых соотношениях, в результате чего уменьшается интенсивность ПЗС и ХИП.

Вероятность того, что хотя бы один импульс ХИП совпадет по времени с импульсом ПЗС и подавит его, равна:

$$P_p = \gamma[1 - \exp(-\lambda_0 \tau_0)].$$

С учетом P_p интенсивности потоков λ_1 и λ_2 можно определить как

$$\lambda_1^1 = \lambda_1(1 - P_p)^n, \quad \lambda_2^1 = \lambda_2(1 - P_p)^n.$$

Вероятность того, что хотя бы один ЗС попадет в опережающий интервал и подавит ЗС данной СИ за счет наложения импульсов ПЗС, определяется как

$$P_1 = 1 - \exp(-\lambda_1^1 t_1).$$

Интенсивность потока ложных n -импульсных кодов, образованных их ХИП, можно определить из следующего соотношения:

$$\lambda_l = n\lambda_0^n (\tau_0 - \tau_c)^{n-1},$$

где τ_c – заданная величина селекции импульсов по длительности.

Вероятности того, что хотя бы один ЗС попадет в опережающий интервал и подавит дешифрацию ЗС данной СИ за счет времени приема импульсов ПЗС, излученных по боковым лепесткам ДН запросчика, а также образованных из ХИП, вычисляются соответственно как:

$$P_2^1 = 1 - \exp(-\lambda_2^1 t_2) \quad \text{и} \quad P_2^2 = 1 - \exp(-\lambda_l t_1).$$

Суммарная вероятность подавления ЗС данной СИ за счет времени приема сигналов, излученных по боковым лепесткам ДН антенны запросчика и образованных из ХИП ложных ЗС, определяется как:

$$P_2 = 1 - (1 - P_2^1)(1 - P_2^2).$$

Вероятность того, что хотя бы один импульс из потока ХИП и ПЗС наложится на импульс ЗС данной СИ и подавит его, составляет

$$P_{10} = \gamma[1 - \exp(-\lambda_c \tau_0)],$$

где $\lambda_c = \lambda_0 + \lambda_1^1 + \lambda_2^1$.

С учетом n -импульсного ЗС вероятность подавления ЗС составит

$$P_3 = 1 - (1 - P_{10})^n.$$

Вероятность подавления ЗС данной СИ в результате появления на позиции сигнала подавления ложного импульса подавления, образованного из помех, можно записать как:

$$P_4 = (1 - P_p)P_{10}.$$

Вероятность подавления ЗС вследствие инерционности входных формирователей СО P_5 может быть определена по выражению

$$P_5 = 1 - \exp(-\lambda_c \tau_f).$$

Вероятность однократной дешифрации ЗС можно определить как

$$P_a = \prod_{i=1}^5 (1 - P_i). \quad (1)$$

Расчеты по выражению (1) представлены на рис. 1 для $n = 3$. Расчеты произведены при $\lambda_0 = 10000, 20000, 30000$. Как следует из рис. 1, при увеличении интенсивности ПЗС вероятность неискаженного приема ЗС уменьшается и достигает 0,65 при $\lambda_1 = 5000$ и $\lambda_0 = 20000$ и 0,58 при $\lambda_1 = 5000$ и $\lambda_0 = 30000$. Расчеты произведены при $\lambda_2 = 5\lambda_1$.

Вероятность излучения ответа СО, т.е. КГ СО, рассматриваемой СИ, с учетом интервала времени анализа, можно определить из следующего соотношения:

$$P_o = 1 - (1 - P_a)^m. \quad (2)$$

Расчеты по выражению (2) представлены на рис. 2 для $n = 3$ при $m = 3$. На рис. 3 представлены зависимости вероятности излучения ответа при $n = 3$ и $m = 7$. Как следует из представленных зависимостей, при $m > 7$ КГ СО при рассмотренных интенсивностях потоков ЗС практически составляет единицу, что указывает на высокую помехоустойчивость предложенного способа реализации СИ. Приведенные зависимости указывают на существенную зависимость КГ СО запросных СИ с кодированием только сигналов ответа от n и m .

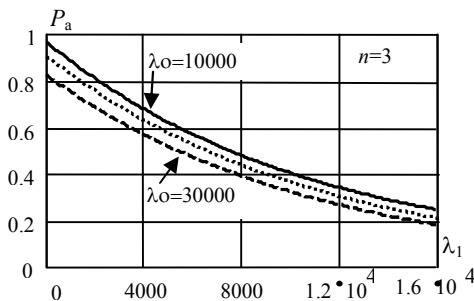


Рис. 1. Вероятность приема СЗ

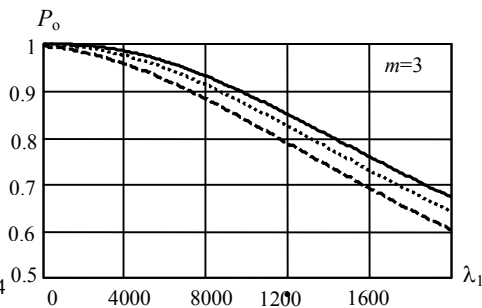


Рис. 2. КГ СО

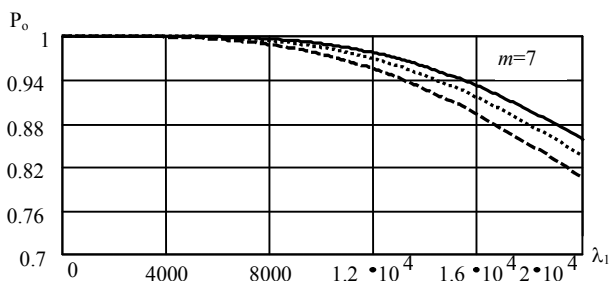


Рис. 3. Коэффициент готовности СО

Вероятность ложного излучения ОС СО, за счет образования ложного ЗС из ХИП и отсутствия на временном интервале T_a действительного ЗС, можно определить из следующего соотношения

$$F = P_{ol}(1 - P_o), \quad (3)$$

где P_{ol} определяется как

$$P_{ol} = 1 - (1 - P_2^2)^m. \quad (4)$$

Расчеты по выражению (3) с учетом (4) для различных n и m представлены на рис. 4. Как следует из приведенных зависимостей, предложенный способ СИ характеризуется приемлемыми вероятностями ложной тревоги. Необходимо отметить, что ложные ответы данного способа приводят к ситуации безапросного варианта СИ и не влияют на вероятность получения ОС, в частности сигналов идентификации ВО. Приведенные расчеты показали на существенную зависимость вероятности ложной тревоги от n (при увеличении n с 2 до 3 вероятность ложной тревоги снижается на

порядок) и m (при увеличении m с 3 до 7 – снижается с 0,18 до 0,13 при $\lambda_1 = 20000$).

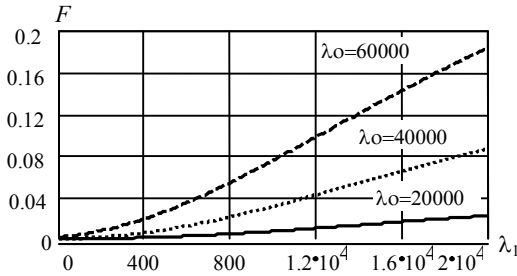


Рис. 4. Вероятность ложной тревоги

Рассмотрим влияние потока ЗС на вероятность обнаружения ВО рассматриваемой СИ. Аппаратура обработки принимаемых ОС запросчика реализует, как правило, алгоритм обнаружения пачки поступающих ОС, заключающийся в обнаружении " k из m " ответных сигналов. Если рассматривать КГ СО постоянным для всей пачки ОС, то вероятность первого обнаружения пачки ОС аппаратурой запросчика можно определить из следующего соотношения

$$P_{ob} = \sum_{i=k}^m C_k^m P_o^i (1 - P_o)^{m-i} . \quad (5)$$

Исходя из того, что за время сканирования антенны запросчика СИ, происходит облучение СО пачкой из N ЗС, то вероятность обнаружения ВО СИ может быть определена из следующего соотношения

$$P_c = \sum_{j=m}^N C_m^N P_{ob}^j (1 - P_{ob})^{N-j} . \quad (6)$$

Подставляя (5) в (6) окончательно получаем выражение для оценки вероятности обнаружения ВО рассматриваемой СИ

$$P_c = \sum_{j=m}^N C_m^N \left[\sum_{i=k}^m C_k^m P_o^i (1 - P_o)^{m-i} \right]^j \left[1 - \sum_{i=k}^m C_k^m P_o^i (1 - P_o)^{m-i} \right]^{N-j} . \quad (7)$$

Расчеты по выражению (7) с учетом вышеизложенного приведены на рис. 5 и 6. На рис. 5 и 6 представлены зависимости вероятности обнаружения ВО при действии потока ЗС при $n = 2$, $m = 3, 5, 7$, $N = 10$ и 20 и $k/m = 4/4$. Как следует из представленных зависимостей, при $m > 7$ наблюдается достаточно высокая вероятность обнаружения ВО рассматриваемой СИ.

Как следует из рис. 5 и 6 помехоустойчивость предложенного способа реализации СИ значительно превосходит помехоустойчивость существующих запросных СИ [4], что указывает на высокую его эффективность.

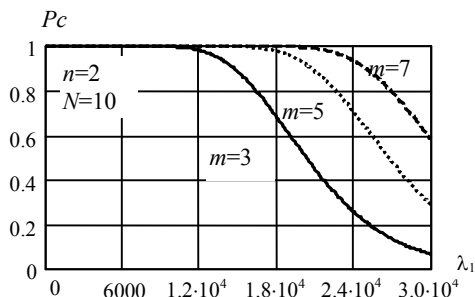


Рис.5. Вероятность обнаружения ВО

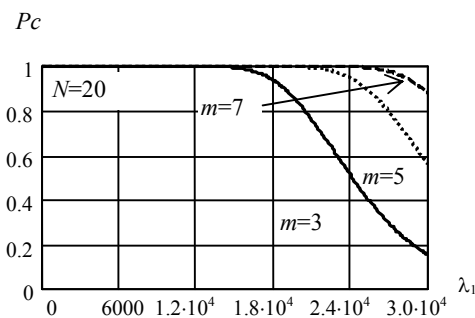


Рис. 6. Вероятность обнаружения ВО

Выводы. Вышеизложенное позволяет утверждать, что создание адресных по ответу СИ на основе формирования ответного сигнала в виде сложного сигнала с псевдохаотической последовательностью, код которой однозначно определяется пространственным положением ВО, позволит существенным образом повысить помехоустойчивость систем идентификации воздушных объектов.

Список литературы: 1. ААР-28(В) NATO Glossary of Identification. – NATO Standardization Agency, 2002. 2. Давыдов П.С., Сосновский А.А., Хаймович И.А. Авиационная радиолокация: Справочник. – М.: Транспорт, 1984. – 224 с. 3. Маляренко А.С. Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением и государственного радиолокационного опознавания: Справочник. – Харьков: ХУПС, 2007. – 78 с. 4. Обод И.И. Помехоустойчивые системы вторичной радиолокации. – М.: ЦНТИ, 1998. – 119 с. 5. Обод И.И., Тюрин А.А., Яровая А.В. Сравнительный анализ существующих систем идентификации воздушных объектов // Системи управління, навігації та зв'язку: Збірник наукових праць. – Вип. 2 (6). – К.: ЦНДІ НіУ, 2008. – С. 21-25.

6. Теоретичні основи побудови завадозахищених систем інформаційного моніторингу повітряного простору / В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков, І.І. Обод, І.О. Романенко. – К.: МОУ, 2004. – 271 с. 7. Комплексне інформаційне забезпечення систем управління польотами авіації та протиповітряної оборони / В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков, І.І. Обод, І.О. Романенко. – К.: МОУ, 2004. – 342 с. 8. Обод І.І., Тюрін О.О. Спосіб ідентифікації об'єктів. Патент на корисну модель № 32641 від 26.05.2008.

УДК 621.396.967.2

Перешкодостійкість адресного по відповіді методу ідентифікації повітряних об'єктів / Обод І.І., Тюрін А.А. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008. – № 49. – С. 126 – 133.

Наводиться дослідження перешкодостійкості запитних систем ідентифікації повітряних об'єктів, в яких використовується складний сигнал з псевдохаотичної послідовністю, як у відповідь сигнал, код якої однозначно визначається просторовим положенням повітряного об'єкту. Показано, що запропонований метод побудови систем ідентифікації дозволяє підвищити як перешкодостійкість, так і перешкодозахищеність систем ідентифікації. Лл.: 6. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: перешкодостійкість, запитні системи ідентифікації, повітряний об'єкт, складний сигнал, псевдохаотична послідовність, відповідний сигнал.

UDC 621.396.967.2

Antijammingness of address on answer method of authentication of air objects / Obod I.I., Tyurin A.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – NTU "KhPI". – 2008. – № 49. – P. 126 – 133.

Research over of noise-immunity of the air objects authentication query systems, in which a difficult signal is used with a pseudo-chaotic sequence as a backward signal, the code of which is simply determined spatial position of air object, is brought. It is retined that the offered method of construction of the systems of authentication allows to promote both antijammingness and noise immunity of the authentication systems. Figs: 6. Refs: 8 titles.

Keywords: noise-immunity, authentication query systems, air object, difficult signal, pseudo-chaotic sequence, backward signal.

Поступила в редакцію 05.10.2008

Н.І. ПОВОРОЗНЮК, канд. техн. наук, НУХТ (м. Київ),
К.Є. БОБРІВНИК, НУХТ (м. Київ)

ПРЕДСТАВЛЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

В статті запропоновано підхід до побудови алгоритму вибору представлення фрагментів навчального матеріалу для корекції самостійного навчання на базі нечіткої логіки. Досліджено основні складові побудови динамічної моделі студента: знання, вміння, особисті переваги представлення навчального матеріалу.

Ключові слова: навчальний матеріал, нечітка логіка, алгоритм вибору, динамічна модель студента.

Постановка проблеми. У дидактичному аспекті виділяють наступні питання розробки і використання електронних засобів навчання [1]: організація самостійної пізнавальної діяльності студентів, організація індивідуальної підтримки навчальної діяльності студента викладачами, організація групової навчальної роботи студентів. У традиційних електронних засобах навчання алгоритм керування представляє собою жорстку послідовність фрагментів навчального матеріалу: лінійна, розгалужена. В контролюючих програмних засобах чи модулях навчальних систем пропонуються тести різної складності, в залежності від рівня знань студента визначаються обсяги фрагментів навчального матеріалу, темпи їх подачі студенту [2, 3]. В основу розробки моделі знань студента ставиться бажаний освітній результат – комплекс предметних знань і вмінь студента [4].

Щоб підвищити ефективність освіти протягом всього життя є необхідність адаптувати навчальний матеріал як до вихідних знань, так і до особистих якостей студента. Таким чином, нашою задачею є розробка підходу до керування самостійною навчальною діяльністю студента, що реалізується за допомогою електронних засобів навчання із використанням моделі студента.

Аналіз літератури. Розглядаючи процес навчання з точки зору теорії управління, побудова ефективного керування можлива на основі адаптації. Основною формою керуючої дії при автоматизованому навчанні є представлення студенту відповідного фрагменту навчального матеріалу [5], вибір якого залежить від ступеня систематизації знань про студента. Щоб ґрунтовно описати взаємодію студента із електронним навчальним засобом, інформацію про студента ділять на дві типові моделі: модель знань студента (model of student knowledges) і модель індивідуальних характеристик (individual model of student) [6, 7].

В основному дослідження виконуються у напрямі адаптації контролюючих програм до рівня знань студента. В той час, модель

індивідуальних характеристик не є достатньо досліджена [4]. Особисто-орієнтований підхід у комп'ютерному навчанні реалізується, якщо враховуються суб'єктивні характеристики окремого студента [2, 4]: цілі, особисті характеристики, психологічні особливості сприйняття пропонованого навчального матеріалу.

Мета статті. Проаналізувати основні складові, що впливають на якість самостійного навчання. Розробити алгоритм вибору навчального матеріалу на основі нечіткої логіки.

Модель індивідуальних характеристик студента. Індивідуалізація процесу навчання відбувається на основі аналізу знань про студента, як об'єкта навчання. В навчальній діяльності приймають участь практично всі психічні процеси. Поряд із мотивацією – установка до навчання, в діяльності індивіда психологія розрізняє процеси пізнання: сприйняття, запам'ятовування, осмислення [4]. Більшість із індивідуальних характеристик (вік, стать, освіта, спеціальність, досвід, початкові знання) визначаються ще до початку роботи із електронним засобом, а мотиви студента відносно ступеня поглиблення вивчення предмету задаються динамічно.

В розрізі вивчення предмету виділяють такі моделі знань студента [4, 5]: поточна (динамічна) і предметна. Предметна модель студента містить комплекс знань і вмій і формується на основі мети вивчення окремої дисципліни. Кінцевою метою навчання вважається досягнення такого стану знань і вмій студента, коли поточна модель студента при завершенні навчання співпадає з його предметною моделлю [5]. Враховуючи модульну структуру навчального матеріалу, для досягнення кінцевого стану існує певна множина проміжних станів. На кожному етапі взаємодії студента із навчальним матеріалом будується динамічна модель студенту, яка характеризується комплексом параметрів: знаннями, уміннями, особистими характеристиками [6]. Серед особистих характеристик розглядаються: мотивація і сприйняття матеріалу, в залежності від його складності.

Блок нечіткого аналізу знань і вмій студента. Щоб побудувати предметну модель вивчення дисципліни «Нарисна геометрія та комп'ютерна графіка» визначили наступні критерії: знання понять нарисної геометрії, процедурні знання методів побудови об'єктів, знання програмного інтерфейсу, і процедурні знання методів роботи із САПР. Щоб описати зв'язок між поняттями серед множини предметних знань застосовується мережевий метод. Таким чином, кожен вузол відповідає знанням, вмінням виконувати дії, а дуги – відношенням між ними [7]. Ступінь і методи корекції визначаються в наслідок порівняльного аналізу заданих і поточних результатів виконання контрольних завдань.

Кожне питання тесту формується таким чином, щоб відповідь містила вказівку про те, яких знань не вистачає у студента. Так наприклад, відповідь

показує недостатність знань, наявність помилкових знань, невірне застосування, незнання способів застосування. Потім підсумовується яких відповідей більше і відповідно до результату виконуються навчальні дії.

Управління навчанням є динамічний процес [8, 9], який направлений на досягнення мети навчання. Кожна відповідь характеризує наявність/відсутність/неповноту знань чи умінь студента. До функцій нечіткого алгоритму ставляться вимоги: корекція помилок і неточностей студента, функція поповнення знань студента, які в заданий момент часу можуть бути правильними, але неповними, функції діагностики, чи точного визначення стану знань студента.

Щоб сформувані нечіткий алгоритм керування, визначимо наступні вхідні лінгвістичні змінні [9, 10]: фактографічні знання і процедурні знання. Використовуючи досвід традиційного навчання, у кожній змінній виділимо терм-множину: вірно, невірно, часткова помилка. При складанні тесту, кожний завершений фрагмент містить: відповіді, які характеризують ступінь помилки у знаннях чи ступінь помилки у діяльності студента. В результаті проходження контролю виконується аналіз відповідей. Вихідними змінними є управляючі дії для подальшого вивчення студентом навчального матеріалу. В таблиці наведено базу правил вибору певного навчального фрагменту.

Таблиця

База правил нечіткого вибору

Правило	Дія
Якщо f – вірно і p – вірно, тоді модуль зараховується.	Перейти до нового модулю.
Якщо f – вірно і p – помилкове, тоді в процедурних знаннях помилки.	Невірне застосування знань, повернутися до практичних завдань.
Якщо f – вірно і p – невірне, тоді незнання способу застосування.	Невірне застосування дій, повторити теоретичну частину.
Якщо f – помилкове і p – вірно, тоді знання помилкові.	Повернутися до теоретичної частини.
Якщо f – помилкове і p – помилкове, тоді вивчити детальніше.	Детальніше вивчити теми модуля.
Якщо f – помилкове і p – невірне, тоді невірне застосування.	Детальніше вивчити теми модуля, виконати практичні завдання.
Якщо f – невірне і p – вірно, тоді знання недостатні.	Вивчити детальніше теоретичну частину.
Якщо f – невірне і p – помилкове, тоді знання недостатні.	Вивчити детальніше теоретичну і практичну частину фрагменту.
Якщо f – невірне і p – невірне, тоді модуль не зараховується.	Модуль вивчити і виконати повторно.

Якого типу помилок більше: у фактографічних f {невірні знання,

помилкові знання, вірні} чи процедурних p {невірні дії, помилкові дії, вірні} знаннях і за результатами аналізу тесту пропонується студенту повторити певні фрагменти модуля знову. В результаті контролю отримуємо наступні критерії: рівень знань, рівень сформованості вмінь, які передаються в динамічну модель студента, що містить інформацію про переваги у представленні навчального матеріалу. Таким чином, відбувається формування динамічної моделі студента. На основі моделі створюються запити до бази навчально-методичних ресурсів, де вони обробляються, формуються необхідні фрагменти навчального курсу і тип їх представлення в залежності від індивідуальних переваг. Після вивчення відбувається повторний контроль знань студента.

Висновки. В роботі показано, що основною перевагою використання електронних засобів навчання є їх універсальність: допомога як під час аудиторних занять, так і самостійних робіт. В результаті виконаної роботи був запропонований підхід до організації самостійного процесу навчання. Метод вибору порцій навчального матеріалу враховує індивідуальні характеристики студента, що є дуже важливим в освіті протягом всього життя. Можливість адаптивного управління навчальним процесом забезпечить високий рівень самостійної пізнавальної здатності студентів і високу мотивацію під час вивчення технічних дисциплін.

Список літератури: 1. Соловов А.В. Дидактический анализ проблематики электронного обучения. Труды Международной конференции "IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies". – Казань: КГТУ, 2002. – С. 212 – 216. 2. Основы новых информационных технологий навчання: Пос. для вчит. / За ред. Ю.І. Машбица. – К.: ІЗМН, 1997. – 264 с. 3. Соловов А.В. Проектирование компьютерных систем учебного назначения: Учебн. пос. – Самара: СГАУ, 1995. 4. Атанов Г.О. Як навчити користуватися знаннями, або вступ до практики діяльнісного навчання. – Донецьк: ДОУ, 2004. – 108 с. 5. Атанов Г.А., Савин А.И. Операционная предметная модель студента технического университета по теории множеств // Штучний інтелект. – 2007. – №3. – С. 455 – 461. 6. Виленский М.Я., Образцов П.И., Уман А.И. Технологии профессионально-ориентированного обучения в высшей школе. Педагогическое общество России. – М.: 2004. – 175 с. 7. Агеев В.Н. Электронные учебники и автоматизированные обучающие системы. Лекция-доклад // Серия материалов Третьей Всероссийской школы-семинара "Информационные технологии в управлении качеством образования и развитии образовательного пространства" / Под ред. Н.А. Селезневой, И.И. Дзегеленка. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2001. – 80 с. 8. Мазурок Т.Н. Интеллектуальная генерация интегрированных обучающих курсов // Штучний інтелект. – 2007. – №4. – С. 546 – 552. 9. Соловов А.В., Меньшикова А.А. Дискретные математические модели в исследовании процессов автоматизированного обучения // Информационные технологии. – 2001. – № 12. – С. 32 – 36. 10. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1982. – 490 с.

УДК 681.513:620.1

Представление учебного материала на основе нечеткой логики / Поворознюк Н.И., Бобричник К.Е. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2008. – № 49. – С. 134 – 138.

В статье предложен подход к построению алгоритма выбора представления фрагментов учебного материала для коррекции самостоятельной учебы на базе нечеткой логики. Исследованы основные составные построения динамической модели студента: знание, умение, личные

преимущества представления учебного материала. Табл.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: учебный материал, нечеткая логика, алгоритм выбора, динамическая модель студента.

UDK 681.513:620.1

Presentation of educational material on the basis of fuzzy logic / Povoroznyuk N.I., Bobrivnik K.E. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and modeling. – NTU "KhPI". – 2008. – № 49. – P. 134 – 138.

In the article offered approach to the construction algorithm of choice of presentation of fragments of educational material for the correction of independent studies on the base of fuzzy logic. The basic component constructions of dynamic model of student are probed: knowledge, ability, personal advantages of presentation of educational material. Tabl.: 1. Bibliogr.: 10 titles.

Keywords: educational material, fuzzy logic, algorithm of choice, dynamic model of student.

Поступила в редакцію 15.10.2008

Е.И. ПРОХОРЕНКО, канд. техн. наук, БелГУ (г. Белгород),
И.А. СИДОРЕНКО, канд. техн. наук, БелГУ (г. Белгород),
А.В. БОЛДЫШЕВ, БелГУ (г. Белгород)

ЦИФРОВОЕ КОДИРОВАНИЕ РЕЧЕВЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ КЛИППИРОВАНИЯ И ЧАСТОТНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

Рассмотрена новая технология сжатия речевого сигнала для цифровых систем передачи информации, основанная на клиппировании речи с сохранением разборчивости речи и узнаваемости голоса. Предложены алгоритмы обработки цифрового речевого сигнала, реализующие обнаружение и удаление шума в паузах клиппированной речи, а также формирование данных об изменении мгновенного спектра речи на основе частотных представлений речевого сигнала.

Ключевые слова: сжатие речевого сигнала, клиппирование, разборчивость речи, узнаваемость голоса, частотное представление речевого сигнала.

Постановка проблемы. Построение эффективных цифровых систем передачи речевых сигналов определяется возможностью снижения затрат как на практическую реализацию алгоритмов обработки речевых данных, так и на сам процесс передачи данных, себестоимость которого пропорциональна объему передаваемых данных. Поэтому, например, операторы сетей мобильной связи заинтересованы в разработке алгоритмов сжатия речи, существенно уменьшающих объем битового представления речевых сигналов с сохранением их разборчивости и узнаваемости. Вот почему проблема сокращения объема данных при передаче речевых сигналов в цифровых системах передачи информации остается, по-прежнему, одной из самых исследуемых. Поиск путей возможного решения проблемы ведется в различных плоскостях и направлен на поиск компромисса между степенью сжатия речевых данных, с одной стороны, и сложностью алгоритма кодирования и обработки речи, с другой стороны. Непременным условием является сохранение качества речевого сигнала на выходе системы передачи информации, определяемое такими показателями как разборчивость речи и сохранение тембра речи, обеспечивающего узнаваемость голоса.

Анализ литературы. Анализ публикаций по проблеме эффективного сжатия речевых данных, например [1 – 9], позволяет определить следующие основные направления исследований:

- разработка эффективных методов компрессии данных, полученных после аналого-цифрового преобразования ограниченного по спектру речевого сигнала (амплитудное компандирование речи, удаление пауз и т.п.);
- поиск новых способов представления речи, основанных на передаче информации не о самой речи, а об её структурных элементах, таких как фонемы или форманты, либо об её спектре (частотное представление речи);

– имитация речевых сигналов посредством конечного набора реализаций шума или случайных сигналов, составляющих "словарь" для последующего синтеза речи в вокодерах;

– использование различных механизмов предсказания на основе математического аппарата Марковских цепей и т.п.

Предлагаемые в указанных источниках решения порой существенно снижают объем передаваемых данных, однако, как правило, это достигается значительным усложнением аппаратной реализации устройств кодирования и восстановления речевых сигналов, требующих применения высокопроизводительных сигнальных процессоров. Вместе с тем, цифровые технологии обработки речи позволяют по новому подойти к реализации механизмов уменьшения избыточности речевых сигналов, известных ещё с "аналоговых" времён.

Одним из наиболее эффективных способов уменьшения избыточности речи по праву считается клиппирование речевого сигнала. С точки зрения цифровых технологий клиппированный речевой сигнал может быть передан одноканальной (однобитовой) последовательностью данных, несущих информацию только о полярности дискретных отсчетов сигнала. Такой сигнал сохраняет достаточную для практики словесную и фразовую разборчивость, вполне приемлемую в тех системах передачи информации, где тембровой окраской голоса (узнаваемость абонента) можно пожертвовать. Этот широко известный факт не находит практического применения именно из-за потери узнаваемости голоса, вызванного сильным зашумлением речи при её предельном амплитудном ограничении. В аналоговую эпоху передачи речи для устранения этого недостатка предлагалось организовывать дополнительный канал, по которому тем или иным способом должна была передаваться информация о поведении огибающей исходного речевого сигнала [1, 2]. На приемной стороне после объединения информации обоих каналов мог быть восстановлен исходный речевой сигнал, достаточного для практического применения качества. Сложность осуществления этой процедуры с использованием аналоговой схемотехники оказалась главной причиной, по которой указанный метод передачи клиппированной речи не нашел практического применения. Другой, не менее сложной, оказалась проблема подавления шума в паузах речи, который резко снижал разборчивость и утомлял слух абонента телефонной сети.

Вместе с тем, обе эти проблемы могут быть успешно решены с применением цифровых технологий обработки речи. Для этого необходимо очистить речь от шума в паузах и в общем потоке данных передать сам клиппированный речевой сигнал и информацию об изменении огибающей сигнала, либо его мгновенного спектра.

Цель статьи – разработка новой технологии сжатия речевых данных, основанной на передаче очищенной от шума в паузах клиппированной речи и

дополнительной информации об изменении её мгновенного спектра и обеспечивающей сохранение разборчивости речи и узнаваемость голоса.

Технология кодирования речи основана на методе субполосного преобразования.

Согласно акустической теории речеобразования восприятие звуков определяется областями максимальной концентрации энергии – формантами, т.е. можно сказать, что 95% энергии речевого сигнала сосредоточены в сравнительно узком частотном диапазоне и именно эта составляющая спектра определяет степень разборчивости при воспроизведении речи. В некоторых случаях для достижения большой степени сжатия речевых данных можно пренебречь малоэнергетическими составляющими сигнала, которые определяют эмоциональную окраску речи и узнаваемость голоса диктора.

Таким образом, для решения проблем сжатия возникает необходимость избирательно преобразовывать спектральные компоненты из различных частотных диапазонов. В настоящее время все большее распространение получает подход на основе, так называемого, субполосного кодирования, который реализуется с использованием банков КИХ-фильтров, путем свертки сигнала с несколькими полосовыми фильтрами и децимацией результата.

Такой подход имеет определенные недостатки, поскольку проявляется эффект наложения спектров ("элайзинга"), возникающий при децимации, то есть относительная среднеквадратичная погрешность аппроксимации спектров исходного вектора в соответствующем частотном интервале, в основном, обусловлена малым количеством используемых прореженных данных, что, согласно теории Найквиста, приводит к элайзингу, а также зависит от степени подавления спектральных компонент в полосах непропускания и ширины переходных полос КИХ-фильтров.

В данной процедуре сжатия речевых данных используется новый вариационный метод субполосного преобразования, оптимальный с точки зрения минимума среднеквадратичной погрешности аппроксимации спектров исходного вектора в соответствующем частотном интервале.

Сущность субполосного преобразования заключается в следующем: для

отрезков сигнала вычисляется вектор $\vec{y} = (\vec{y}_1, \vec{y}_2, \dots, \vec{y}_R)$, состоящий из подвекторов $\vec{y}_r = (y_{1r}, y_{2r}, \dots, y_{Jr})$, которые отражают частотные свойства исходного сигнала в некотором частотном интервале (в данном случае ось частот разбивается на R частотных интервалов):

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

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

Блочная матрица формируется на основе субполосной матрицы $A_r = \{a_{ik}^r\}$ с элементами вида (2)

$$a_{ik}^r = \begin{cases} \frac{\sin[\nu_2^r(i-k)] - \sin[\nu_1^r(i-k)]}{\pi(i-k)}, & i \neq k, \\ \frac{\nu_2^r - \nu_1^r}{\pi}, & i = k, \end{cases} \quad (2)$$

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

$$V^r = [-\nu_2^r, -\nu_1^r) \cup [\nu_2^r, \nu_1^r), \quad (3)$$

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

Матрица A обладает тем свойством, что значения ее собственных чисел с номерами меньшими $m = 2 \left\lfloor \frac{N}{2R} \right\rfloor$ при упорядочивании по возрастанию близки к единице, а с номерами большими $J = 2 \left\lfloor \frac{N}{2R} \right\rfloor + 4$ стремятся к нулю (квадратная скобка означает операцию взятия целой части содержимого) [3,4].

Таким образом, существует возможность создания блочной матрицы:

$$AA = \begin{pmatrix} \sqrt{L_1^1} (Q_1^1)^T \\ \sqrt{L_1^2} (Q_1^2)^T \\ \dots \\ \sqrt{L_1^R} (Q_1^R)^T \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где $Q_1^r = (\vec{q}_1, \dots, \vec{q}_J)$ – подматрица собственных векторов матрицы A ;
 $L_1^r = \text{diag}(\vec{\lambda}_1, \dots, \vec{\lambda}_J)$ – подматрица собственных чисел матрицы A .

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

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

Данный метод частотного анализа подробно рассмотрен в [4].

Для отрезков сигнала осуществляется вычисление распределения энергии по частотному интервалу и упорядочивание полученных значений по убыванию, далее определяются номера интервалов, суммарная энергия в которых составляет 95% от общей.

Для данных интервалов вычисляются коэффициенты:

$$B_1^r = \sqrt{\frac{P_r}{P_{\max}}}, \quad (6)$$

где P_r – значение энергии в r -м частотном интервале исходного сигнала соответственно; P_{\max} – максимальное значение энергии исходного сигнала.

Для исходного сигнала осуществляется клиппирование с последующим сохранением полученных значений и вычисленных ранее коэффициентов.

При восстановлении для клиппированного сигнала вычисляются значения энергии (5) и коэффициенты:

$$B_2^r = B_1^r \sqrt{\frac{P_{\text{кл max}}}{P_{\text{клr}}}}, \quad (7)$$

где $P_{\text{клr}}$ – значение энергии в r -м частотном интервале клиппированного сигнала соответственно; $P_{\text{кл max}}$ – максимальное значение энергии клиппированного сигнала.

Значения коэффициентов B_2 умножаются на значение вектора субполосного преобразования для соответствующего частотного интервала

$$\hat{y} = \vec{y} B_{2r}. \quad (8)$$

Значения подвекторов субполосного преобразования \vec{y}_r , соответствующие интервалам, суммарная энергия которых составляет 5% от общей обнуляются. Далее осуществляется обратное субполосное преобразование:

$$\hat{x} = A A' \vec{y}. \quad (9)$$

Для проверки работоспособности алгоритма были проведены вычислительные эксперименты для большого количества сигналов. Процедура сжатия осуществлялась в 3 этапа: кодирование пауз [5, 6], клиппирование с вычислением коэффициентов (6), арифметическое кодирование. Полученные после процедуры сжатия данные сохранялись на жестком носителе, затем рассчитывались коэффициенты сжатия по формулам (10) и (11):

$$K1 = \frac{L1}{L2}, \quad (10)$$

$$K2 = \frac{V1}{V2}, \quad (11)$$

где $L1$ – длина исходного сигнала в отсчетах; $L2$ – длина сигнала с предварительно удаленными паузами, в отсчетах; $V1$ – объем исходного файла; $V2$ – объем файла, полученного в результате сжатия.

Типичные примеры результатов экспериментов представлены в табл.

Таблица

Тип сигнала	Параметры сигнала	Длина исходного сигнала (L1 отсчетов)	Длина сигнала с предварительно удаленными паузами (L2 отсчетов)	Объем исходного wav файла, Кб (V1)	Коэф. сжатия после удаления пауз (K1)	Объем файла, полученного в результате сжатия, Кб (V2)	Коэф. сжатия (K2)
диалог	$Fd = 8\text{кГц}$, количество бит на 1 символ равно 8	145125	92672	283	1.57	13.2	13.9
стих		82944	66650	162	1.25	9.45	17.14
слитная фраза		35327	19006	69	1.86	2.72	25.37
лекция		376426	164352	735	2.29	23.4	31.4

Таким образом, на основе приведенных данных можно утверждать, что данный подход к сжатию данных позволяет существенно сократить объем речевых данных при их хранении на жестких носителях информации, при сохранении относительно высокого качества воспроизведения восстановленного сигнала.

Выводы. В результате проделанной работы была предложена новая технология сжатия речевых данных, основанная на новом вариационном методе субполосного преобразования, оптимального с точки зрения минимума среднеквадратичной погрешности аппроксимации спектров исходного вектора в соответствующем частотном интервале.

Список литературы: 1. Бухвинер В.Е. Управляемое компандирование звуковых сигналов. – М.: Связь, 1978. – 208 с. 2. Козленко Н.И. Помехоустойчивость дискретной передачи непрерывных сообщений. – М.: Радиотехника, 2003. – 352 с. 3. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. – М.: Физматлит, 2004. – 560 с. 4. Жилияков Е.Г. Частотный анализ речевых сигналов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2006. – № 2 (31). – Вып. 3. – С. 201–208. 5. Прохоренко Е.И. Метод обнаружения пауз в речевых сигналах // Вестник московской академии рынка труда и информационных технологий. – 2006. – № 4 (26). – С. 13–20. 6. Жилияков Е.Г., Белов С.П. О сжатии речевых сигналов // Вестник Национального технического университета "Харьковский политехнический институт". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Х.: НТУ "ХПИ". – 2005. – № 56. – С. 32–40. 7. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2005. – 280 с. 8. Шелухин О.И., Лукьянцев Н.Ф. Цифровая обработка и передача речи. – М.: Радио и связь, 2000. – 320 с. 9. Орищенко В.И., Санников В.Г., Свириденко В.А. Сжатие данных в системах сбора и передачи информации / Под ред. В.А. Свириденко. – М.: Радио и связь, 1985. – 184 с.

УДК 621.391

Цифрове кодування мовних даних на основі кліппіровання і частотних представлень
/Е. І. Прохоренко, І.А. Сидоренко, А.В. Болдишев // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск:
Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008 – № 49. – С. 139 – 145.

Розглянута нова технологія стиснення мовного сигналу для цифрових систем передачі інформації, заснована на кліппірованій мові із збереженням розбірливості мови і впізнанності голосу. Запропоновані алгоритми обробки цифрового мовного сигналу, що реалізують виявлення і видалення шуму в паузах кліппірованої мови, а також формування даних про зміну миттєвого спектру мови на основі частотних представлень мовного сигналу. Табл.: 1. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: стиснення мовного сигналу, кліппіровання, розбірливість мови, впізнанність голосу, частотне представлення мовного сигналу.

UDC 621.391

Digital coding of speech data on the basis of speech clipping and frequency representations
/E.I. Prokhorenko, I.A. Sidorenko, Boldyshev A.V.// Herald of the National Technical University
"KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2008. – № 49. –
P. 139 – 145.

The new technology of compression of a speech signal for digital systems of transfer of the information, based on clipping speeches with preservation of legibility speech and recognition voice is considered. Algorithms of processing of the digital speech signal, realizing detection and removal of noise in pauses of clipped speech, and also formation of data about change of an instant spectrum of speech on the basis of frequency representations of a speech signal. Tabl.: 1. Bibliogr.: 9 titles

Keywords: compression of a speech signal, legibility of speech, frequency presentation of speech, clipping of speech.

Поступила в редакцію 10.10.2008

В. В. РОМАНЮК, канд. техн. наук, ХНУ (м. Хмельницький)

МЕТОД РЕАЛІЗАЦІЇ ПРИНЦИПУ ОПТИМАЛЬНОСТІ У МАТРИЧНИХ ІГРАХ БЕЗ СІДЛОВОЇ ТОЧКИ

Розроблено метод реалізації оптимальних змішаних стратегій у довільній матричній грі з невідомою кількістю партій гри. Основою розробленого методу є розігрування гравцем рівномірно розподілених на одиничному напівсегменті випадкових величин, причому імовірності їх розігрування прив'язані до імовірностей обирання чистих стратегій зі спектру оптимальної змішаної стратегії.

Ключові слова: матрична гра, оптимальна змішана стратегія, спектр стратегії, імовірність.

Постановка проблеми. Одним з найбільш простих способів дослідження та прогнозування конфліктно-керованих процесів є застосування ігрового математичного моделювання, де основою є теорія антагоністичних ігор. Матричні антагоністичні ігри є досить гнучкою та зручною моделлю для швидкого вирішення практичних задач, пов'язаних з прийняттям оптимальних рішень в умовах конфліктних ситуацій [1, 2]. Відомі методи розв'язування матричної гри без сідлової точки дозволяють знайти її розв'язки у змішаних стратегіях, де довільна пара оптимальних стратегій гравців складає ситуацію рівноваги і, таким чином, задовольняє принципу оптимальності. Проте практична реалізація принципу оптимальності, тобто практична реалізація кожним гравцем його змішаних стратегій у реальних процесах, розроблена та досліджена досить поверхнево [3, 4].

Аналіз літератури. У роботі [5] показано як реалізувати оптимальні змішані стратегії у довільній матричній 2×2 -грі з кінцевим числом партій гри, де за основу взято розігрування гравцями у кожній партії гри двох незалежних рівномірно розподілених на напівсегменті $[0; 1)$ випадкових величин та визначення за певними співвідношеннями тих чистих стратегій гравців, які у даній партії гри необхідно обирати. Це дає можливість досягти тотожності між математичним сподіванням виграшу першого гравця та значенням гри. Але необхідно знайти спосіб вирішення розглянутої проблеми для довільного числа чистих стратегій кожного з гравців, що з практичної точки зору може бути використано для оптимізації конфліктно-керованих систем, функціонування яких обмежено у часі [6, 7].

Мета роботи – узагальнити розроблений у [5] спосіб реалізації оптимальних змішаних стратегій для довільної матричної $M \times N$ -гри, де елементи множини натуральних чисел $M \in \mathbb{N} \setminus \{1\}$, $N \in \mathbb{N} \setminus \{1\}$, і, таким чином, розробити метод реалізації принципу оптимальності у матричних іграх без

сідлової точки.

Метод реалізації змішаних стратегій. Відомо, що коли у матричній 2×2 -грі з платіжною матрицею

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$a \in \mathbf{R}, b \in \mathbf{R}, c \in \mathbf{R}, d \in \mathbf{R}, \quad (2)$$

не виконується рівність

$$\max \{ \min \{ \{a, b\}, \{c, d\} \} \} = \min \{ \max \{ \{a, c\}, \{b, d\} \} \}, \quad (3)$$

то у цій 2×2 -грі множина сідлових точок у чистих стратегіях є пустою, причому

$$\max \{ \min \{ \{a, b\}, \{c, d\} \} \} < \min \{ \max \{ \{a, c\}, \{b, d\} \} \}, \quad (4)$$

$$a + d \neq c + b, \quad (5)$$

і така гра розв'язується в оптимальних змішаних стратегіях [1, 3, 5] першого

$$\widehat{\mathbf{X}} = [\widehat{p} \quad 1 - \widehat{p}] \quad (6)$$

та другого гравців

$$\check{\mathbf{Y}} = [\check{q} \quad 1 - \check{q}], \quad (7)$$

де $\widehat{p} \in (0; 1)$, $\check{q} \in (0; 1)$ і значення гри

$$V_{\text{opt}} = V(\widehat{p}, \check{q}) = \widehat{\mathbf{X}}\mathbf{P}(\check{\mathbf{Y}})^T. \quad (8)$$

Тоді перший гравець розіграє рівномірно розподілену на напівсегменті $[0; 1)$ випадкову величину Θ зі значенням θ і знаходить число

$$s = \frac{\text{sign}(\widehat{p} - \theta) + 1}{2} \cdot |\text{sign}(\widehat{p} - \theta)|, \quad (9)$$

яке, як видно, дорівнює 0 або 1. Паралельно другий гравець розіграє рівномірно розподілену на напівсегменті $[0; 1)$ випадкову величину Ξ зі значенням ξ і знаходить число

$$r = \frac{\text{sign}(\check{q} - \xi) + 1}{2} \cdot |\text{sign}(\check{q} - \xi)|, \quad (10)$$

де $r \in \{0, 1\}$. Далі перший гравець отримує вигравш

$$V(s, r) = \begin{bmatrix} s & 1-s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ 1-r \end{bmatrix} = \\ = apq + cq(1-p) + bp(1-q) + d(1-p)(1-q), \quad (11)$$

що є значенням випадкової величини, математичне сподівання якої дорівнює [5] значенню гри (8).

Тепер розглянемо довільну матричну $M \times N$ -гру з пустою множиною сідлових точок у чистих стратегіях, де перший гравець володіє множиною $X = \{x_i\}_{i=1}^M$ чистих стратегій, а другий – множиною $Y = \{y_j\}_{j=1}^N$ чистих стратегій. Нехай оптимальною змішаною стратегією першого гравця буде вектор

$$\widehat{X} = [\widehat{p}_1 \quad \widehat{p}_2 \quad \dots \quad \widehat{p}_{M-1} \quad \widehat{p}_M], \quad (12)$$

а оптимальною змішаною стратегією другого гравця – вектор

$$\check{Y} = [\check{q}_1 \quad \check{q}_2 \quad \dots \quad \check{q}_{N-1} \quad \check{q}_N]. \quad (13)$$

Ці вектори, звісно, задовольняють очевидним вимогам:

$$\widehat{X} \in \mathbf{R}^M, \quad \widehat{p}_i \in [0; 1] \quad \forall i = \overline{1, M}, \quad \sum_{i=1}^M \widehat{p}_i = 1, \quad (14)$$

$$\check{Y} \in \mathbf{R}^N, \quad \check{q}_j \in [0; 1] \quad \forall j = \overline{1, N}, \quad \sum_{j=1}^N \check{q}_j = 1. \quad (15)$$

За спектром

$$\text{supp } \widehat{X} = \{x_i \in X : \widehat{p}_i > 0\} = \{x_{i_k}\}_{k=1}^K \quad (16)$$

оптимальної стратегії (12) першого гравця сформуємо вектор відповідних імовірностей

$$\widehat{X}_0 = [\widehat{p}_{i_1} \quad \widehat{p}_{i_2} \quad \dots \quad \widehat{p}_{i_{K-1}} \quad \widehat{p}_{i_K}], \quad (17)$$

де $K \leq M$, $i_k < i_{k+1} \quad \forall k = \overline{1, K-1}$ та $i_k \in \{i\}_{i=1}^M \quad \forall k = \overline{1, K}$. Аналогічно за спектром

$$\text{supp } \check{Y} = \{y_j \in Y : \check{q}_j > 0\} = \{y_{j_l}\}_{l=1}^L \quad (18)$$

оптимальної стратегії (13) другого гравця сформуємо вектор відповідних імовірностей

$$\tilde{Y}_0 = [\tilde{q}_{j_1} \quad \tilde{q}_{j_2} \quad \dots \quad \tilde{q}_{j_{L-1}} \quad \tilde{q}_{j_L}], \quad (19)$$

де $L \leq N$, $j_l < j_{l+1} \quad \forall l = \overline{1, L-1}$ та $j_l \in \{j\}_{j=1}^N \quad \forall l = \overline{1, L}$.

Отож, у матричній 2×2 -грі з пустою множиною сідлових точок у чистих стратегіях кожен з гравців для визначення тієї чистої стратегії, яку у даній партії гри необхідно обирати, розіграє по одній рівномірно розподіленій на напівсегменті $[0; 1)$ випадковій величині. Як узагальнення, у матричній $M \times N$ -грі з пустою множиною сідлових точок у чистих стратегіях, де гравці мають спектри (16) та (18) своїх оптимальних змішаних стратегій, перший гравець має розігравати $K-1$ рівномірно розподілену на напівсегменті $[0; 1)$ випадкову величину $\{\Theta_k\}_{k=1}^{K-1}$ зі значеннями $\{\theta_k\}_{k=1}^{K-1}$, а другий гравець – розіграватиме $L-1$ рівномірно розподілену на напівсегменті $[0; 1)$ випадкову величину $\{\Xi_l\}_{l=1}^{L-1}$ зі значеннями $\{\xi_l\}_{l=1}^{L-1}$. Ясно, що у кожній парі $\{\{\Theta_k, \Xi_l\}_{k=1}^{K-1}\}_{l=1}^{L-1}$ ці випадкові величини мають бути незалежними.

Нехай спочатку розігруються Θ_1 та Ξ_1 . Якщо $\theta_1 < \widehat{p}_{i_1}$, то перший гравець обирає чисту стратегію x_{i_1} ; інакше, якщо $\theta_1 \geq \widehat{p}_{i_1}$, то перший гравець має обирати одну з решти $K-1$ чистих стратегій $\{x_{i_k}\}_{k=2}^K$. Тому далі він розіграє випадкову величину Θ_2 . Зрозуміло, що імовірність її розігрування дорівнює $1 - \widehat{p}_{i_1}$. Якщо

$$\theta_2 < \widehat{p}_{i_2} \frac{1}{1 - \widehat{p}_{i_1}}, \quad (20)$$

то перший гравець обирає чисту стратегію x_{i_2} ; інакше, якщо

$$\theta_2 \geq \widehat{p}_{i_2} \frac{1}{1 - \widehat{p}_{i_1}}, \quad (21)$$

то перший гравець має обирати одну з решти $K-2$ чистих стратегій $\{x_{i_k}\}_{k=3}^K$. І далі перший гравець розіграє випадкову величину Θ_3 . Імовірність її розігрування дорівнює $1 - (\widehat{p}_{i_1} + \widehat{p}_{i_2})$. Якщо

$$\theta_3 < \widehat{p}_{i_3} \frac{1}{1 - (\widehat{p}_{i_1} + \widehat{p}_{i_2})}, \quad (22)$$

то перший гравець обирає чисту стратегію x_{i_3} ; інакше, якщо

$$\theta_3 \geq \widehat{p}_{i_3} \frac{1}{1 - (\widehat{p}_{i_1} + \widehat{p}_{i_2})}, \quad (23)$$

то перший гравець має обирати одну з решти $K-3$ чистих стратегій $\{x_{i_k}\}_{k=4}^K$.

Процес такого пошуку може тривати до тих пір, поки не залишиться дві чисті стратегії $x_{i_{K-1}}$ та x_{i_K} , серед яких першому гравцю необхідно вибрати одну.

Тоді він розіграє випадкову величину Θ_{K-1} , де імовірність її розігрування

дорівнює $1 - \sum_{k=1}^{K-2} \widehat{p}_{i_k}$. Якщо

$$\theta_{K-1} < \widehat{p}_{i_{K-1}} \frac{1}{1 - \sum_{k=1}^{K-2} \widehat{p}_{i_k}}, \quad (24)$$

то перший гравець обирає чисту стратегію $x_{i_{K-1}}$; інакше, якщо

$$\theta_{K-1} \geq \widehat{p}_{i_{K-1}} \frac{1}{1 - \sum_{k=1}^{K-2} \widehat{p}_{i_k}}, \quad (25)$$

то перший гравець має обирати чисту стратегію x_{i_K} . Аналогічно повинен

діяти і другий гравець. Якщо $\xi_1 < \check{q}_{j_1}$, то другий гравець обирає чисту стратегію y_{j_1} ; інакше, якщо $\xi_1 \geq \check{q}_{j_1}$, то другий гравець має обирати одну з

решти $L-1$ чистих стратегій $\{y_{j_l}\}_{l=2}^L$. Тому далі він розіграє випадкову

величину Ξ_2 . Зрозуміло, що імовірність її розігрування дорівнює $1 - \check{q}_{j_1}$.

Якщо

$$\xi_2 < \check{q}_{j_2} \frac{1}{1 - \check{q}_{j_1}}, \quad (26)$$

то другий гравець обирає чисту стратегію y_{j_2} ; інакше, якщо

$$\xi_2 \geq \check{q}_{j_2} \frac{1}{1 - \check{q}_{j_1}}, \quad (27)$$

то другий гравець має обирати одну з решти $L-2$ чистих стратегій $\{y_{j_l}\}_{l=3}^L$. І

далі другий гравець розіграє випадкову величину Ξ_3 . Імовірність її

розігрування дорівнює $1 - (\bar{q}_{j_1} + \bar{q}_{j_2})$. Якщо

$$\xi_3 < \bar{q}_{j_3} \frac{1}{1 - (\bar{q}_{j_1} + \bar{q}_{j_2})}, \quad (28)$$

то другий гравець обирає чисту стратегію y_{j_3} ; інакше, якщо

$$\xi_3 \geq \bar{q}_{j_3} \frac{1}{1 - (\bar{q}_{j_1} + \bar{q}_{j_2})}, \quad (29)$$

то другий гравець має обирати одну з решти $L-3$ чистих стратегій $\{y_{j_l}\}_{l=4}^L$. Очевидно, що і тут процес такого пошуку може тривати до тих пір, поки не залишаться дві чисті стратегії $y_{j_{L-1}}$ та y_{j_L} , серед яких другому гравцю необхідно вибрати одну. Тоді він розіграє випадкову величину Ξ_{K-1} , де імовірність її розігрування дорівнює $1 - \sum_{l=1}^{L-2} \bar{q}_{j_l}$. Якщо

$$\xi_{L-1} < \bar{q}_{j_{L-1}} \frac{1}{1 - \sum_{l=1}^{L-2} \bar{q}_{j_l}}, \quad (30)$$

то другий гравець обирає чисту стратегію $y_{j_{L-1}}$; інакше, якщо

$$\xi_{L-1} \geq \bar{q}_{j_{L-1}} \frac{1}{1 - \sum_{l=1}^{L-2} \bar{q}_{j_l}}, \quad (31)$$

то він має обирати чисту стратегію y_{j_L} .

Таким чином, перший гравець розіграє випадкову величину Θ_k завжди перед випадковою величиною $\Theta_{k+1} \quad \forall k = \overline{1, K-2}$, причому якщо значення

$$\theta_u < \widehat{p}_{i_u} \frac{1}{1 - \sum_{k=1}^{u-1} \widehat{p}_{i_k}} \quad (32)$$

випадкової величини Θ_u , то перший гравець обирає чисту стратегію $x_{i_u} \quad \forall u = \overline{1, K-1}$; інакше, якщо

$$\theta_u \geq \widehat{p}_{i_u} \frac{1}{1 - \sum_{k=1}^{u-1} \widehat{p}_{i_k}}, \quad (33)$$

то перший гравець має розігравати випадкову величину $\Theta_{u+1} \quad \forall u = \overline{1, K-2}$ та має обирати чисту стратегію x_{i_k} при $u = K-1$. Другий гравець розіграє випадкову величину Ξ_l завжди перед випадковою величиною $\Xi_{l+1} \quad \forall l = \overline{1, L-2}$, причому якщо значення

$$\xi_v < \tilde{q}_{j_v} \frac{1}{1 - \sum_{l=1}^{v-1} \tilde{q}_{j_l}} \quad (34)$$

випадкової величини Ξ_v , то другий гравець обирає чисту стратегію $y_{j_v} \quad \forall v = \overline{1, L-1}$; інакше, якщо

$$\xi_v \geq \tilde{q}_{j_v} \frac{1}{1 - \sum_{l=1}^{v-1} \tilde{q}_{j_l}}, \quad (35)$$

то другий гравець має розігравати випадкову величину $\Xi_{v+1} \quad \forall v = \overline{1, L-2}$ та має обирати чисту стратегію y_{j_l} при $v = L-1$. При цьому кожен з гравців обирає чисті стратегії зі спектрів (16) і (18) з відповідними імовірностями (17) і (19), реалізуючи таким способом оптимальні змішані стратегії (12) і (13). Зокрема, у грі з матрицею

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 31 & 44 \\ 52 & 28 \end{bmatrix}, \quad (36)$$

яка відповідає умовам (1) – (5), реалізація оптимальної змішаної стратегії (6) першого гравця

$$\hat{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} \frac{24}{37} & \frac{13}{37} \end{bmatrix} \quad (37)$$

та оптимальної змішаної стратегії (7) другого гравця

$$\check{\mathbf{Y}} = \begin{bmatrix} \frac{16}{37} & \frac{21}{37} \end{bmatrix} \quad (38)$$

виглядає так. Якщо $\theta_1 < \frac{24}{37}$, то перший гравець обирає свою першу чисту стратегію x_1 ; інакше він обирає чисту стратегію x_2 . За умови $\xi_1 < \frac{16}{37}$ другий гравець обирає свою першу чисту стратегію y_1 , а в протилежному випадку він використовує чисту стратегію y_2 . На цій основі, як показують розрахунки, уже за 10 партій гри відносна відстань усередненого виграшу першого гравця від значення цієї гри

$$V_{\text{opt}} = \begin{bmatrix} \frac{24}{37} & \frac{13}{37} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 31 & 44 \\ 52 & 28 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{16}{37} \\ \frac{21}{37} \end{bmatrix} = \frac{1420}{37} \quad (39)$$

складає декілька сотих, при сотнях і тисячах партій гри відносна різниця між реальним середнім виграшем першого гравця та математичним сподіванням (11) його виграшу зменшується до тисячних, а з подальшим зростанням кількості партій гри усереднений виграш першого гравця прямує до числа (39). Таким чином і відбувається практична реалізація принципу оптимальності у грі з матрицею (36) та розв'язком (37) – (39), де, у загальному випадку, замість знаходження чисел (9) і (10) необхідно проводити обчислення та перевірку умов (20) – (35).

Висновки та перспектива подальшого дослідження. У матричній $M \times N$ -грі з пустою множиною сідлових точок у чистих стратегіях кожен гравець, послідовно розігруючи рівномірно розподілені на напівсегменті $[0; 1)$ випадкові величини, кількість яких не перевищує $H-1$, де H дорівнює потужності спектра оптимальної змішаної стратегії гравця, реалізує таким чином цю стратегію. Цей метод реалізації принципу оптимальності у матричних іграх без сідлової точки можна застосовувати, що очевидно, тільки при невідомій наперед кількості партій гри, тобто там, де невідомо, коли гра зупиниться. Питання про те, як діяти гравцям у реалізації їх оптимальних змішаних стратегій з відомим наперед числом партій гри, розробленим у представленій роботі методом з обчисленнями (20) — (35) вирішується лише частково. Це пов'язано з тим, що розігрування відповідних випадкових величин $\{\Theta_k\}_{k=1}^{K-1}$ та $\{\Xi_l\}_{l=1}^{L-1}$ забезпечує реалізацію лише векторів імовірностей (12) і (13) за умов (14) та (15), а ймовірність у даному сенсі математично і практично реалізується при нескінченній кількості випробувань, тобто при нескінченній кількості партій гри. А при відомій кількості партій гри гравець намагатиметься розробити власну тактику перебору чистих стратегій [8] для

забезпечення свого якомога більшого середнього виграшу. Тому предметом подальшого дослідження, що пов'язане з представленою роботою, є розробка методу реалізації оптимальних змішаних стратегій для довільної матричної $M \times N$ -гри з фіксованим і наперед відомим числом партій гри.

Список літератури: 1. *Воробьёв Н. Н.* Теория игр для экономистов-кибернетиков. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. – 272 с. 2. *Оуэн Г.* Теория игр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 216 с. 3. *Романюк В. В.* Про порядок перебору чистих стратегій в одній матричній грі без сідлової точки для реалізації оптимальних змішаних стратегій / Материали II Международной научно-практической конференции "Ключевые аспекты научной деятельности – 2007". – Том 7. – Естественные науки. – Днепропетровск: Наука и образование, 2007. – С. 12 – 14. 4. *Romanuke V. V.* The principle of optimality problem in the elementary matrix game with the finite number of plays // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2007. – № 1. – С. 226 – 230. 5. *Романюк В. В.* Моделювання реалізації оптимальних змішаних стратегій в антагоністичній грі з двома чистими стратегіями в кожного з гравців // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2007. – № 3. – С. 74 – 77. 6. *Романюк В. В.* Формулювання одного з принципів оптимальності в елементарній антагоністичній грі без сідлової точки при неповній реалізації оптимальних змішаних стратегій // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2007. – № 2. – Т. 2. – С. 218 – 222. 7. *Мушик Э., Мюллер П.* Методы принятия технических решений: – М.: Мир, 1990. – 208 с. 8. *Романюк В. В.* Тактика перебору чистих стратегій як теоретичне підґрунтя для дослідження ефективності різних способів реалізації оптимальних змішаних стратегій // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2008. – № 3. – С. 61 – 68.

УДК 519.832.3

Метод реализации принципа оптимальности в матричных играх без седловой точки / Романюк В. В. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2008. – № 49. – С. 146 – 154.

Разработан метод реализации оптимальных смешанных стратегий в произвольной матричной игре с неизвестным количеством партий игры. Основой разработанного метода является разыгрывание игроком равномерно распределённых на единичном полуотрезке случайных величин, причём вероятности их разыгрывания привязаны к вероятностям избирания чистых стратегий из спектра оптимальной смешанной стратегии. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: матричная игра, оптимальная смешанная стратегия, спектр стратегии, вероятность.

UDC 519.832.3

Method of realizing the optimality principle in matrix games without the saddle point / Romanuke V. V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2008. – № 49. – P. 146 – 154.

There has been developed the method of realizing the optimal mixed strategies in an undefined matrix game with unknown quantity of the game plays. The ground of the developed method is the player raffling the uniformly distributed on the unit semisegment variates, when the probabilities of their raffle are linked to the probabilities of the pure strategies selection from the optimal mixed strategy spectrum. Refs: 8 titles.

Key words: matrix game, optimal mixed strategy, strategy spectrum, probability.

Поступила в редакцию 10.10.2008

В.Г. СИНЮК, канд. тех. наук, БГТУ им. В.Г. Шухова (г. Белгород),
В.Н. АКОПОВ, СКФ БГТУ им. В.Г. Шухова (г. Минеральные Воды)

ПИКОВЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ

Рассмотрены существующие адаптивные генетические алгоритмы, применяемые в задачах оптимизации. Предложен нечеткий алгоритм на основе статистики, а также оригинальный пиковый алгоритм, гибридная структура которого включает в себя также нишевый алгоритм. Приведены результаты постановочного эксперимента, эмпирически подтверждающего практическую значимость разработанного подхода.

Ключевые слова: генетический алгоритм, нечеткий алгоритм, нишевый алгоритм.

Постановка проблемы. В настоящее время при решении плохо формализуемых задач широкое применение получили методы мягких вычислений. И среди них – генетические алгоритмы (ГА). Однако при использовании в оптимизационных задачах стандартный ГА подвержен попаданиям в локальные оптимумы, что значительно увеличивает время, требуемое на поиск решения. Для решения этой проблемы наиболее распространенной методикой является разделение пространства решения на параллельно существующие подпространства, что позволяет при небольших затратах на модификацию стандартного алгоритма на большинстве задач решить проблему попадания поискового алгоритма в локальные оптимумы. Другой подход заключается во включении дополнительного блока управления алгоритмом.

Описанные выше методики повышают способность ГА к поиску области оптимума. С другой стороны, поисковые способности алгоритма на этапе отыскания точного значения оптимума в пространстве решения снижаются. Разделение этапов во времени соответствует известному соотношению Парето 80/20 (первый и второй этапы соответственно). В теории ГА это соотношение известно как правило Решенберга.

Анализ литературы. Для привнесения в ГА способности к настройке собственной структуры и/или параметров разработаны так называемые адаптивные алгоритмы. К ним можно отнести: адаптивное изменение параметров скрещивания, адаптивное изменение размера популяции, а также введение нечеткости в блок управления ГА. Рассмотрим эти алгоритмы подробней.

Уменьшать мутацию в зависимости от времени работы генетического алгоритма впервые предложил еще Холланд [1]. Дальнейшее развитие эта идея получила в [2] и [3]. В последней работе предложен способ изменять вероятность мутации с течением времени экспоненциально. В [3] также предложено повышать вероятность мутации, если потомок имеет расстояние по Хэммингу по отношению к существующей хромосоме в популяции меньшее, чем минимальное расстояние в популяции.

Другой способ динамически изменять область поиска решения заключается в модификации оператора кроссинговера. Так в работе [4] делается вывод о высоких качествах BLX- α кроссинговера, который за счет случайных вариаций позволяет расширить исследуемое пространство решений. Однако такой кроссинговер с большей вероятностью разрушает устоявшиеся сочетания генов (схемы) [5].

Расширением приведенного выше подхода можно назвать предложенную Спирсом в работе [6] методику динамически менять тип кроссинговера. Таким образом, если в начале жизни популяции имеет смысл с достаточно большой вероятностью разрушать схемы, то по мере нахождения глобального оптимума устойчивость схем следует динамически повышать. Как страховку от попадания в локальные оптимумы возможно также применять динамическое уменьшения устойчивость геномных схем по мере стабилизации приспособленности лучшего представителя популяции. Там же предложен и другой подход – тип оператора кроссинговера заносится в специальный битовый ген и добавляется к основному генному набору каждого представителя популяции.

Другой подход к изменению как параметров скрещивания, так и вероятности и величины мутации основан на исследовании естественного мутационного процесса в природе. В работе [7] было замечено, что как расположение точек кроссинговера, так и вероятность мутации случайными назвать нельзя. Зависимость наблюдается в связи с расположением гена в хромосоме. Таким образом, в хромосоме можно выделить более и менее подверженные изменениям генные зоны. Попадание в так называемые "холодные" зоны может полностью исключить изменение гена в поколении. В ГА подобная методика использована в работе [2].

Следующим классом алгоритмов по повышению способностей ГА к адаптации можно назвать те модификации алгоритма, которые оказывают непосредственное влияние на динамическое изменение размера популяции [8], и так называемые нишевые алгоритмы, которые заключаются в разделении пространства решений на области (ниши). Причем эволюционный поиск может проходить как независимо по нишам, так и с обменом их представителей [9].

К типу адаптивных ГА можно отнести и SANUX – статистический алгоритм, предложенный в 2002 году Янгом. Это ГА с бинарным кодированием, основанный на предположении, что в процессе жизни популяции по мере сходимости алгоритма аллели хромосом стремятся к некоторому определенному оптимальному значению (0 или 1). И, следовательно, по статистике истории изменения значений генов можно сделать предположение о направленности отбора.

Отдельным направлением в развитии ГА является использование нечетких правил управления динамически изменяемыми параметрами алгоритма. Например, используемая в стандартных ГА линейная зависимость

параметров скрещивания заменяется на нечеткую функциональную зависимость. Вид такой зависимости задается с привлечением эксперта [10].

Цель статьи. Разработать ГА, поисковые способности которого превышали бы способность к эволюционному поиску перечисленных адаптивных алгоритмов.

Нечеткий ГА на основе статистики. В классической реализации ГА реализуется действие естественного отбора (ЕО) на уровне индивидов. В нишевых алгоритмах, кроме того, учитывается и ЕО на уровне ниш. Однако достаточно распространенная в микробиологии точка зрения на ЕО, как на отбор генов [11] в ГА распространение не получила.

Будем считать конкуренцию между генами за попадание в следующее поколение – требуемой основой для отбора на уровне генов. Мерой оценки генов будем считать стабильность значения гена в процессе смены поколений на основе статистически накапливаемых данных.

Предлагаемый в данной работе ГА на основе статистики относится к классу нечетких ГА с вещественным кодированием. В отличие от SANUX в данном алгоритме сбор статистики ведется по аллелям лучшего представителя популяции, а не по всей популяции целиком, что повышает производительность алгоритма. Необходимо сформулировать нечеткие правила управления, которые будут задавать параметры операторов рекомбинации:

П1: ЕСЛИ история гена *нестабильна*, **ТО** вероятность его наследования *невелика*.

П2: ЕСЛИ приспособленность индивида *хорошая*, **ТО** вероятность его наследования *достаточно велика*.

Второе нечеткое правило введено с целью предотвратить попадание в локальный оптимум.

Функции принадлежности предусловий можно определить либо с помощью экспоненциальной функции: $1 - \exp(f_{i1} * x - f_{i2})$, либо кусочно-линейными функциями.

Стабильность генома будем рассчитывать на основе оценки коэффициента корреляции, а именно ранговой корреляции Спирмена:

$$1 - \frac{6 \sum (a_i - b_i)}{(n-1)n(n+1)},$$

где n – длина последовательности; a_i, b_i – сравниваемая пара величин.

ГА открытых ниш. Основной проблемой при реализации стандартного нишевого ГА можно назвать выбор способа разделения популяции на ниши, а также выбор способа коммуникации между различными нишами.

Решением этих проблем может послужить использование так называемых открытых ниш. Открытой будем называть мобильную нишу (ниша с динамическим изменением границ) свободно допускающую перемещение индивидов. Для реализации подобного поведения воспользуемся одним из

кластеризующих алгоритмов (нечеткая сеть Кохонена, нечеткий алгоритм К-средних, алгоритм Густафсона-Кеселя).

Таким образом, открытая ниша представляет собой кластер, построение которого происходит в соответствии с генотипным набором индивида.

Далее можно предложить следующий способ расстановки контрольных точек изменения границ открытой ниши: на первом поколении, а также в тот момент, когда неопределенность принадлежности к кластеру значительно превысит допустимую.

Пиковый ГА. В работе [9] экспериментально показана эффективность статистического ГА и ГА мобильных ниш соответственно. В [4] многочисленными примерами подтверждается эффективность вещественного кодирования аллелей перед бинарным кодированием.

Для совмещения преимуществ приведенных в настоящей работе алгоритмов предложим так называемый пиковый ГА, который заключается в по-нишевом применении статистического ГА. Границы ниши определяются по результатам кластеризации. Пиковый ГА, таким образом, реализует в себе как отбор на уровне ниш, так и на уровне индивидов и, кроме того, отбор на уровне генов. Данная особенность приводит к повышенному уровню сходимости данного алгоритма по сравнению с отдельным применением его составляющих.

Постановочный эксперимент. Для экспериментального подтверждения приведенных выше положений проведем обучение многослойного перцептрона с одним скрытым слоем с помощью стандартного ГА, нечеткого ГА на основе статистики, кластеризующего ГА открытых ниш, а также пикового ГА (рис.).

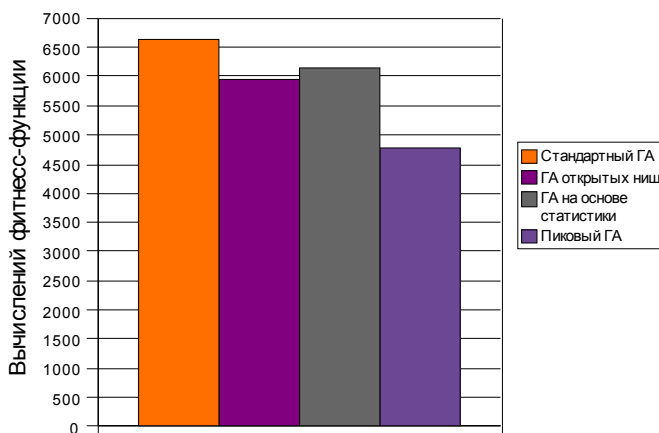


Рис. Результаты обучения многослойного перцептрона

Исходные данные эксперимента:

1. Начальный разброс синаптических весов: $[-0.5; 0.5]$.
2. Топология сети: $8 \times 50 \times 5$.
3. Размер популяции: 25.
4. Эффективность отбора: 0.5.
5. Вероятность мутации для стандартного ГА: 0.95.

Выводы. На основе проведенного эксперимента можно сделать вывод о практической применимости разработанного пикового ГА в оптимизационных и поисковых задачах. Деление же популяции на ниши допускает параллельное выполнение задач без значительных модификаций базового алгоритма.

Список литературы. 1. *Holland J.H.* Adaptation in natural and artificial systems. – The University of Michigan Press, 1975. 2. *Back T.* The interaction of mutation rate, selection, and self-adaptation within genetic algorithm / Parallel problem solving from nature 2. – Amsterdam. – Elsevier Science Publishers. – 1992. 3. *Herrera F., Lozano M.* Adaptation of genetic algorithm parameters based on fuzzy logic controllers / Department of Computer Science and Artificial Intelligence University of Granada, Spain. – 1996. 4. *Herrera F., Lozano M., Verdegay J.L.* Tackling Real-Coded Genetic Algorithms: Operators and Tools for Behavioural Analysis. / Department of Computer Science and Artificial Intelligence University of Granada, Spain. – 1996. 5. *Goldberg D.E., Sastry K.* A Practical Schema Theorem for Genetic Algorithm Design and Tuning / Illinois Genetic Algorithms Laboratory, 2001. 6. *Spears W.M.* Adapting crossover in a genetic algorithm. – The University of Michigan Press, 1988. 7. *Gorlov I.P., Ladygina T.Yu., Serov O.L., Borodin P.M.* Heredity. – 1991. – V. 66. – P. 453-458. 8. *Baker J.E.* An analysis of the effects of selection in genetic algorithms / Doctoral dissertation, University of Vanderbilt, 1985. 9. *Mahfoud S.W.* Niching methods for genetic algorithms / IlliGAL Report. – №. 95001, – 1995. 10. *Ярушкіна Н.Г.* Основы теории нечетких и гибридных систем / Учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с. 11. *Грант В.* Эволюционный процесс: Критический обзор эволюционной теории. – М.: Мир, 1991 – 488 с.

УДК 519.832.3

Піковий генетичний алгоритм / Синюк В.Г., Акопов В.Н. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008 – № 49. – С. 155 – 159.

Розглянуті існуючі адаптивні генетичні алгоритми, що використовуються в задачах оптимізації. Запропонований нечіткий алгоритм на основі статистики, а також оригінальний піковий алгоритм, гібридна структура якого включає також нишевий алгоритм. Приведені результати постановочного експерименту, емпірично підтверджуючого практичну значущість розробленого підходу. Библиогр.: 11 назв.

Ключеві слова: генетичний алгоритм, нечіткий алгоритм, нишевий алгоритм.

UDC 519.832.3

Genetic algorithm of spades / Romanuke V. V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2008. – № 49. – P. 155 – 159.

Existent adaptive genetic algorithms, applied in the tasks of optimization, are considered. An unclear algorithm is offered on the basis of statistics, and also original algorithm of spades, the hybrid structure of which plugs in itself also a schema algorithm. The results of raising experiment, empiric confirmative practical meaningfulness of the developed approach are resulted. Refs: 11 titles.

Key words: genetic algorithm, unclear algorithm, schema algorithm.

Поступила в редакцію 10.10.2008

Т.Н. СОЗОНОВА, БелГУ (г. Белгород, Россия),
Н.С. ТИТОВА, БелГУ (г. Белгород, Россия),
Н.В. ЩЕРБИНИНА, БелГУ (г. Белгород, Россия)

ПРИМЕНЕНИЕ ВАРИАЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ И ОЦЕНКИ ПЕРВОЙ ПРОИЗВОДНОЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В настоящее время в различных областях науки и техники широкое развитие получили системы, ориентированные на получение, обработку и хранение информации, представленной в виде изображений. В работе рассмотрены некоторые аспекты обработки изображений, в частности, передискретизация и увеличение четкости изображений на базе вариационных алгоритмов интерполяции и оценивания первой производной на основе частотных представлений.

Ключевые слова: интерполяция, оценка первой производной, частотное представление, передискретизация, четкость изображения.

Постановка проблемы: Многие отрасли науки и техники, имеющие отношение к получению, обработке, хранению и передаче информации, в значительной степени ориентируются в настоящее время на развитие систем, в которых информация имеет характер изображений. Изображение, которое рассматривается как двумерный сигнал, является значительно более емким носителем информации, чем обычный одномерный (временной) сигнал. Вместе с тем, при решении многих научных и инженерных задач при работе с визуальными данными требуется в качестве промежуточного этапа проводить пересчет цифровых изображений на другую растровую сетку.

Одной из задач обработки изображений является передискретизация. К задаче передискретизации предъявляются высокие требования по точности, так как каждое преобразование ведет к накоплению ошибки. Таким образом, наилучшим является алгоритм, который производит набор необходимых преобразований за один этап и использует наиболее точный для данной задачи метод аппроксимации. В настоящее время во многих редакторах обработки изображений используются в основном билинейная и бикубическая интерполяция. Отметим, что интерполяция изображения может привести к сильному размытию последнего.

Еще одной из задач обработки изображений является увеличение четкости. Недостаточная четкость изображения может иметь множество объяснений: недостаточное разрешение используемой фототехники, увеличение или уменьшение размера изображения и др.

Таким образом, возникает необходимость при помощи обработки придать изображению такие качества, благодаря которым его восприятие человеком было бы по возможности комфортным. Часто бывает полезным подчеркнуть, усилить какие-то черты, особенности, нюансы наблюдаемой картины с целью улучшения ее субъективного восприятия.

Цель статьи. В данной работе предлагается использовать новые вариационные алгоритмы интерполяции (для увеличения размера изображения) и оценивания производных (для увеличения четкости изображения), основанные на использовании класса целых аппроксимирующих функций ограниченной степени роста. К ним, в частности, относятся функции с финитной областью определения трансформант Фурье, то есть с финитными спектрами.

Учитывая, что изображение можно рассматривать как двумерный сигнал, интерполяция изображения может производиться в два этапа: вдоль оси ОХ и вдоль оси ОУ.

Основная часть. Рассмотрим математические основы предлагаемых алгоритмов интерполяции и оценивания производных по одному направлению (вдоль оси ОХ).

Пусть в эквидистантных точках $t_i = i\Delta t$, $i = 0, \dots, N$ дан вектор значений сигнала

$$\begin{aligned} \vec{u} &= (u_0, \dots, u_N)^T, \\ u_i &= u(i\Delta t), \quad i = 0, \dots, N, \end{aligned} \quad (1)$$

где символ T означает транспонирование.

Представляется целесообразным областью определения аппроксимирующей функции считать всю числовую ось, т.е.

$$-\infty \leq t \leq \infty. \quad (2)$$

При этом потребуем, чтобы в любой точке области определения существовали и были непрерывными производные любого порядка, причем выполнялись неравенства

$$\int_{-\infty}^{\infty} \left| \widehat{u}^{(k)}(t) \right|^2 dt < \infty, \quad k = 0, 1, \dots \quad (3)$$

В основе дальнейших построений используется представление

$$\widehat{u}(t) = u_0 + \int_0^t f(\tau) d\tau, \quad (4)$$

которое позволяет по производной вычислить интерполирующую функцию. Очевидно, что при этом должны выполняться интерполяционные равенства

$$\widehat{u}_i = \widehat{u}(i\Delta t) = u_i, \quad i = 0, 1, \dots, N. \quad (5)$$

Для оценки производной будем использовать класс моделей целых функций, которые представимы в виде

$$f(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} F(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega, \quad (6)$$

где $\Omega = [-\Omega_2, -\Omega_1) \cup [\Omega_1, \Omega_2)$; $\Omega_1 < \infty$; $\Omega_2 < \infty$, $F(\omega)$ – трансформанта Фурье, связанная с модельной функцией дуальным соотношением (7)

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau. \quad (7)$$

Выбор области определения Ω трансформанты Фурье может быть продиктован априорными сведениями о свойствах сигнала.

Подстановка представления (7) в правую часть (6) позволяет получить соотношение для вычисления интерполирующей функции на основе трансформанты Фурье производной

$$\hat{u}(t) = u_0 + \frac{1}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} F(\omega) \frac{\sin\left(\frac{\omega t}{2}\right)}{\frac{\omega}{2}} e^{\frac{j\omega t}{2}} d\omega, \quad (8)$$

так что условиям интерполяции (5) нетрудно придать вид

$$\frac{1}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} F(\omega) \frac{\sin\left(\frac{\omega \Delta t_i}{2}\right)}{\frac{\omega \Delta t}{2}} e^{\frac{j\omega \Delta t_i}{2}} d\omega = \frac{v_i}{\Delta t}, \quad (9)$$

где

$$v_i = (u_i - u_0), \quad i = 1, \dots, N. \quad (10)$$

Для отбора интерполирующей функции из класса целых предлагается использовать вариационный принцип минимизации евклидовой нормы производной. На основе представления (7) и равенства Планшереля (Парсевалья), этому принципу нетрудно придать вид

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f^2(\tau) d\tau = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} |F(\omega)|^2 d\omega = \min. \quad (11)$$

Таким образом, задача сводится к поиску решения вариационной изопериметрической задачи, определяемой условием (11) и ограничениями вида (9). В работе показано, что искомое решение представимо в виде

$$F(\omega) \equiv \sum_{i=1}^N \beta_i \frac{\sin\left(\frac{\omega \Delta t_i}{2}\right)}{\frac{\omega \Delta t}{2}} e^{-\frac{j\omega \Delta t_i}{2}}, \quad (12)$$

когда $\omega \in \Omega$ и $F(\omega) = 0$, и нулю в противном случае.

Для вычисления вектора множителей Лагранжа $\vec{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_N)^T$ следует воспользоваться подстановкой представления (12) в левые части равенств (9). В результате нетрудно получить систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), которым должен удовлетворять набор коэффициентов

$$A\vec{\beta} = \vec{v} = (v_1, \dots, v_N)^T, \quad (13)$$

где

$$A = \{a_{ki}\}, \quad a_{ik} = \frac{1}{\pi} \int_{\bar{\Omega}_1}^{\bar{\Omega}_2} \frac{\sin\left(\frac{xk}{2}\right) \sin\left(\frac{xi}{2}\right)}{\left(\frac{x}{2}\right)^2} \cos\left[\frac{x}{2}(k-i)\right] dx; \quad \bar{\Omega}_r = \Delta t \Omega_r, \quad r = 1, 2. \quad (14)$$

В строгом смысле симметричная матрица с элементами вида (14) является положительно определенной. Отметим, что если интервал интегрирования в (14) удовлетворяет условию

$$\bar{\Omega}_2 - \bar{\Omega}_1 = N\Delta t(\Omega_2 - \Omega_1) \geq 2\pi, \quad (15)$$

то определитель матрицы A будет заметно больше нуля, следовательно, решение СЛАУ вида (13) будет устойчивым. Отметим, что неравенство вида (15) всегда можно выполнить за счёт соответствующего определения размеров области определения трансформанты Фурье, моделирующей (аппроксимирующей производную) целой функции. Иными словами, в указанном смысле решение сформулированных задач оценивания производной и интерполяции на основе соотношения (8) всегда существует.

Если же интервал интегрирования удовлетворяет условию

$$N(\bar{\Omega}_2 - \bar{\Omega}_1) < \pi, \quad (16)$$

то значения элементов матрицы A будут близки и ее определитель будет близок к нулю, следовательно решение СЛАУ вида (13) будет неустойчивым. В этом случае при вычисления вектора $\vec{\beta}$ предлагается использовать псевдообратную матрицу A^+ , вычисляемую через ненулевые собственные числа и соответствующие им собственные векторы

$$A^+ = Q_1 L_1^{-1} Q_1^T, \quad (17)$$

где $L_1 = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_J)$, $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_J > 0$, $Q_1 = (\vec{q}_1, \dots, \vec{q}_J)$.

На основе соотношений (12), (14) нетрудно получить вычислительные формулы для интерполирующей функции (18) и оценки производной (19):

$$\hat{u}(\tau) = u_0 + \frac{\tau}{\pi} \sum_{i=1}^N \beta_i \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) \sin\left(\frac{\omega\Delta t}{2} i\right)}{\frac{\omega\tau}{2} \frac{\omega\Delta t}{2}} \cos\left[\frac{\omega}{2}(\tau - i\Delta t)\right] d\omega \quad (18)$$

$$f(\tau) = \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^N \beta_i \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin\left(\frac{\omega\Delta t}{2} i\right)}{\frac{\omega\Delta t}{2}} \cos\left[\omega\left(\tau - \frac{i\Delta t}{2}\right)\right] d\omega; \quad (19)$$

Отметим еще одну возможность организации вычислений, если заранее известен набор τ_k , $k = 1, \dots, L$ интервала $[0, N\Delta t]$, в котором предполагается в дальнейшем вычисление интерполирующих функций. Тогда, используя (18) и

(19) с учетом СЛАУ (13) можно получить следующие вычислительные формулы:

Для интерполирующей функции

$$\hat{\bar{u}} = (\hat{u}(\tau_1), \dots, \hat{u}(\tau_L))^T = u_0 \bar{e}_L + CA^+ \bar{v}, \quad (20)$$

где $\bar{e}_L = (1, \dots, 1)^T$; $C = \{c_{ki}\}$;

$$c_{ki} = \frac{\tau_k}{\pi} \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin\left(\frac{\omega\tau_k}{2}\right) \sin\left(\frac{\omega\Delta t}{2} i\right)}{\frac{\omega\tau_k}{2} \frac{\omega\Delta t}{2}} \cos\left[\frac{\omega}{2}(\tau_k - i\Delta t)\right] d\omega. \quad (21)$$

Для оценки производной

$$\bar{f} = (f(\tau_1), \dots, f(\tau_L))^T = BA^+ \bar{v}, \quad (22)$$

где

$$B = \{b_{ki}\}; \quad k = 1, \dots, L; \quad i = 1, \dots, N,$$

$$b_{ki} = \frac{1}{\pi} \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin\left(\frac{\omega\Delta t}{2} i\right)}{\frac{\omega\Delta t}{2}} \cos\left[\omega\left(\tau_k - \frac{i\Delta t}{2}\right)\right] d\omega. \quad (23)$$

Удобство применения этих формул заключается в том, что матрицы A , B и C могут быть вычислены заранее, храниться в памяти ПК и многократно использоваться.

Рассмотрим применение предложенных алгоритмов интерполяции и оценки производной для обработки изображений. Пусть в качестве исходных данных имеем изображение размером $N \times M$ ($y = N$, $x = M$) пикселей.

1. Увеличение изображений в K раз.

Для увеличения изображения будем использовать предложенный вариационный алгоритм интерполяции.

На первом этапе осуществляем вычисление матриц $A_x = \{a_{ij}\}$, $i = \overline{1, N-1}$, $j = \overline{1, N-1}$, с элементами вида (14) и $C_x = \{c_{ij}\}$, $i = \overline{1, N-1}$, $j = \overline{1, N-1}$ с элементами вида (21).

Затем осуществляем интерполяцию исходного изображения предложенным вариационным методом вдоль оси OX по выражению

$$\hat{f}_x = fC_x A_x^+,$$

где \hat{f}_x – изображение, интерполированное вдоль оси OX , f – исходное изображение.

В результате получаем изображение, интерполированное вдоль оси OX , приведенное на рис. 1.



Рис. 1. Интерполяция изображения вдоль оси OX

На втором этапе эксперимента осуществляем интерполяцию изображения, приведенного на рис. 1 вдоль оси OY, для чего предварительно производим вычисление матриц $A_y = \{a_{ij}\}$, $i = \overline{1, M-1}$, $j = \overline{1, M-1}$ с элементами вида (14) и $C_y = \{c_{ij}\}$, $i = \overline{1, (M-1)}$, $j = \overline{1, M-1}$ с элементами вида (21). Интерполяцию осуществляем по выражению

$$\hat{f} = C_y A_y + \hat{f}_x,$$

где \hat{f}_x – интерполированное изображение.

В результате получим изображение размером $5N \times 5M$ пикселей. Результаты эксперимента представлены на рис. 2.



Рис. 2. Интерполированное изображение

Из приведенных данных видно, что предложенный алгоритм интерполяции может быть применен для увеличения размера изображения с приемлемой точностью.

2. Увеличение четкости изображений.

Для увеличения четкости изображений предлагается использовать предложенный метод оценки производных.

На первом этапе эксперимента производилось вычисление матриц $B_x = \{b_{ki}\}$; $k = 1, \dots, N$; $i = 1, \dots, N$ и $B_y = \{b_{ki}\}$; $k = 1, \dots, M$; $i = 1, \dots, M$ с элементами вида (23) и осуществлялось вычисление второй смешанной производной по выражению

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} = B_x A^{-1} \cdot f \cdot B_y A^{-1},$$

где $A_y = \{a_{ij}\}$ – матрица с элементами вида (14), f – исходное изображение.

Затем к исходному изображению добавлялось значение второй смешанной производной, то есть

$$\hat{f} = f + \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y},$$

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

Результаты эксперимента приведены на рисунках 3 и 4.

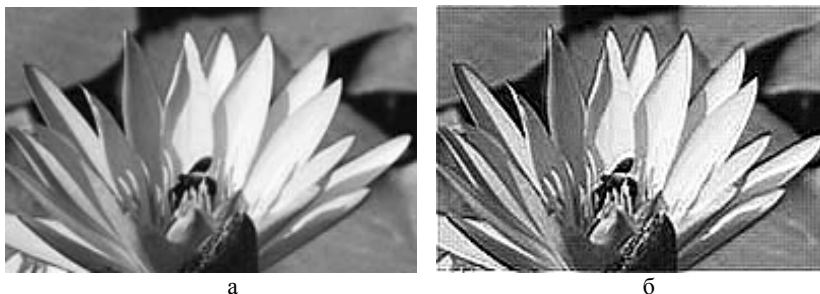


Рис. 3. Исходное изображение (а), изображение после обработки (б)

После обработки изображения наблюдается увеличение четкости границ перехода от светлого тона к более темному.

Вывод. По результатам экспериментов видно, что предлагаемый алгоритм увеличения четкости изображений позволяет повысить детальность наблюдаемой картины, дает возможность наблюдать мелкие детали на всех участках изображения. А так же позволяет получить более четкие границы

отдельных объектов, то есть производить оконтуривание, что может быть полезно в геологии, при обработке аэроснимков земной поверхности и т.д.

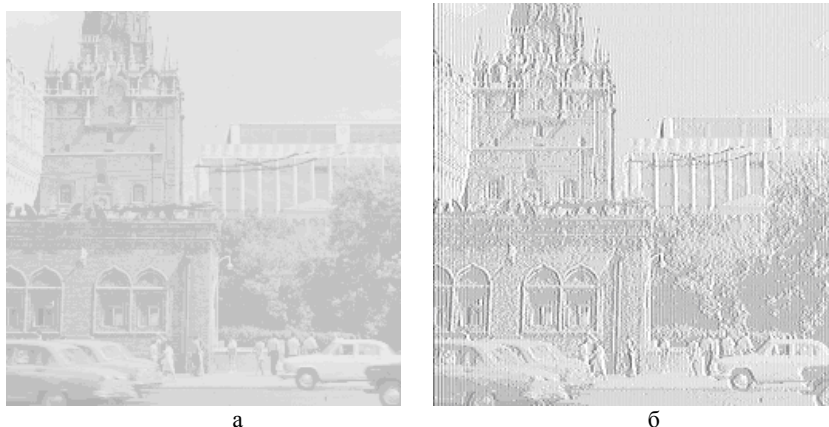


Рис. 4. Исходное изображение (а), изображение после обработки (б)

Очевидным достоинством предлагаемого алгоритма увеличения четкости изображений является его предельная простота. Следует отметить быстрдействие предлагаемого алгоритма, которое достигается за счет предварительного вычисления используемых матриц и хранения их в памяти компьютера. Вместе с тем, предлагаемый алгоритм обработки изображений приводит к очевидному субъективному улучшению визуального качества.

Список литературы: 1. Ланцош К. Практические методы прикладного анализа. – М.: Физматгиз, 1961. – 524 с. 2. Хургин Я.И., Яковлев В.П. Фinitные функции в физике и технике. – М.: Наука, 1971. – 408 с. 3. Жилияков Е.Г., Созонова Т.Н., Мисливец И.Ю. Вариационный метод оценивания производных и интерполяции сигналов по эмпирическим данным // Вестник Воронежского государственного университета, Серия: Системный анализ и информационные технологии. – Воронеж. – 2006. – Вып. 2. – С. 70-73. 4. Колесников А.П. Введение в численный анализ. Учеб. пособие для физ.-мат. фак. ун-тов. – М.: Из-во РУДН, 2002. – 218 с. 5. Де Бор К. Практическое руководство по сплайнам: – М.: Радио и связь, 1985. – 304 с. 6. Смирнов В.И. Курс высшей математики. Учеб. пособие для мех.-мат. и физ.-мат. фак. ун-тов. В 5-ти т. – Т. 4. – Ч. 1. – М.: Наука, 1974. – 336 с.

УДК 336.153

Застосування варіаційних алгоритмів інтерполяції і оцінки першої похідної для обробки зображень / Т.Н. Созонова, Н.С. Титова, Н.В. Щербинина // Вісник НТУ "ХП". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХП". – 2008. – № 49. – С. 160 – 168.

В даний час в різних областях науки і техніки широкий розвиток отримали системи, орієнтовані на отримання, обробку і зберігання інформації, представлені у вигляді зображень. У даній роботі розглянуті деякі аспекти обробки зображень, зокрема, передискретизація і збільшення чіткості, на основі варіаційних алгоритмів інтерполяції і оцінювання першої похідної на основі частотних уявлень. Лл.: 4. Бібліогр.: 6 назв.

Ключові слова: інтерполяції, оцінювання першої похідної, частотний уявний, передискретизація, чіткості зображень

UDC 336.153

Variational algorithms of the interpolation and the estimation of the first derived for image processing / T.N. Sozonova, N.S. Titova, N.V. Shcherbinina // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2008. – № 49. – P. 160 – 168.

Nowadays in different areas of the science and technology broad development have got the systems, oriented on reception, processing and keeping the information, presented as the images. In the article some aspects of the image processing are considered, in particular, resampling and the sharpness increase, on the variational algorithms of interpolation and estimation of the first derived on the frequency presentations base. Figs: 4. Refs: 6 titles

Key words: interpolation, estimation of the first derived, frequency presentation, resampling, image sharpness

Поступила в редакцію 10.10.2008

И.А. СЕРБИНЕНКО, канд. мед. наук, ГУ "ИНПН АМНУ" (г. Харьков),
А.В. ЧЕРНЕНКОВ, врач-нейрохирург, ГУ "ИНПН АМНУ"(г. Харьков)

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОКОРТИКОГРАФИИ, ЭЛЕКТРОСУБКОРТИКОГРАФИИ В ИНТРАОПЕРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОЧАГОВ ЭПИЛЕПТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Представлена технология электрофизиологической диагностики локализации эпилептических очагов, обусловленных очаговыми поражениями головного мозга, в процессе нейрохирургической операции.

Ключевые слова: электрокортикография, электросубкортикография, эпилептический очаг, интраоперационная диагностика.

Постановка проблемы. Эпилепсия – одно из наиболее распространенных заболеваний [1 – 3]. Заболеваемость эпилепсией согласно мировой статистике составляет в среднем 70 человек на 100000 населения. Распространенность – до 31 случая на 1000 населения, распространенность судорожных припадков составляет 20 случаев на 1000 населения [1, 4]. Общее количество больных на планете – около 40 млн. В Украине эпилепсией страдают в среднем 7 – 12 человек на 1000 населения. Согласно данным большинства эпидемиологических исследований, проведенных в Украине и других странах, в настоящее время регистрируется рост удельного веса эпилепсии в общей структуре заболеваний нервной системы от 0,5 до 1,2% [5].

Значительные достижения периода последних десятилетий в изучении этиопатогенеза, улучшение диагностики, эффективности лечения различных форм эпилепсии не позволили добиться желаемых результатов. Эпилепсия остается одной из актуальных проблем современной медицины. Это обусловлено тем, что у 30% пациентов с этой патологией в наиболее развитых странах мира, у 60 – 90% в России не удается добиться контроля над эпилептическими приступами и адекватной социальной адаптации больных [2]. Фокальные эпилепсии с соответствующими структурными изменениями, выявленными методами нейровизуализации, наиболее часто являются фармакорезистентными. Выявлено, что около 30% эпилепсий, которые не поддаются терапии, являются резистентными к любым лекарственным препаратам. Поэтому в настоящее время более широко стали применять нейрохирургические методы лечения эпилепсии. По данным ряда исследователей количество потенциальных кандидатов на хирургическое лечение в США составляет 75 тыс. человек, в Германии – 7 тыс., в Англии – 2 тыс., в России – 50 тыс., в Украине – не менее 50 тыс. человек [1, 2].

Анализ литературы. Анализ данных мирового опыта хирургического лечения показывает, что наиболее успешными являются операции при

височно-долевых эпилепсиях (в 70 – 90% случаев достигаются хорошие результаты), при лобно-долевых эпилепсиях (в 50 – 70%), при затылочной эпилепсии (50 – 88%) [2, 4, 10, 11]. Успешность устранения припадков прямо зависит от объема удаляемой ткани мозга, при условии включения в него первичного эпилептогенного фокуса [6]. Однако это находится в противоречии с требованием щадящего подхода. Поэтому объем оперативного вмешательства определяется индивидуально в каждом конкретном случае и зависит от целого ряда условий [6, 7, 8].

Основную роль в диагностике эпилепсии играют электроэнцефалографические исследования, которые проводят многократно с использованием функциональных нагрузок, при необходимости – с применением сфеноидальных, фронтобазальных, тимпанических электродов [7, 8]. С целью определения точной локализации фокуса эпилептической активности применяют ЭЭГ-видеомониторинг [3, 4, 6], исследование биоэлектрической активности головного мозга во время ночного сна, особенно у больных с ночными припадками [2, 4, 6]. Комплексное предоперационное обследование больного с использованием современных методов анализа ЭЭГ в сочетании с нейровизуализационными исследованиями позволяет установить локализацию эпилептогенного фокуса. Для уточнения показаний к хирургическому лечению могут применяться инвазивные методы исследования (электроды, имплантированные в область овального отверстия; электрокортикография; электросубкортикография). Однако окончательное решение вопроса о целесообразности удаления тех или иных зон головного мозга принимается во время операции на основании результатов интраоперационной электрокортикографии, электросубкортикографии [9].

Цель работы – усовершенствование технологии интраоперационной диагностики локализации эпилептических очагов и контроля эффективности их возможного полного удаления.

Характеристика обследованных больных. Было изучено 50 больных в возрасте от 4 до 56 лет, страдающих фокальной симптоматической фармакорезистентной эпилепсией, обусловленной сосудистыми мальформациями (у 40% больных), перенесенными черепно-мозговыми травмами (у 20% больных), рубцовыми изменениями медио-базальных отделов височной доли (у 20 % больных), новообразованиями головного мозга (у 10% больных), последствиями перинатальных гипоксически-ишемических повреждений паренхимы мозга (у 10% больных). Всем больным было проведено комплексное обследование на предоперационном этапе.

Методы исследования. В условиях операционной на этапе оперативного вмешательства для уточнения зоны очага эпилептической активности проводились электрокортикография, электросубкортикография. Исследования проводились с применением графитовых электродов (одноразового использования) и стальных игольчатых электродов. Специально для

интраоперационной диагностики было разработано устройство, позволяющее свободно перемещать электроды над операционным полем в любом направлении и под разными углами к структурам головного мозга в зоне операции, а также жестко фиксировать электроды во время записи биоэлектрической активности, регистрация которой производилась от восьми отведений одновременно.

Изложение основного материала. Всем больным выполнены открытые нейрохирургические операции, целью которых являлось, с одной стороны – осуществление максимально необходимой радикальности резекционных вмешательств, с другой – проведение минимизированных хирургических действий, которые ограничивались бы преимущественно эпилептогенной зоной. В связи с этим кортикография и субкортикография проводились до и после удаления как самого очага органического поражения головного мозга, так и его перифокальной зоны. Причем, регистрация биоэлектрической активности, как на первом, так и на контрольном этапах исследований, осуществлялась в период операционного наркоза и на фоне постепенного (в течение пяти минут) снижения глубины наркоза с последующим постепенным (в течение пяти минут) увеличением глубины наркоза.

Автоматизированная обработка кортикограммы проводилась сразу же после ее регистрации и включала следующие из предусмотренных программой технического комплекса DX-NT 32 Standard виды анализа: идентификация пиков и острых волн, спектральный анализ, обнаружение локализации очага пароксизмальной активности. Следует отметить, что, не смотря на быструю обработку сигнала, данная программа не отвечает всем необходимым требованиям к анализу кортикограммы, субкортикограммы в особых интраоперационных условиях, поскольку анализ не учитывает особенностей влияния различных видов наркоза на биоэлектрическую активность головного мозга, отсутствует возможность быстрого проведения сравнительного анализа результатов, получаемых на разных этапах оперативного вмешательства. Поэтому комплексный анализ кортикограммы, субкортикограммы в условиях нейрохирургической операции на головном мозге обязательно проводится специалистом-неврологом под визуальным контролем.

Результаты анализа. Комплексный анализ кортикограмм, субкортикограмм позволил выявить следующие варианты изменений:

- наличие коррелятов эпилептиформной активности с достаточно четко определяемой локализацией. В период снижения глубины наркоза, как правило, нарастает степень выраженности эпиактивности с тенденцией к распространению на близлежащие зоны;

- отсутствие признаков эпилептиформной активности в фоновой записи и их появление локально в период снижения глубины наркоза, в некоторых случаях с тенденцией к распространению на близлежащие зоны;

- наличие синхронных всплесков эпилептиформной активности по всем

каналам. Изменение структуры, амплитудно-частотных характеристик и некоторой разницы во времени их формирования на фоне снижения и увеличения глубины наркоза позволяет в каждом конкретном случае адекватно оценить перестройку биоэлектрической активности и выявить наличие и количество эпилептических очагов в перифокальной зоне очагового поражения головного мозга.

Выводы. В результате проведенной работы представлена технология поэтапной интраоперационной диагностики локализации эпилептических очагов и контроля их возможно полной резекции. Технология предусматривает применение компьютерного анализа зарегистрированной биоэлектрической активности на каждом из этапов.

Список литературы: 1. Дзяк Л.А., Зенков Л.Р., Кириченко А.Г. Эпилепсия. Руководство для врачей. – К.: Книга плюс, 2001. – 168 с. 2. Зенков Л.Р., Пртыко А.Г. Фармакорезистентные эпилепсии. – М.: Медпресс-информ, 2003. – 207 с. 3. Темин П.А., Никанорова М.Ю. и др. Эпилепсии и судорожные синдромы у детей. Руководство для врачей. – М.: Медицина, 1999. – 654 с. 4. Гузева В.И. Эпилепсия и неэпилептические пароксизмальные состояния у детей. – М.: Медицинское информационное агентство, 2007. – 563 с. 5. Волошин П.В., Миценко Т.С., Лекомцева Е.В. Аналіз поширеності та захворюваності на нервові хвороби в Україні // Міжнародний неврологічний журнал. – 2006. – № 3 (7). – С. 9-13. 6. Зенков Л.Р. Клиническая эпилептология. – М.: Медицинское информационное агентство, 2002. – 415 с. 7. Чхенкели С.А., Шрамка М. Эпилепсия и ее хирургическое лечение. – Братислава: Веда, 1990. – 368 с. 8. Шершеввер А.С. Хирургическое лечение эпилепсии. – Екатеринбург, 2005. – 144 с. 9. Никифоров А.С., Коновалов А.Н., Гусев Е.И. Клиническая неврология. – М.: Медицина, 2004. – Т. 3. – 444 с. 10. Wilson S.J., Saling M.M., Lawrence J., Bladin P.F. Outcome of temporal lobectomy: expectations and the prediction of perceived success // *Epilepsy research*. – 1999. – V. 36. – P. 1-14. 11. Wyllie E., Ruggieri P., Raja S., Kotagal P., Comair Y.G. Epilepsy surgery in infants // *Epilepsia*. – 1996. – V. 37. – P. 625-637.

УДК 616.8-89-073.97

Комп'ютерний аналіз електрокортикографії, електросубкортикографії в інтраопераційній діагностиці локалізації вогнищ епілептичної активності / Сербіненко І.А., Черненко А.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008. – № 49. – С. 169 – 172.

Представлено технологію електрофізіологічної діагностики локалізації епілептичних вогнищ, обумовлених осередковими поразками головного мозку, у процесі нейрохірургічної операції. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: електрокортикографія, електросубкортикографія, епілептичне вогнище, інтраопераційна діагностика.

UDC 681.513:620.1

The computer analysis elektrokortikografii, elektrosubkortikografii in intraoperacionnyy diagnostics to localizations centre to epileptic activity / Serbinenko I.A., Chernenkov A.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2008. – №. 49. – P. 169 – 172.

Presented technology elektrophysiological diagnosticses to localizations epileptic centre, conditioned hearth by defeats of the cerebrum, in process neural surgicai operations. Refs: 9 titles.

Key words: elektrokortikografii, elektrosubkortikografii, epileptic centre, intraoperacionnyy diagnostics.

Поступила в редакцію 15.10.2008

Б.Н. СУДАКОВ, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
Н.Ю. ЛЮБЧЕНКО, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
А.В. ЛЮБЧЕНКО, НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

МЕТОДЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ В ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ

Проведен анализ методов представления знаний в экспертных системах в применении для различных проблемных областей и классов решаемых в них задач. Сделан вывод о том, что не существует универсальных формально-логических средств, которые бы полностью удовлетворяли требованиям, предъявляемым к методам представления знаний в экспертных системах. Предложено разработать метод представления знаний в экспертных системах, который бы, с одной стороны, учитывал преимущества существующих языков представления знаний, а с другой – специфику конкретной проблемной области.

Ключевые слова: методы представления знаний, экспертные системы.

Постановка проблемы. В области экспертных систем представление знаний означает систематизированную методику описания на машинном уровне того, что знает человек-эксперт, специализирующийся в конкретной предметной области. В настоящее время существует множество формализмов для представления знаний, которые используются в экспертных системах (ЭС). Представляет интерес анализ методов представления знаний в экспертных системах на предмет применимости их для различных конкретных предметных областей и классов решаемых в них задач.

Анализ литературы. Как известно, в ЭС часто используются логико-лингвистические или семиотические модели, центральным звеном в которых являются формально-логические средства представления знаний о структуре и логике предметной области, в рамках которой работает данная система.

В общем случае методы представления знаний в ЭС можно объединить в три группы, каждая из которых обладает своими преимуществами и недостатками [1, 2]: логические, реляционные языки представления знаний и ролевые фреймы.

Цель статьи – провести анализ методов представления знаний в экспертных системах на предмет применимости их в разных предметных областях.

Логические языки представления знаний. В первую группу входят логические языки представления знаний. Эти языки используют для своего определения формальную систему логического типа. В качестве такой системы используется исчисление высказываний, исчисление предикатов первого порядка, многозначные логики или модальные исчисления [3 – 7]. В любом случае постулируется, что в основе логического языка лежит некоторая формальная система. Другими словами, формализованы синтаксис и

семантика языка. Синтаксис задается набором правильных синтаксических выражений, обладающих разрешающей процедурой. Это означает, что для любого выражения в данном языке эти правила однозначным образом и за конечное число шагов определяют, является ли это выражение синтаксически правильным или не является. Семантика языка логического типа задается набором правил преобразования выражений и разрешающей процедурой, позволяющей за конечное число шагов определить, является ли данное выражение семантически правильным. Формальная система определяется следующим образом. задается произвольное множество элементов, которые называются терминами относительно множества T :

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n, \dots\}. \quad (1)$$

Предполагается существование процедуры N , которая эффективно определяет принадлежность некоторого элемента t множеству T и отождествляет его (если $t \in T$) с одним из элементов T . Кроме того, для любой пары элементов из T процедура N определяет, совпадают ли они между собой. Природа терминов может быть произвольной. В качестве t_i могут выступать, например, графемы русского алфавита, отдельные слова языка, иероглифы и т.п. Определяются правила P , с помощью которых из термов можно образовывать некоторые совокупности. Все совокупности, которые получаются из T с помощью правил P , называются синтаксически правильными, а сами правила P – синтаксическими правилами, причем существует разрешающая эффективная процедура Π , которая позволяет для любой совокупности термов τ определять, принадлежит ли или не принадлежит τ к F (F – множество всех совокупностей термов, получающихся из T с помощью P). В F произвольным образом выделяется подмножество аксиом $F' \subset F$. Затем задаются правила Q , с помощью которых из одних элементов множества F можно получать другие элементы Y . Эти правила являются семантическими (правила вывода), причем, должно выполняться условие, что они позволяют построить эффективную разрешающую процедуру N_1 , с помощью которой для любой совокупности термов, входящей в множество F , можно сказать, принадлежит ли эта совокупность к подмножеству F'' . Подмножество F'' образуется при всевозможных применениях правил вывода к элементам подмножества F' .

Формальной системой называется кортеж из четырех элементов:

$$M = \langle T, P, F', Q \rangle, \quad (2)$$

а эффективной системой – кортеж из семи элементов

$$M^3 = \langle T, N, P, \Pi, F', Q, N_1 \rangle. \quad (3)$$

Важным понятием, связанным с формальными системами, является интерпретация. Для нее задается множество Z (конечное или бесконечное), а также специальная процедура Ψ , позволяющая отображать элементы из множества F на Z при условии, что задано отображение множества T для термов, входящих в интересующую совокупность из F , на Z . В классических логических исчислениях в качестве Z используется двухэлементное множество {истина, ложь}. Наличие процедуры Ψ в этих исчислениях позволяет для каждой правильно построенной формулы при заданной интерпретации входящих в нее термов получить интерпретацию всей формулы [6].

Несмотря на достаточно мощный и универсальный аппарат логического вывода, используемый в логических языках, они обладают следующими недостатками [6, 7]:

- трудность (неоднозначность) перевода предложений естественного языка;
- трудность учета в процедурах вывода частных знаний о предметной области, что приводит к необходимости построения логического вывода произвольной глубины, а следовательно – к увеличению времени поиска ответа;
- отсутствие эффективных процедур для исчислений более высоких порядков, чем первый; отсутствие взаимосвязи между отдельными формулами.

Реляционные языки представления знаний. Второй тип языков, используемых при построении информационного обеспечения ЭС – реляционные. Для них характерно введение конечного множества бинарных отношений, с помощью которых передаются смысловые связи между элементами языка. Геометрической моделью для записей в реляционных языках служат семантические сети. Вершины в этих сетях отождествляются с элементами языка, а дуги – с бинарными отношениями, существующими между этими элементами. Математической моделью реляционных языков является алгебраическое понятие модели с носителем X и сигнатурой R [6, 7]. В настоящее время известно множество работ, посвященных семантическим сетям [5 – 8].

Анализ работы систем, использующих языки реляционного типа, показывает, что наряду с такими их достоинствами как:

- возможность представления структурированной экстенциональной информации;
- возможность использования средств логического вывода;
- сохранение структуры данных в процессе логического вывода;
- возможность структурного ограничения глубины логического

вывода,

им присущи следующие существенные недостатки:

- невозможность представления кванторных утверждений;
- нарушение структуры модели проблемной области при попытке включить в экстенциональную сеть интенционалов действий, событий, процессов;
- отсутствие денотативной семантики;
- отсутствие общей упорядоченной структуры представления знаний, что затрудняет поиск информации и усложняет логический вывод.

Ролевые фреймы. Третья группа языков представления знаний информационной составляющей ЭС опирается на специальные конструкции, называемые ролевыми фреймами [6, 7]. С точки зрения лингвистики они представляют собой описания, в которых в явном виде используются так называемые глубинные падежи Филмора и аналогичные им средства. Каждая единица в предложении описывается через те семантические роли, которые она может выполнять. Примерами таких ролей могут служить: субъект действия, объект действия, препятствие, ресурс, орудие и т.д. В таких языках понятие сложного типа определяется через совокупность обязательных ролей, заполнение которых необходимо для выражения сущности данного понятия. Понятие определяется ролевым фреймом

$$\{i; \rho_1 \langle \omega_1 \rangle; \rho_2 \langle \omega_2 \rangle; \dots; \rho_m \langle \omega_m \rangle; \rho_{m+1} \langle \omega_{m+1} \rangle; \dots; \rho_n \langle \omega_n \rangle\}, \quad (4)$$

где i – имя понятия; ρ_1, \dots, ρ_m – обязательные роли; $\rho_{m+1}, \dots, \rho_n$ – необязательные роли; ω_i – позиции ролей.

Различают символические и конкретные фреймы. В символических фреймах позиции, соответствующие ω_i , остаются незаполненными. В конкретных фреймах все обязательные роли принимают некоторые значения, т.е. обязательно заполняют позиции $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m$. Такие конкретные фреймы называют экземплярами фреймов. Пары ρ_i, ω_i , представляющие семантически определенную часть ролевого фрейма, называют слотами. Родственные фреймы связываются в систему фреймов, которые, в свою очередь, организуются в информационно-поисковую сеть. Такая сеть используется в случаях, когда предложенный фрейм не удается привести в соответствие с данной ситуацией, т.е. когда слотам не могут быть присвоены значения, удовлетворяющие условиям, которые связаны с этими слотами.

В последнее время ролевые языки активно внедряются в практику построения информационной составляющей ЭС. Объясняется это тем, что представления, используемые в них, оказываются удобными для обработки информации в современных компьютерах и для ее хранения в системных

структурах памяти. Однако, ролевым языкам присущ ряд существенных недостатков [9]:

- сложность введения в них эффективных процедур эквивалентных преобразований; затруднено использование логического вывода;
- невозможность гибкого многоаспектного представления информации, что особенно важно в интерактивных системах;
- отсутствие эффективных процедур обработки сетей фреймов.

Как видно из проведенного анализа, все изложенные формально-логические языковые средства для представления знаний в ЭС достаточно универсальны в том плане, что не ориентированы на специфические особенности процессов функционирования отдельных предметных областей. Степень адекватности модели предметной области реальным процессам определяется возможностями того или иного формально-логического средства по их представлению.

Однако, как правило, эти методы в недостаточной степени учитывают специфику конкретных предметных областей. Поэтому более гибкими являются проблемно-ориентированные методы представления знаний в экспертных системах. В этих методах уже можно пытаться аксиоматизировать знания о предметной области и эффективно манипулировать ими в дальнейшем как с формальными объектами.

Выводы. Из проведенного анализа следует, что не существует универсальных формально-логических средств, которые бы полностью удовлетворяли требованиям, предъявляемым к естественно-языковым текстам из внутреннего представления в экспертных системах. Поэтому дальнейшие исследования будут посвящены разработке метода представления знаний в экспертных системах, которые бы, с одной стороны, учитывали преимущества существующих языков представления знаний трех типов, а с другой – специфику конкретной проблемной области и классов решаемых в ней задач.

Список литературы: 1. Плесневич Г.С. Концептуальные языки и модели данных // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1984. – №5. – С. 23 – 39. 2. Тихонов А.Н., Цветков В.Л. Методы и системы поддержки принятия решения. – М.: Макс Пресс, 2001. – 312 с. 3. Азарова И.В., Митрофанова О.А., Синопальникова А.А. Компьютерный тезаурус русского языка типа WordNet / Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии. Труды Межд. конф. "Диалог – 2003" (Протвино, 11-16 июня 2003 г.). – 2003. – С. 43 – 50. 4. Братко И. Алгоритмы искусственного интеллекта на языке PROLOG. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 640 с. 5. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с. 6. Осуга С. Обработка знаний. – М.: Мир, 1989. – 193 с. 7. Уэно Х., Исидзука М. Представление и использование знаний. – М.: Мир, 1989. – 220 с. 8. Ландэ Д.В. Поискковые системы: поле боя – семантика // Телеком. – 2004. – № 4. – С. 44 – 50. 9. Леонтьева Н.Н. Автоматическое понимание текстов: системы, модели, ресурсы. – М.: Академия, 2006. – 304 с.

УДК 004.031.42

Методи представлення знань в експертних системах / Судаков Б.М., Любченко Н.Ю., Любченко О.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008. – № 49. – С. 173 – 178.

Проведено аналіз методів представлення знань в експертних системах в застосуванні для різних проблемних областей і класів вирішуваних в них завдань. Зроблено висновок про те, що не існує універсальних формально-логічних засобів, які б повністю задовольняли вимогам, що пред'являються до методів представлення знань в експертних системах. Запропоновано розробити метод представлення знань в експертних системах, який би, з одного боку, враховував переваги існуючих мов представлення знань, а з іншого – специфіку конкретної проблемної області. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: методи представлення знань, експертні системи.

UDC 004.031.42

Technologi of reconfigurable computing / Sydakov B.M., Lubchenko N.Yu., Lubchenko O.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2008. – №. 49 – P. 173 – 178.

The analysis of knowledge representation methods in expert systems using for various problem areas and classes of tasks solved in them is carried out. The summary that there is no universal formal-logical resources which completely would meet requirements, shown to knowledge representation methods in expert systems is done. It is offered to develop a knowledge representation method in expert systems which on the one hand would consider advantages of existing languages of knowledge representation, and on the other hand – specificity of concrete problem area. Refs: 9 titles.

Key words: knowledge representation methods, expert systems.

В.М.УДОВИЧЕНКО, канд. техн. наук, НТУ "ХПІ", (м. Харків)

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ІНТЕГРАЛІВ ФУР'Є ТА ХАРТЛІ

Сформульовані та доведені теореми, що встановлюють взаємозв'язок інтегралів Фур'є та Хартлі для неперіодичних та фінітних функцій. Дані теореми є узагальненням відповідних теорем, які встановлюють взаємозв'язок між операторами обчислення дискретних та дискретно-неперервних перетворень Фур'є та Хартлі. Наведені тестові приклади.

Ключові слова: інтеграли Фур'є, інтеграли Хартлі, взаємозв'язок інтегралів Фур'є та Хартлі.

Постановка проблеми. Проблема, яку ми розв'язуємо в даній статті, полягає в доповненні інструментарію інформаційних технологій у базисах Фур'є та Хартлі (скорочено $F\&H$) [1, 2] відповідними теоремами, які встановлюють зв'язок між інтегралами $F\&H$ для неперіодичних та фінітних функцій. Ці теореми є узагальненням відповідних теорем, які були раніше сформульовані для операторів перетворень $F\&H$ і потрібні для подальшої розбудови інструментарію інформаційних технологій у базисах $F\&H$. Тому проблема є актуальною.

Аналіз літератури. У літературі присвяченій застосуванню перетворень $F\&H$, основними напрямками досліджень є теоретичні аспекти перетворень $F\&H$ та їх застосування для вирішення практичних задач обробки сигналів [3 – 6], порівняння швидких алгоритмів дискретних перетворень $F\&H$ [7], створення багатовимірних варіантів дискретних перетворень $F\&H$ [8], але відсутні теореми, що встановлюють взаємозв'язок інтегралів $F\&H$.

Метою роботи є формулювання та доведення теорем, що встановлюють взаємозв'язок інтегралів Фур'є та Хартлі для неперіодичних та фінітних функцій з метою подальшого їх застосування для розбудови інструментарію інформаційних технологій в базисах $F\&H$.

Побудова теорем, що встановлюють взаємозв'язок інтегралів $F\&H$ для неперіодичних та фінітних функцій.

Випадок 1. Відомо [4, 6], прями перетворення $F\&H$ неперіодичної, абсолютно інтегрованої функції $f(t)$, $\text{Re}[f(t)], \text{Im}[f(t)] \in C(D)$, $D = (-\infty, \infty)$, (C – множина комплексних функцій дійсного аргументу.

Умова V), можуть бути представлені у вигляді:

$$\Theta_{\rho}^{F\&H}(f) = G \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \begin{bmatrix} \exp(-j2\pi t\rho) \\ \text{cas}(2\pi t\rho) \end{bmatrix} dt, \quad \rho \in \mathfrak{R}, \quad (1)$$

де $F\&H$ – скорочення "Фур'є або Хартлі", \mathfrak{R} – множина дійсних чисел, $\text{cas}(\alpha) = \cos(\alpha) + \sin(\alpha)$, $G = 1/(2\pi)$, $j = \sqrt{-1}$.

Представимо \mathfrak{R} у вигляді: $\mathfrak{R} = \mathfrak{R}^+ \cup \mathfrak{R}^0 \cup \mathfrak{R}^-$, де \mathfrak{R}^+ – підмножина \mathfrak{R} , множина додатніх дійсних чисел; \mathfrak{R}^- – підмножина \mathfrak{R} , множина від’ємних дійсних чисел. Введемо позначення:

$$v_{-1} \in \mathfrak{R}^-, v_{+1} \in \mathfrak{R}^+, v_{+1} = -v_{-1}. \quad (2)$$

З урахуванням (2) із (1) отримуємо:

$$\Theta_{v_{\mp 1}}^{F \setminus H}(f) = G \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \begin{bmatrix} \exp(-j 2 \pi t v_{\mp 1}) \\ \text{cas}(2 \pi t v_{\mp 1}) \end{bmatrix} dt. \quad (3)$$

Для подальшого застосування наводимо пряму та обернену теореми Удовиченка В.М. [9, 10]:

$$\exp(\pm j \alpha) = \left(\frac{1 \pm j}{2} \right) \text{cas}(\alpha) + \left(\frac{1 \mp j}{2} \right) \text{cas}(-\alpha), \alpha \in \mathfrak{R}, \quad (4)$$

$$\text{cas}(\pm \alpha) = \left(\frac{1 \mp j}{2} \right) \exp(j \alpha) + \left(\frac{1 \pm j}{2} \right) \exp(-j \alpha), \alpha \in \mathfrak{R}. \quad (5)$$

Теорема 1. (Удовиченко В.М.) Для інтегралів (3) виконується наступне:

$$\Theta_{v_{\mp 1}}^{F \setminus H}(f) = \left(\frac{1 \mp j}{2} \right) \Theta_{v_{\mp 1}}^{H \setminus F}(f) + \left(\frac{1 \pm j}{2} \right) \Theta_{v_{\pm 1}}^{H \setminus F}(f). \quad (6)$$

Доведення виконується шляхом застосування до (3) теорем (4), (5).

Випадок 2. Відомо [4, 6], прямі перетворення F & H фінітної, абсолютно інтегрованої функції $f(t)$, $\text{supp } f(t) = D$, $D = [-\pi, \pi]$, $f(t) \in C(D)$, можуть бути представлені у вигляді:

$$\Omega_{\rho}^{F \setminus H}(f) = G \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \begin{bmatrix} \exp(-j 2 \pi t \rho) \\ \text{cas}(2 \pi t \rho) \end{bmatrix} dt, \rho \in \mathfrak{R}. \quad (7)$$

З урахуванням (2) із (7) отримуємо::

$$\Omega_{v_{\mp 1}}^{F \setminus H}(f) = G \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \begin{bmatrix} \exp(-j 2 \pi t v_{\mp 1}) \\ \text{cas}(2 \pi t v_{\mp 1}) \end{bmatrix} dt, \quad (8)$$

Теорема 2. (Удовиченко В.М.) Для інтегралів (8), виконується наступне:

$$\Omega_{v_{\mp 1}}^{F \setminus H}(f) = \left(\frac{1 \mp j}{2} \right) \Omega_{v_{\mp 1}}^{H \setminus F}(f) + \left(\frac{1 \pm j}{2} \right) \Omega_{v_{\pm 1}}^{H \setminus F}(f). \quad (9)$$

Доведення частини першої – $\Omega_{v_{\mp 1}}^F(f)$ теорема 2 виконуємо із використанням (4):

$$\Omega_{v_{\mp 1}}^F(f) = G \int_{-\pi}^{\pi} f(t) [\exp(-j 2 \pi t v_{\mp 1})] dt =$$

$$\begin{aligned}
&= G \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \left[\left(\frac{1 \mp j}{2} \right) \text{cas}(2\pi t v_{\mp 1}) + \left(\frac{1 \pm j}{2} \right) \text{cas}(-2\pi t v_{\mp 1}) \right] dt = \\
&= \left(\frac{1 \mp j}{2} \right) G \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \text{cas}(2\pi t v_{\mp 1}) dt + \left(\frac{1 \pm j}{2} \right) G \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \text{cas}(2\pi t v_{\pm 1}) dt = \\
&= \left(\frac{1 \mp j}{2} \right) \Omega_{v_{\mp 1}}^H(f) + \left(\frac{1 \pm j}{2} \right) \Omega_{v_{\pm 1}}^H(f).
\end{aligned}$$

Частина перша – $\Omega_{v_{\mp 1}}^F(f)$ теореми 2 доведена. Доведення частини другої – $\Omega_{v_{\mp 1}}^H(f)$ теореми 2 виконується із використанням (5) аналогічно.

Хай $\bar{\Omega}_{v_{\mp 1}}^{F \setminus H}(f)$, $\tilde{\Omega}_{v_{\mp 1}}^{F \setminus H}(f)$ – значення інтегралів $F \setminus H$, які ми отримуємо при обчисленні дійсних та комплексних функцій дійсного аргументу $f(\circ)$ відповідно. Функції $f(\circ)$ задовольняють умову V .

Наслідок 1. Для інтегралів Фур'є $\bar{\Omega}_{v_{\mp 1}}^F(f)$, які ми обчислюємо через інтеграли Хартлі $\bar{\Omega}_{v_{\mp 1}}^H(f)$, безпосередньо із (9) отримуємо:

$$\bar{\Omega}_{v_{\mp 1}}^F(f) = \left\{ \left[\bar{\Omega}_{v_{-1}}^H(f) + \bar{\Omega}_{v_{+1}}^H(f) \right] \pm j \left[\bar{\Omega}_{v_{+1}}^H(f) - \bar{\Omega}_{v_{-1}}^H(f) \right] \right\} / 2. \quad (10)$$

Наслідок 2. Для інтегралів Хартлі $\bar{\Omega}_{v_{\mp 1}}^H(f)$, які ми обчислюємо через інтеграли Фур'є $\bar{\Omega}_{v_{\mp 1}}^F(f)$ безпосередньо із (9) з урахуванням (10) отримуємо:

$$\bar{\Omega}_{v_{\mp 1}}^H(f) = \text{Re} \left[\bar{\Omega}_{v_{+1}}^F(f) \right] \pm \text{Im} \left[\bar{\Omega}_{v_{+1}}^F(f) \right]. \quad (11)$$

Наслідок 3. Для інтегралів Фур'є $\tilde{\Omega}_{v_{\mp 1}}^F(f)$, які ми обчислюємо через інтеграли Хартлі $\tilde{\Omega}_{v_{\mp 1}}^H(f)$, безпосередньо із (9) отримуємо:

$$\tilde{\Omega}_{v_{\mp 1}}^F(f) = [(a \pm b + c \mp d) + j(b \mp a + d \pm c)] / 2, \quad (12)$$

де $a = \text{Re} \left[\tilde{\Omega}_{v_{-1}}^H(f) \right]$, $b = \text{Im} \left[\tilde{\Omega}_{v_{-1}}^H(f) \right]$, $c = \text{Re} \left[\tilde{\Omega}_{v_{+1}}^H(f) \right]$, $d = \text{Im} \left[\tilde{\Omega}_{v_{+1}}^H(f) \right]$.

Наслідок 4. Для інтегралів Хартлі $\tilde{\Omega}_{v_{\mp 1}}^H(f)$, які ми обчислюємо через інтеграли Фур'є $\tilde{\Omega}_{v_{\mp 1}}^F(f)$, безпосередньо із (9) отримуємо:

$$\tilde{\Omega}_{v_{\mp 1}}^H(f) = [(a \mp b + c \pm d) + j(b \pm a + d \mp c)] / 2, \quad (13)$$

де $a = \text{Re} \left[\tilde{\Omega}_{v_{-1}}^F(f) \right]$, $b = \text{Im} \left[\tilde{\Omega}_{v_{-1}}^F(f) \right]$, $c = \text{Re} \left[\tilde{\Omega}_{v_{+1}}^F(f) \right]$, $d = \text{Im} \left[\tilde{\Omega}_{v_{+1}}^F(f) \right]$.

Тестовий приклад 1. У табл. 1 наведені результати обчислення інтегралів $\bar{\Omega}_{v_{\mp 1}}^{F \setminus H}(f)$ для функції $f(t) = \exp(-t^2) \sin(\sqrt{\pi} t + \pi/7)$ при значеннях $|v_{\mp 1}|$, наведених у табл. 1.

Таблиця 1

$ v_{\mp 1} $	$\bar{\Omega}_{v_{-1}}^F(f)$	$\bar{\Omega}_{v_{+1}}^F(f)$	$\bar{\Omega}_{v_{-1}}^H(f)$	$\bar{\Omega}_{v_{+1}}^H(f)$
0,173	6,234144E-2+ +9,653876jE-2	6,234144E-2- -9,65388jE-2	-3,41973E-2	1,588802E-1
0,435	4,89708E-2+ +1,000993jE-1	4,89708E-2+ +1,00099jE-1	-5,112853E-2	1,490701E-1
0,577	2,598083E-2+ +5,37760jE-2	2,598083E-2- -5,37760jE-2	-2,77951E-2	7,975679E-2

Наведені в табл. 1 результати обчислення інтегралів $\bar{\Omega}_{v_{\mp 1}}^{F \setminus H}(f)$ задовольняють вимогам (10), (11) і, таким чином, підтверджують справедливість наслідків 1, 2.

Тестовий приклад 2. У табл. 2 наведені результати обчислення інтегралів $\tilde{\Omega}_{v_{\mp 1}}^{F \setminus H}(f)$ для функції $f(t) = \exp(-t^2) \left[\sin(\sqrt{\pi} t + \pi/7) - j0,37 \sin(\sqrt{\pi} t/3 + \pi/5) \right]$ при значеннях $|v_{\mp 1}|$, наведених у табл. 2.

Таблиця 2

$ v_{\mp 1} $	$\tilde{\Omega}_{v_{-1}}^F(f)$	$\tilde{\Omega}_{v_{+1}}^F(f)$	$\tilde{\Omega}_{v_{-1}}^H(f)$	$\tilde{\Omega}_{v_{+1}}^H(f)$
0,173	8,11547E-2+ 5,251929+jE-2	4,352818E-2- -1,40558jE-1	4,411973E-2- -2,52062jE-2	1,5888E-1- -6,28327jE-2
0,435	597072E-2+ +8,842455jE-2	3,82343E-2- -1,11774jE-1	-5,11285E-2- -9,38223jE-4	1,4907E-1- -2,24112jE-2
0,577	2,970907E-2+ +5,03467jE-2	2,22526E-2- -5,72052jE-2	-2,77951E-2+ +2,98957jE-4	7,97568E-2- -7,15751jE-3

Наведені у табл. 2 результати обчислення інтегралів $\tilde{\Omega}_{v_{\mp 1}}^{F \setminus H}(f)$ задовольняють вимогам (12), (13) і, таким чином, підтверджують справедливість наслідків 3, 4.

Висновки. 1. Сформульована і доведена теорема, яка встановлює зв'язок між інтегралами $F \setminus H$ у випадку неперіодичної функції (6). 2. Сформульована і доведена теорема, яка встановлює зв'язок між інтегралами $F \setminus H$ у випадку фінітної функції (9). 3. Наведені наслідки до теореми 2, (10) –

(13), які важливі для практичного застосування теореми 2. 4. Наведені тестові приклади, які підтверджують отримані теоретичні твердження.

Перспективи досліджень у даному напрямку автор вбачає у застосуванні наведених теорем при подальшій розбудові інструментарію інформаційних технологій у базисах $F&H$ [1], [2].

Список літератури: 1. *Литвин О.М., Удовиченко В.М.* Інструментарій інформаційних технологій в базисі Хартлі // Вестник НТУ "ХПІ". – Х.: НТУ "ХПІ", 2006. – Вып. 38. – С. 69-74. 2. *Литвин О.М., Удовиченко В.М.* Інструментарій інформаційних технологій в базисі Фур'є // Вестник НТУ "ХПІ": – Х.: НТУ "ХПІ". – 2007. – Вып. 10. – С. 119-127. 3. *Рабинер Л., Гоулд Б.* Теория и применение цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1978. – 848 с. 4. *Макс Ж.* Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. В 2-х томах. Т.1. – М.: Мир, 1983. – 311 с. 5. *Марпл-мл. С.Л.* Цифровой спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1990. – 684 с. 6. *Брейсуэлл Р.* Преобразование Хартли. – М.: Мир, 1990. – 175 с. 7. *Болд Э.Дж.* Сравнение времени вычисления БПХ и БПФ // ТИИЭР. – 1985. – № 12. – С. 184-185. 8. *Макклэннан Дж. Х.* Многомерный спектральный анализ // ТИИЭР. – 1982. – Т. 70. – № 9. – С. 139-152. 9. *Удовиченко В.М.* Оператори Фур'є та Хартлі, побудовані на основі методу Файлона та кубічних сплайнів, точні на тригонометричних поліномах заданого степеня // Вестник НТУ "ХПІ". – Х.: НТУ "ХПІ". – 2007. – Вып. 19. – № 8. – С. 182-190. 10. *Удовиченко В.М.* Оператори Фур'є та Хартлі, побудовані на основі методу Файлона та В-сплайнів п'ятого степеня, точні на тригонометричних поліномах заданого степеня // Вестник НТУ "ХПІ". – Х.: НТУ "ХПІ", 2007. – Вып. 35. – С. 3-12.

УДК 621.391: 517. 518:510.52

Взаимосвязь интегралов Фурье и Хартли / Удовиченко В.Н. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2008. – № 49. – С. 179 – 183.

Сформулированы и доказаны теоремы, устанавливающие взаимосвязь между интегралами Фурье и интегралами Хартли для непериодических и финитных функций. Данные теоремы являются обобщением соответствующих теорем, которые устанавливают взаимосвязь между операторами вычисления дискретных и дискретно-непрерывных преобразований Фурье и преобразований Хартли. Приведены тестовые примеры. Бібліогр.: 10 назв.

Ключевые слова: интегралы Фурье, интегралы Хартли, взаимосвязь интегралов Фурье и Хартли.

UDC 621.391: 517. 518:510.52

The interrelation between integrals of Fourier and integrals of Hartley / Udovychenko V.M. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2008. – № 49. – P. 179 – 183.

The theorems establishing interrelation between integrals of Fourier and integrals of Hartley for acyclic and limited function are formulated and proved. These theorems are generalisation of the corresponding theorems, establishing interrelation between operators of calculations of discrete and discrete-continuous transformations of Fourier and transformations of Hartley. Test examples are resulted. Refs: 10 titles.

Key words: integrals of Fourier, integrals of Hartley, the integrals Fourier and Hartley.

Поступила в редколлегию 05. 10.2008

Н.А. ЧИКИНА, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ",
И.В. АНТОНОВА, НТУ "ХПИ"

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АДАПТАЦИИ К ВРЕДНЫМ УСЛОВИЯМ ТРУДА НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОРРЕЛЯЦИОННОЙ АДАПТОМЕТРИИ

В статье изложены результаты исследований, направленных на изучение характера адаптационных процессов работающих к вредным условиям труда. В ходе исследований были выявлены закономерности и некоторые особенности адаптации рабочих к условиям вредного производства на примере предприятий химико-фармацевтической отрасли. Приведены результаты апробации метода корреляционной адаптометрии к оценке уровня адаптированности групп риска.

Ключевые слова: адаптация, вредное производство, корреляционная адаптометрия, группа риска.

Постановка проблемы. Существует большое разнообразие подходов к оценке адаптированности индивида к условиям окружающей среды. Большой частью в предлагаемых математических методах используются значения отдельных физиологических показателей, моделируется реакция организма на конкретный вид воздействия. При этом не менее актуальной является разработка методов оценки адаптационного напряжения популяции по совокупности физиологических показателей, вариация которой не зависела бы от вида, пути и времени воздействия на популяцию изучаемых факторов риска.

Анализ литературы. В результате обработки многолетних наблюдений [1, 2] при сравнительном анализе популяций и групп, находящихся в различных экологических условиях, был сделан вывод: **наибольшую информацию о степени адаптированности популяции к экстремальным или просто изменившимся условиям несут корреляции между физиологическими параметрами.**

В типичной ситуации при увеличении адаптационной нагрузки, т.е. при ухудшении или резкой смене условий существования, в популяциях или группах уровень корреляций между физиологическими параметрами растёт, а в результате успешной адаптации, т.е. в адаптированном состоянии, — снижается. В названии этого эффекта ("эффект группового стресса") отражается неспецифический и групповой характер этой реакции.

Существование эффекта повышения корреляций между физиологическими параметрами при увеличении адаптационной нагрузки подтверждают литературные данные [1, 2]. Математические модели, объясняющие эти явления на концептуальном уровне, были предложены в работе [3].

Обнаруженный эффект оказался очень информативным, что подтвердилось последующими исследованиями. Это дало возможность разработать в 1987 году метод сравнительной оценки популяций по степени антропоэкологического напряжения, названный **методом корреляционной адаптометрии**. Особо следует отметить, что сами физиологические параметры широко варьируют, а приспособительный эффект ярко наблюдается на системе взаимосвязей между ними. Метод корреляционной адаптометрии [4], основанный на анализе корреляций между физиологическими параметрами, позволяет оценивать воздействие на популяции и группы различных систем неблагоприятных факторов.

Метод корреляционной адаптометрии был апробирован и в тех случаях, когда увеличение адаптационной нагрузки неочевидно. Этот метод позволяет количественно оценить степень здоровья групп людей, заблаговременно прогнозировать возможные неблагоприятные изменения здоровья, связанные с перенапряжением адаптационных механизмов. С его помощью можно не только выявить необходимость проведения профилактических мероприятий еще до возникновения симптомов болезни у членов какой-либо популяции, но и оценить их эффект по снижению антропоэкологического напряжения.

В настоящее время в условиях стремительного развития химико-фармацевтического производства остро встает вопрос о профессионально обусловленных заболеваниях работников, имеющих постоянный контакт с лекарственными препаратами растительного и химического происхождения.

Исследования, проводимые в рамках научно-исследовательских работ Харьковского НИИ Дерматологии и Венерологии совместно с НТУ "ХПИ" на предприятиях химико-фармацевтической промышленности, позволили выявить значимые внешние и внутренние факторы риска развития аллергических дерматозов [5 – 7]. Однако, проведенный анализ данных не даёт возможности определить, как и какие факторы риска влияют на механизмы адаптации организма.

Целью настоящих исследований является изучение влияния факторов риска развития профессионально обусловленных заболеваний у рабочих предприятий химико-фармацевтической отрасли на характер динамики адаптационных процессов.

В ходе исследований проведена классификация обследованных по уровню состояния их здоровья с точки зрения теории неспецифических адаптационных реакций организма. Исследована взаимосвязь между типом реакции адаптации и факторами риска. Проведен анализ соответствий "группа риска – тип реакций адаптации". Выявлены закономерности развития адаптационных реакций в зависимости от пола и стажа работы рабочих химико-фармацевтических предприятий.

Традиционно в аллергологии задача ранней диагностики заболевания связана с анализом факторов риска, количество которых за последние годы

резко возросло. Наличие факторов риска и факторов предрасположенности к различным аллергическим заболеваниям, оценка уровня адаптационно-компенсаторных возможностей организма дает возможность с определенной степенью уверенности индивидуально прогнозировать возможность развития профессионально обусловленных аллергодерматозов.

В соответствии с современными представлениями о факторах риска возникновения и развития различных заболеваний всё многообразие факторов, влияющих на здоровье, можно разделить на две основные группы: внутренние (биологические) и внешние (природные и социальные).

К первой группе относятся пол, возраст, конституциональные особенности, наследственность, тип высшей нервной деятельности. Вторая группа факторов, касающихся окружающей среды обитания и образа жизни, более обширна и включает природные (географические, метеорологические, климатические, экологические и др.) и социальные (производственно-трудовые, общественно-политические, социально-культурные, связанные с бытом и медицинской активностью) факторы.

Для оценки воздействия различных систем неблагоприятных факторов применялся, в частности, метод корреляционной адаптометрии.

Сущность исследований. Изучение влияния внутренних факторов риска проводилось по данным, полученным в результате профилактических обследований рабочих и служащих химико-фармацевтических предприятий г. Харькова. В качестве объекта исследования были выбраны рабочие и служащие фармацевтической фирмы "Здоровье", фармацевтического предприятия "Эндокринное производство".

Пусть для описания множества Ω , состоящего из m объектов $\{A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m\}$, используется n признаков (предполагаемых факторов риска): $\{X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n\}$. Каждому объекту A_i ($i = \overline{1, m}$) соответствует некоторое значение целевого признака X_0 . Признаки X_j ($j = \overline{1, n}$) измерены в порядковой или номинальной шкале. Целевой признак X_0 имеет k_0 градаций, т.е. принимает k_0 различных значений: $X_0^{(1)}, X_0^{(2)}, \dots, X_0^{(l_0)}, \dots, X_0^{(k_0)}$. Тогда для решения поставленной задачи множество объектов Ω необходимо разбить на k_0 подмножеств Ω_p ($p = \overline{1, k_0}$), таких, что $\Omega_p \cap \Omega_q = \emptyset$, $\bigcup_p \Omega_p = \Omega$. Далее в каждом из подмножеств Ω_p ($p = \overline{1, k_0}$) определить частоты $n_j^{(p)}$ ($p = \overline{1, k_0}$) контролируемых признаков X_j ($j = \overline{1, n}$) или их градаций $X_j^{(l)}$ ($l = \overline{1, k_j}$).

Исследования, проведенные авторами в [7], позволили выявить факторы риска, значимо влияющие на состояние обследуемых и способствующие развитию аллергодерматозов. Из внутренних факторов риска наибольшее влияние, как выяснилось, оказывает фактор "Пол".

То, что одним из факторов риска развития аллергодерматозов у рабочих химико-фармацевтических предприятий является стаж работы, дало возможность выявить общие закономерности в динамике процесса адаптации к вредным условиям труда у различных категорий рабочих, выявить наиболее вероятные в плане возникновения различных заболеваний, в том числе профессиональных аллергодерматозов, стажные группы. Для решения этих задач авторами был апробирован метод корреляционной адаптометрии. В качестве критерия интенсивности адаптации была выбрана оценка связности анализируемых параметров при помощи веса корреляционного графа.

Степень скоррелированности показателей периферической крови оценивалась с помощью веса корреляционного графа, рассчитываемого как сумма весов его ребер (сумма соответствующих коэффициентов корреляции):

$$G = \sum_{|r_{ij}| \geq \alpha} |r_{ij}|,$$

где r_{ij} – коэффициент корреляции между i -м и j -м параметрами.

Приведём некоторые результаты исследований.

На рис. 1 представлена сравнительная динамика по стажным группам доли женщин из группы риска 1 (имеющих или имевших различные проявления профессионально обусловленных аллергодерматозов) и соответствующих им величин G – веса корреляционных графов показателей периферической крови. У обследованных женщин работа на предприятии непосредственно связана с контактами с вредными веществами.

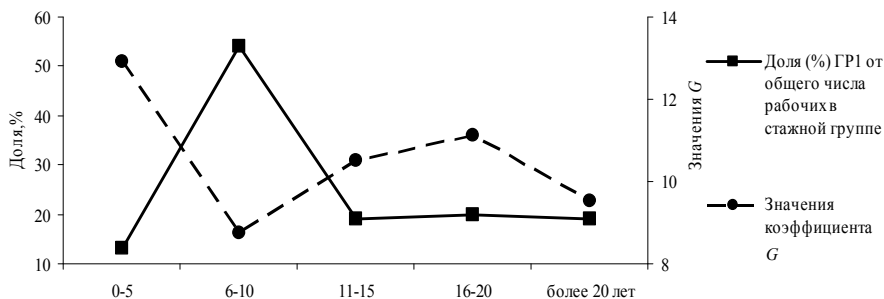


Рис. 1

Анализ кривых позволяет сделать следующие выводы: 1) мобилизация физиологического резерва, максимум компенсаторной реакции организма (эффект группового стресса) приходится на первую стажную группу (0 – 5 лет), что соответствует периоду собственно адаптации и лёгкой форме имеющихся заболеваний. Доля женщин группы риска 1 в этой стажной группе незначительна; 2) во второй стажной группе (6 – 10 лет) вес корреляционного графа соответствует состоянию перенапряжения, нарушению нормального

функционирования процесса адаптации, усилению тяжести патологических процессов. Доля женщин группы риска 1 максимальна. Следует отметить, что большинство женщин на предприятии имеют стаж работы не более 10 лет; 3) в стажных группах (11 – 15 лет), (16 – 20 лет) и (более 20 лет) динамика величины G – веса корреляционного графа указывает на выход из состояния перенапряжения в состояние адаптированности. Доля женщин группы риска 1 незначительна и практически не меняется.

На рис. 2 отражена сравнительная динамика по стажным группам доли мужчин из группы риска 1, и соответствующих им величин G . Следует отметить, что у обследованных мужчин работа не связана непосредственно с контактом с вредными, вызывающими аллергические проявления, веществами. Анализ кривых позволяет сделать следующие выводы: 1) в первой стажной группе (0 – 9 лет) не наблюдается нарушений в течении процесса адаптации. Доля мужчин группы риска 1 незначительна; 2) во второй стажной группе (10 – 19 лет) уменьшение веса корреляционного графа свидетельствует об усилении тяжести патологических процессов. Доля мужчин группы риска 1 увеличивается; 3) в следующей стажной группе (20 лет и более) вес корреляционного графа соответствует мобилизации физиологического резерва, максимуму компенсаторной реакции организма (эффект группового стресса). Доля мужчин группы риска 1 незначительно уменьшается, но остаётся достаточно высокой.

Таким образом, наибольший риск развития профессиональных аллергодерматозов у женщин приходится на стажную группу (6 – 10 лет), а у мужчин – на группу (20 лет и более).

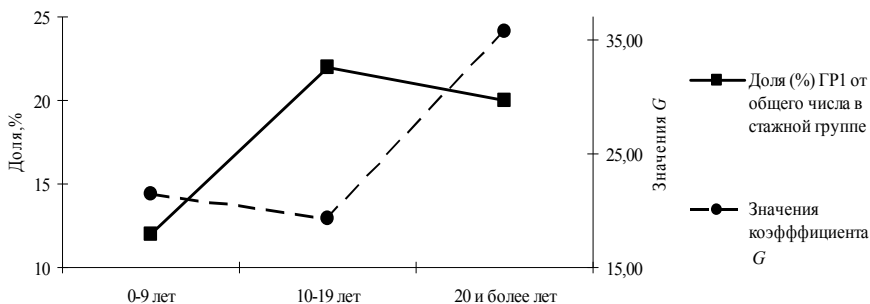


Рис. 2

Выводы. Выявлены закономерности развития адаптационных реакций в зависимости от некоторых факторов риска развития аллергодерматозов у рабочих химико-фармацевтических предприятий.

С помощью метода корреляционной адиптометрии был выявлен стажный диапазон с наибольшим по величине влиянием на состояние здоровья рабочих

кумулятивним ефектом. Тільки грамотно побудована система первичної і вторичної профілактики для робочих підприємств з шкідливими умовами праці, що враховує особливості процесів адаптації, результати кореляційної адаптометрії – інформацію об адаптаційних перестройках, виявиться ефективною.

Список літератури: 1. Седов К.Р., Смирнова Е.В., Кулинский А.В., Полонская М.Г., Большакова Т.Д. Мониторинг состояния антропоэкологического напряжения у коренного населения Крайнего Севера // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – Т. 14. – Л.: Гидрометеиздат, 1992. – С. 78–87. 2. Седов К.Р., Горбань А.Н., Петушкова Е.В. и др. Корреляционная адаптометрия как метод диспансеризации населения // Вестн. АМН СССР. – 1988. – № 10. – С. 69–75. 3. Разжевайкин В.Н., Шпитонков М.И. Вопросы моделирования в задачах корреляционной адаптометрии. – М.: ВЦ РАН, 1995. – 38 с. 4. Сапожников А.Н., Смирнова Е.В., Булыгин Г.В., Скобелева С.Ю. Эколого-эволюционные основы корреляционной адаптометрии // Эволюционное моделирование и кинетика. – Новосибирск: Наука, 1992. – С. 220–242. 5. Солошенко Е.М., Чикина Н.А., Мануйлова А.М. Математические модели лекарственной болезни: диагностика, прогнозирование, профилактика // Кибернетика и вычислительная техника. – К.: Наукова думка, 1993. – Вып. 98. – С. 51–54. 6. Солошенко Е.М., Чикина Н.А., Доильнишина Л.П. Математическое прогнозирование заболеваемости и осложнениями лекарственной терапии // Сб. статей "Проблемы восстановления и сохранения систем биосферы". – С.-Петербург: Гидрометеостандарт, 1992. – Т.2. – С. 117–120. 7. Чикина Н.А., Антонова И.В. Изучение влияния внутренних факторов риска на развитие аллергодерматозов у рабочих химико-фармацевтических предприятий // Тр. Международной науч.-техн. конф. "MicroCAD – 2007". – Харьков: НТУ "ХПИ", 2007. – Ч.8. – С. 195–200.

УДК 614

Математичні моделі адаптації до шкідливих умов праці на основі методу кореляційної адаптометрії / Чикина Н.О., Антонова І.В. // Вісник НТУ "ХПИ". Тематичний випуск: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2008. – № 49. – С. 184 – 189.

У статті наведені результати досліджень, що вивчали характер адаптаційних процесів працюючих до шкідливих умов виробництва. Дослідження виявили закономірності і деякі особливості адаптації робітників до шкідливих умов виробництва на прикладі підприємств хіміко-фармацевтичної галузі. Наведено результати апробації методу кореляційної адаптометрії щодо оцінки рівня адаптованості груп ризику. Л.: 2. Бібліогр.: 7 назв.

Ключові слова: адаптація, шкідливе виробництво, кореляційна адаптометрия, групи ризику.

UDC 614

Mathematical models of adaptation to harmful conditions of labour on basis of correlation adaptometry method / Chikina N.A., Antonova I.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2008. – № 49. – P. 184 – 189.

The results of researches, directed on the study of character of workers' adaptation processes to harmful conditions of labour are reported in the article. During researches were indicated mechanism and some workers' adaptation features to the conditions of harmful production on the example of chemical and pharmaceutical industry enterprises. The results of approbation of cross-correlation adaptometry method to the estimation of adaptation level of risk groups are presented. Figs: 2. Refs: 7 titles.

Keywords: adaptation, harmful production, cross-correlation adaptometry, group risk.

Поступила в редакцію 10.10.2008

Содержание

<i>Альошкіна Ю.А., Дерев'янку О.С.</i> Консолідація патентної інформації з різних джерел	3
<i>Белов И.С.</i> Линейные условия неотрицательности тригонометрического многочлена	11
<i>Вьюнник О.В.</i> моделирование системы регистрации пульмофонографических сигналов	17
<i>Горкунов Б.М., Тюпа И.В., Тищенко А.А.</i> Выбор рациональных размеров катушек вихретокового преобразователя для контроля металлических изделий	26
<i>Гришин И.Ю.</i> Эвристический алгоритм определения главных граней при решении задачи линейного программирования	33
<i>Гурьева Н.С., Кулишова Н.Е.</i> Особенности построения контрактной цветопробы при работе с RGB-output устройствами	42
<i>Даниленко А.Ф., Дьяков А.Г.</i> Алгоритм позиционирования образца в ЯМР-спектрометре	51
<i>Дмитриенко В.Д., Поворозняк О.А.</i> Применение нейронных сетей в задаче оптимального подбора лекарственных препаратов	56
<i>Зацєркляний М.М., Кириченко Г.С.</i> Дослідження методу RS-стеганоаналізу	64
<i>Зацолкін К.В.</i> Розвиток метода квадратичного кодування станів цифрового автомата	72
<i>Иванов В.Г., Ломоносов Ю.В., Любарский М.Г.</i> Анализ и классификация методов сжатия изображений	78
<i>Кондратенко Ю.П., Сидоренко С.А., Підпригора Д.М., Мартиненко Є.С.</i> Нечіткі моделі та алгоритми для прогнозування параметрів морських контейнерних перевезень	87
<i>Маторин С.И., Михелев М.В.</i> Формализация многоагентных систем с помощью теории паттернов	96
<i>Мельник К.В., Голоскоков А.Е.</i> Процедура диагностирования состояния сердечно-сосудистой системы пациента на основе нечеткой логики	101
<i>Ницын Д.А.</i> Модель представления признаков в байесовском классификаторе медицинских изображений	105

<i>Обод И.И., Заволодько А.Э.</i> Синтез оптимального обнаружителя траекторий воздушных объектов по данным запросных систем наблюдения единой информационной сети	114
<i>Обод И.И., Охрименко М.Ю.</i> Оценка времени задержки принимаемых сигналов в синхронных информационных сетях	120
<i>Обод И.И., Тюрин А.А.</i> Помехоустойчивость адресного по ответу метода идентификации воздушных объектов	126
<i>Поворознюк Н.И., Бобрівник К.С.</i> Представлення навчального матеріалу на основі нечіткої логіки	134
<i>Прохоренко Е.И., Сидоренко И.А., Болдышев А.В.</i> Цифровое кодирование речевых данных на основе клиппирования и частотных представлений	139
<i>Романюк В.В.</i> Метод реалізації принципу оптимальності у матричних іграх без сідлової точки	146
<i>Синюк В.Г., Акопов В.Н.</i> Пиковый генетический алгоритм	155
<i>Созонова Т.Н., Титова Н.С., Щербинина Н.В.</i> Применение вариационных алгоритмов интерполяции и оценки первой производной для обработки изображений	160
<i>Сербиненко И.А., Черненко А.В.</i> Компьютерный анализ электрокортикографии, электросубкортикографии в интраоперационной диагностике локализации очагов эпилептической активности	169
<i>Судаков Б.Н., Любченко Н.Ю., Любченко А.В.</i> Методы представления знаний в экспертных системах	173
<i>Удовиченко В.М.</i> Взаємозв'язок інтегралів Фур'є та Хартлі	179
<i>Чикина Н.А., Антонова И.В.</i> Математические модели адаптации к вредным условиям труда на основе метода корреляционной адаптометрии	184

НАУКОВЕ ВИДАННЯ
ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

*Збірник наукових праць
Тематичний випуск
Інформатика і моделювання № 11
Випуск 49*

Науковий редактор д.т.н. Дмитрієнко В.Д.
Технічний редактор к.т.н. Леонов С.Ю.
Відповідальний за випуск Луньова В.М.

Обл.вид. № 195-08

Підп. до друку 24.12.2008 р. Формат 60x84 1/16. Папір Сору Рарег.
Друк-ризографія. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 9,8.
Облік. вид. арк. 10,0. Наклад 300 прим.
Ціна договірна

НТУ "ХПІ", 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Видавничий центр НТУ "ХПІ"
Свідоцтво ДК № 116 від 10.07.2000 р.

Типографія "Современная печать"
61024 Україна, г. Харків, ул. Лермонтовская, 27