

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ
И ПРИКЛАДНАЯ
ИНФОРМАТИКА**
№ 2, 2017

**SYSTEM ANALYSIS
AND APPLIED
INFORMATION SCIENCE**
No 2, 2017



**Международный
Научно-технический журнал**

Издается с декабря 2012 года

Учредитель

Белорусский национальный
технический университет

Главный редактор

Сергей Васильевич Харитончик

Редакционная коллегия

В. Ф. Голиков (зам. главного редактора),
В. А. Богущ, Т. В. Борботько, В. Б. Байбурин (РФ),
Д. Ю. Большаков (РФ), Л. С. Герасимович, Н. Н. Гурский,
Ю. М. Захарик, И. А. Каляев (РФ), Г. О. Кипиани (Грузия),
Э. Г. Лазаревич, В. А. Липницкий, А. А. Лобаты,
В. А. Мищенко, Е. И. Никифорович (Украина),
А. А. Прихожий, И. А. Сатиков, В. В. Старовойтов,
П. П. Урбанович, А. Патрин (Польша),
Ю. Н. Петренко (ответственный секретарь),
Н. Н. Ташатов (Казахстан), А. В. Чигарев, Д. К. Щеглов (РФ)

**International
Science and Technique Journal**

Published since December, 2012

Founder

Belarusian National Technical
University

Editor-in-chief

Sergei V. Kharytonchyk

Editorial board

V. Golikov (deputy editor-in-chief), V. Bogush,
T. Borbotko, V. Baiburin (RF), D. Bolshakov (RF), N. Gurskiy,
L. Gerasimovich, J. Zaharik, I. Kalyaev, G. Kipiani (Georgia),
E. Lazarevich, V. Lipnitsky, A. Lobaty, V. Mishchenko,
E. Nikiforovich (Ukraine), A. Prihozhy, I. Satikov,
V. Starovoytov, P. Urbanovich, A. Patrin (Poland),
Y. Petrenko (executive secretary), N. Tashchatov
(Kazakhstan), A. Chigarev, D. Shcheglov (RF)

Журнал включен в "Перечень научных изданий Республики Беларусь
для опубликования результатов диссертационных исследований".

Журнал включен в международные каталоги и базы данных:

- ❖ Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)
- ❖ Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU
- ❖ Электронно-библиотечная система (ЭБС) издательства Лань
- ❖ DOAJ <https://doaj.org/toc/2414-0481>
- ❖ Google Scholar
- ❖ КиберЛенинка
- ❖ EBSCO
- ❖ BASE Search
- ❖ OpenAIRE
- ❖ WorldCat
- ❖ OpenDOAR
- ❖ ROAR

Содержание

Contents

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

SYSTEM ANALYSIS

- Золотарев С. А., Майтг М. М., Аль-Надфа А. Н.**
Ускоренная итерационная реконструкция фантома
«ROZI» методом OS-SART с использованием упорядоченных подмножеств проекций 4
- Рудикова Л. В.**
Об общей концепции универсальной системы хранения и обработки данных практико-ориентированной направленности 12
- Михайлов В. В., Переварюха А. Ю.**
Модель сценария интродукции молоди рыб с учетом динамики биогенных элементов 20

- Zolotarev S. A., Mieteeg M. M., Al-Nadfa A. N.**
Accelerated iterative reconstruction of PHANTOM
«ROZI» by OS-SART method using ordered subset
projections 4
- Rudikova L. V.**
About the general concept of the universal storage
system and practice-oriented data processing 12
- Michailov V. V., Perevaryukha A. Yu.**
Simulation scenario of introduction of fish whitebait
with the account of biogenic elements dynamics 20

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

MANAGEMENT OF TECHNICAL OBJECTS

- Петренко Ю. Н., Imad A. Elzein**
Сравнительная оценка алгоритмов обеспечения максимальной выходной мощности фотоэлектрической станции 30

- Imad A. Elzein., Yury N. Petrenko**
An Evaluation of Photovoltaic Systems MPPT
Techniques under the Characteristics of Operational
Conditions 30

Абуфанас А. С., Лобатый А. А., Шведко А. Г. Поисковый алгоритм параметрической идентификации электропривода системы мониторинга 39	Abufanas A. S., Lobaty A. A., Shvedko A. G. Search algorithm for the parametric identification of the electric drive of the monitoring system..... 39
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ	DATA PROCESSING AND DECISION-MAKING
Золотой А. А., Урбанович А. В. Выявление различий в векторных данных при тематической обработке космических снимков..... 47	Zalatoi A. A., Urbanovich A. V. Vector data differences identification in the thematic processing of space images 47
ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ	INFORMATION SECURITY
Сидоренко А. В., Шакинко И. В. Алгоритм хеширования на основе двумерных хаотических отображений..... 54	Sidorenko A. V., Shakinko I. V. Hashing algorithm based on two-dimensional chaotic mappings 54
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ	INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION
Метлицкая Н. А. Лингвистическая база данных системы автоматического порождения англоязычного рекламного текста 62	Metlitskaya N. A. Linguistic database for automatic generation system of english advertising texts..... 62

Ответственный секретарь редакции

Петренко Ю. Н.

Адрес редакции

ул. Франциска Скорины 25/3, Минск,
220114,
Республика Беларусь
Тел. +375 17 267-66-84
e-mail: CA_PI@bntu.by

Executive secretary of the editorial board

Y. Petrenko

Editorial board address

25/3 Franciska Skariny str., Minsk, 220114,
Republic of Belarus
Tel. +375 17 267-66-84
e-mail: CA_PI@bntu.by

Свидетельство о государственной регистрации средства массовой информации
№ 1540 от 08.06.2012, выданное Министерством информации Республики Беларусь

Подписано в печать 22.03.2016. Формат бумаги 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Ризография. Усл. печ. л. 7,67. Уч.-изд. л. 3,00. Тираж 150 экз. Заказ 960.

Издатель и полиграфическое исполнение
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.
Пр. Независимости, 65, г. Минск, 220013

© Белорусский национальный технический университет

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

SYSTEM ANALYSIS

УДК 620.179.15

С. А. ЗОЛОТАРЕВ¹, М. М. МАЙТИГ², А. Н. АЛЬ-НАДФА²

УСКОРЕННАЯ ИТЕРАЦИОННАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ФАНТОМА “ROZI” МЕТОДОМ OS-SART С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПОРЯДОЧЕННЫХ ПОДМНОЖЕСТВ ПРОЕКЦИЙ

¹ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»²Белорусский национальный технический университет

Статистический метод максимального правдоподобия (EM) и алгебраический метод реконструкции с одновременными итерациями (SART) являются двумя методами итерационной томографической реконструкции. Эти алгоритмы часто используются, когда проекционные данные содержат большое количество статистического шума или были получены из ограниченного диапазона углов. Одним из популярных подходов, используемых для повышения скорости сходимости этих алгоритмов заключается в том, чтобы выполнять коррекцию текущего приближения реконструируемого объекта на подмножествах проекционных данных. Стремление повысить скорость сходимости итерационных методов привело к использованию упорядоченных подмножеств проекций как для метода максимального правдоподобия EM (OS-EM), так и для алгебраического метода реконструкции с одновременными итерациями SART (OS-SART). Эффективность использования упорядоченных подмножеств проекций была установлена сначала для последовательных программ, которые выполняются на центральном процессоре компьютера (CPU). В данной работе оба этих метода были ускорены с помощью использования графической библиотеки OpenGL путем их отражения на архитектуру графического процессора видеокарты.

Ключевые слова: упорядоченные подмножества, коническая томография, итерационная реконструкция, регуляризация

Введение

Методы реконструкции компьютерной томографии можно условно разделить на два класса: аналитические алгоритмы и итерационные алгоритмы. Все аналитические алгоритмы используют преобразование Радона и теорему о центральном сечении. Пусть $f(x,y)$ функция двух действительных переменных, определённая на всей плоскости и достаточно быстро убывающая на бесконечности (так, чтобы соответствующие несобственные интегралы сходились). Тогда преобразованием Радона функции $f(x,y)$ называется функция

$$R(s, \alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} f(s \cos \alpha - z \sin \alpha, s \sin \alpha + z \cos \alpha) dz. \quad (1)$$

Преобразование Радона имеет простой геометрический смысл – это интеграл от функции $f(x,y)$ вдоль прямой, перпендикулярной вектору $n = (\cos \alpha, \sin \alpha)$ и проходящей на расстоянии s (измеренного вдоль вектора \vec{n} , с соответствующим знаком) от начала координат.

Двумерное преобразование Фурье от функции $f(x,y)$ может быть записано как

$$F(\omega \cos \alpha, \omega \sin \alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} \left(\int_{-\infty}^{\infty} f(s \cos \alpha - z \sin \alpha, s \sin \alpha + z \cos \alpha) \exp(-i\omega s) dz \right) ds,$$

то есть,

$$F(\omega \cos \alpha, \omega \sin \alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-i\omega s) R(s, \alpha) ds. \quad (2)$$

Таким образом, одномерное преобразование Фурье от преобразования Радона для функции $f(x,y)$ есть не что иное, как двумерное преобразование Фурье от функции $f(x,y)$.

Учитывая (2) мы можем сразу получить формулу обратного преобразования Радона

$$f(x,y) =$$

$$\frac{1}{(2\pi)^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \exp(i\omega(x \cos \alpha + y \sin \alpha)) \tilde{R}(\omega, \alpha) \omega d\omega d\alpha, \quad (3)$$

$$\text{где } \tilde{R}(\omega, \alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} R(s, \alpha) \exp(-i\omega s) ds.$$

Выражение (3), помимо того что является одним из вариантов записи обратного преобразования Радона, также определяет метод реконструкции функции $f(x,y)$ из её проекций $R(s,\alpha_i)$, называемый специалистами методом Фурье-синтеза. Таким образом, в методе Фу из большого количества одномерных Фурье-образов проекций по полярной сетке $\tilde{R}(\omega,\alpha_i)$ двумерный спектр $\tilde{R}(\omega,\alpha)$ (при этом используется теорема о центральном сечении), а затем выполнить обратное двумерное преобразование Фурье в полярной системе координат от $\tilde{R}(\omega,\alpha)$.

Таким образом, мы показали, что Фурье-образ проекции является центральным сечением Фурье-образа функции $f(x,y)$. В литературе это свойство называют теоремой о центральном слое или центральном сечении. Данная теорема подробно изложена и математически точно сформулирована в книге [1]. Наиболее популярные методы используют фильтрацию при осуществлении обратного проецирования (FBP) [2] для двухмерного случая. Метод Фельдкамп (ФДК) для трехмерного случая также предусматривает необходимость фильтрации при осуществлении обратного проецирования [3]. Когда число отсканированных рентгеновских проекций при вращении рентгеновского источника вокруг объекта достаточно велико, выше приведенные методы могут произвести точную или приближенную реконструкцию изображения отсканированного объекта. Простота этих методов гарантирует эффективность вычислительных операций, что, например, делает их популярными для многих клинических применений. Для другой категории алгоритмов, так называемых, итерационных методов реконструкции задача реконструкции изображения сводится к задаче решения очень большой и одновременно разреженной системы линейных уравнений, то есть, к задаче линейной алгебры. При этом, процедура реконструкции сводится к решению системы уравнений [4]. Все методы решения линейных алгебраических задач можно разбить на два класса: прямые (точные) и итерационные (приближенные). Прямые методы решения систем линейных уравнений не могут быть применены из-за высокой размерности рассматриваемой системы. Так, например, при реконструкции трехмерного изображения с размерностью $512 \times 512 \times 512$ объемных элементов число неизвестных со-

ставляет 134 217 728. То есть нам необходимо рассмотреть более миллиона уравнений. Классическим прямым методом решения систем линейных уравнений является метод Крамера. Размерность системы (т. е., число уравнений – m) является главным фактором, из-за которого, формулы Крамера не могут быть использованы для численного решения СЛАУ большого порядка. При непосредственном раскрытии определителей решение системы с m неизвестными требует порядка $m! \cdot m$ арифметических операций. Таким образом, для решения системы, например, из $m = 100$ уравнений потребуется совершить 10^{158} вычислительных операций (процесс займёт примерно 10^{19} лет), что не под силу даже самым мощным современным ЭВМ. Такие же проблемы возникают и при использовании других прямых методов решения систем линейных уравнений: метода обратной матрицы и метода Гаусса.

Поэтому, наиболее разумный подход заключается в использовании для решения данной системы различных численных методов оптимизации. Таким образом, для решения вышеуказанной системы будут использоваться итерационные методы решения больших систем уравнений. Сначала задается начальное предположение, которое будет итерационно изменяться с целью достижения минимальной разницы между экспериментальными проекциями и модельными проекциями, которые рассчитываются на каждом шаге итерационного процесса по текущему трехмерному изображению, то есть при прямом проецировании текущего приближения на виртуальные матрицы двухмерных детекторов. Итерационные методы могут быть дополнительно разделены, например, на методы проецирования на выпуклые множества (POCS) алгоритмы, такие как SART [5], SIRT [6], и POCS [7] и статистические алгоритмы, такие как EM [8], OS-EM [9] и MAP [10, 11]). Из-за необходимости постоянного осуществления больших циклов, вычислительная нагрузка этих алгоритмов является достаточно высокой.

Тем не менее, в ряде случаев они работают гораздо лучше, чем аналитические методы реконструкции. Например, когда рентгеновское сканирование производится при малых анодных токах рентгеновской трубки, чтобы обеспечить малые дозы радиации.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1. Технология ускорения реконструкции с использованием графических процессоров

Быстрый рост скорости и возможности программируемых графических карт общего назначения (*GPU*) переместил программы для высокопроизводительных вычислений на обычные настольные компьютеры, путем увеличения скорости вычислений до уровня кластерных систем. Высококачественные графические видеокарты, такие как, например, *NVIDIA GeForce GTX 680*, показывают производительность, достигающую 3,090 Giga Flops и более того, доступны сейчас по цене, не превышающей \$500, а их производительность постоянно растет согласно закону Мура. Закон Мура – эмпирическое наблюдение, изначально сделанное Гордоном Муром, согласно которому (в современной формулировке) количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается каждые 24 месяца. Часто цитируемый интервал в 18 месяцев связан с прогнозом Давида Хауса из *Intel*, по мнению которого *производительность* процессоров должна удваиваться каждые 18 месяцев из-за сочетания роста количества транзисторов и быстродействия каждого из них. Ускорение на 1–2 порядка может быть достигнуто при отображении вычислительных алгоритмов на архитектуру графических процессоров, входящих в состав графической видеокарты компьютера.

Разнообразие областей, в которых используется отображение вычислительных алгоритмов на архитектуру графических процессоров достаточно велико [11]. Эти области включают, в том числе и томографическую реконструкцию медицинских изображений. Такие впечатляющие успехи были достигнуты благодаря высоко распараллеленной архитектуре графических процессоров *SIMD* (одна инструкция – множество данных). Архитектура графического процессора обладает высокой пропускной способностью доступа к памяти. Так, например, *NVIDIA 8800 GTX* имеет 128 таких *SIMD* ядерных потоковых процессоров с плавающей точкой, в то время как большинство новых видеокарт от фирмы *NVIDIA* имеют значительно большее количество потоковых процессоров. Например, видеокарта *GTX 680*, имеет 1536

потоковых процессоров. Важно отметить, однако, что высокие величины ускорения, достигнутые с помощью использования графических процессоров, приходят не сами собой. Они требуют, чтобы разработчик программного обеспечения тщательно сопоставил целевой алгоритм перехода от однопоточных моделей программирования для каждого отдельного потокового процессора к многопоточной *SIMD* программной модели графических вычислений. Высокая производительность графических процессоров является следствием их высоко распараллеленной архитектуры. Огромный вычислительный потенциал графических видеокарт, который можно использовать для высокопроизводительных вычислений общего характера, породил в последнее время тенденцию широкого использования вычислений на графических процессорах (*GPGPU*).

В недавнем прошлом, *GPU* – программирование было возможно только с помощью графических интерфейсов, создаваемых с помощью языков программирования *CG*, *GLSL* и *HDSL*, которые требовали от программистов обладания большим опытом работы в области компьютерной графики. Для того, чтобы аппаратные средства графических видеокарт стали более доступными для обычных программистов был разработан *C*-подобный интерфейс программирования параллельных вычислений, который называется технология *CUDA* (*Compute Unified Device Architecture*), которая недавно была введена производителем видеокарт – фирмой *NVIDIA*. Сразу нужно отметить главный недостаток предложенной вычислительной технологии, который заключается в том, что она работает только на видеокартах от фирмы *NVIDIA*. Можно использовать аналогичный, но более общий *API* под названием *OpenCL*, который также стал сейчас вполне доступным. Мы, однако, вместо использования языков *CG*, *GLSL* и технологии *CUDA* для реализации программ томографической реконструкции будем использовать графическую библиотеку *OpenGL*, которая позволяет избежать низкоуровневого программирования на языках *CG*, *GLSL* и *HDSL*, а также применения технологии *CUDA* и позволяет при этом использовать любые видеокарты, а не только видеокарты от фирмы *NVIDIA*.

2. Алгебраический метод реконструкции с одновременными итерациями SART (OS-SART)

Статистический метод максимального правдоподобия (*EM*) и алгебраический метод реконструкции с одновременными итерациями (*SART*) являются двумя методами итерационной томографической реконструкции. Эти алгоритмы часто используются, когда проекционные данные содержат большое количество статистического шума или были получены из ограниченного диапазона углов, то есть, имеют ограниченное количество ракурсов. Один из популярных подходов, используемых для повышения скорости сходимости этих алгоритмов, заключается в том, чтобы выполнять коррекцию текущего приближения реконструируемого объекта на подмножествах проекционных данных. Необходимость повышения скорости сходимости итерационного процесса реконструкции привела к созданию метода упорядоченных подмножеств для метода максимального правдоподобия *EM* (*OS-EM*) и для алгебраического метода реконструкции с одновременными итерациями *SART* (*OS-SART*). Графические видеокарты общего назначения обнаружили большие перспективы для противодействия большим вычислительным нагрузкам, которые характерны для итерационных методов реконструкции. Тем не менее, мы находим, что специальная архитектура и модель программирования графических процессоров добавляет дополнительные ограничения на производительность в режиме реального времени при использовании упорядоченных подмножеств проекций, противодействуя увеличению быстродействия путем использования небольших подмножеств проекций, что ранее наблюдалось при выполнении таких алгоритмов на обычном центральном процессоре. Эта

особенность требует для каждой конкретной задачи реконструкции изображений объектов контроля определения закономерностей, которые позволяют определить оптимальное число подмножеств, а также оптимального способа настройки коэффициента релаксации для получения наименьшего времени реконструкции. Как правило, сейчас такие задачи решаются путем проведения большого количества численных экспериментов с последующим анализом влияния исследуемых параметров на качество реконструкции и быстродействие исследуемых алгоритмов.

3. Экспериментальные результаты

Нами были запрограммированы оба алгоритма *OS-EM* и *OS-SART*, а также проведена серия реконструкций специального фантома «*Rozi*», рентгеновская съемка которого была проведена в г. Гейдельберге (Германия) в немецком центре по исследованию рака – *DKFZ*. Ниже на рис. 1 показаны рентгеновские проекции для углов 0° , 45° и 90° . Всего было снято 360 рентгеновских проекций через угловой интервал равный 1° . Разделение всех проекций на заданное количество упорядоченных подмножеств осуществлялось с помощью приведенного ниже участка программного кода

```
for(jj=0;jj<num_os;jj++)
for(ii=0;ii<nprj_os;ii++)
{
os_prj[jj][ii]=nprj_os*jj+ii;
os_theta[jj][ii]=theta[nprj_os*jj+ii];
},
```

где идентификатор *num_os* представляет собой количество упорядоченных подмножеств проекций, а идентификатор *nprj_os* указывает количество проекций, которое входит в каждое упорядоченное подмножество проекций, при этом двумерный массив *os_theta[num_os][nprj_os]*



Рис. 1. Рентгеновские проекции фантома «*Rozi*» для углов 0° , 45° и 90° (слева направо)

задает угол проецирования ϑ_n для конкретной проекции, принадлежащей к заданному упорядоченному подмножеству проекций. Понимается, можно менять порядок следования упорядоченных подмножеств проекций друг за другом, если индекс jj в правой части двойного цикла изменять по заранее заданному правилу, то есть, если вместо индекса jj будет стоять какая-то целочисленная функция от этого индекса $Fun(jj)$, а значение этой функции будет определять номер какого-либо из упорядоченных подмножеств проекций. Для проверки влияния количества упорядоченных подмножеств проекций на скорость сходимости итерационного процесса было рассмотрено 11 произвольно выбранных вариантов разбиения 360 проекций на упорядоченные подмножества проекций, представленных в табл. 1.

Таблица 1. Варианты разбиения на упорядоченные подмножества проекций

№ п/п	Число подмножеств	Число проекций в каждом из подмножеств
1)	5	72
2)	6	60
3)	8	45
4)	10	36
5)	12	30
6)	15	24
7)	18	20
8)	20	18
9)	24	15
10)	36	10
11)	72	5

Введем следующие обозначения:

\vec{F} – совокупность измеренных данных для всех проекций. Для N проекций

$$\vec{F} = \{f_n^m\}; n = \overline{1, N};$$

где функция $f_n^m(p)$ – измеренные данные на n -ой проекции, $\{p_j^n : j = \overline{1, J_n}\}$ – позиции пик-

селей n -ой проекции, ϑ_n – угол проецирования для n -ой проекции, $J = \sum J_n$ – суммарное число пикселей на всех проекциях.

Функционал

$$\delta_n = \sum_{p_1^n}^{p_{J_n}^n} |f_n^c(p) - f_n^m(p)| / \sum_{p_1^n}^{p_{J_n}^n} f_n^m(p).$$

будет определять ошибку для n -ой проекции после завершения очередной итерации.

Среднее значение функционала ошибки равно

$$\delta_{mid} = \sum_n \delta_n / N.$$

Мы приведем в табл. 2 среднее значение функционала ошибки для каждой итерации итерационного процесса реконструкции для каждого из 11 вариантов разбиения на упорядоченные подмножества проекций. Всего было сделано по 7 итераций для каждого варианта разбиения на упорядоченные подмножества проекций. Значение параметра релаксации было выбрано одним и тем же для всех 11 реконструкций значение его равнялось $\lambda = 0,15$. Ввиду малости значений все они для наглядности были умножены на 1000,0.

Заключение

Рассматривая табл. 2 можно обратить внимание на то, что ошибка реконструкции уменьшается, а значит, увеличивается скорость сходимости итераций с ростом числа подмножеств. Но это является справедливым не для всех итераций. Например, для первой итерации ошибка сначала уменьшается вплоть до варианта № 4, а потом начинает возрастать и непрерывно растет вплоть до варианта № 11. Однако, начиная с итерации № 4, это предположение остается справедливым для всех последующих итераций. Поэтому, на основе данных численных экспериментов показано, что

Таблица 2. Среднее значение функционала ошибки для 11 вариантов разбиения на упорядоченные подмножества проекций

Итер.	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10	№11
1.	9.791	9.275	8.279	8.164	8.338	8.701	9.104	9.244	9.516	10.072	10.341
2.	3.112	2.987	2.804	2.719	2.700	2.756	2.790	2.794	2.811	2.875	2.885
3.	2.446	2.375	2.179	2.139	2.106	2.084	2.066	2.067	2.053	2.049	2.026
4.	2.237	2.169	2.029	1.998	1.962	1.934	1.910	1.909	1.895	1.886	1.864
5.	2.188	2.116	1.976	1.954	1.920	1.899	1.878	1.877	1.861	1.847	1.812
6.	2.159	2.084	1.957	1.937	1.904	1.887	1.866	1.864	1.847	1.832	1.788
7.	2.160	2.079	1.957	1.935	1.902	1.884	1.863	1.860	1.842	1.827	1.777

при применении алгебраического метода реконструкции с одновременными итерациями *SART (OS-SART)* для достижения оптимальной реконструкции необходимо, чтобы не только число упорядоченных подмножеств было больше девяти, но и число итераций было равным 7, то есть, максимально возможному для рас-

смотренной серии реконструкций. Поскольку с ростом числа итераций растет также время реконструкции, то необходимо каждый раз искать компромисс между ускорением сходимости алгоритма и временем, которое потребуется для достижения требуемой точности реконструкции.

Литература

1. **Троицкий, И. Н.** Статистическая теория томографии. / И.Н. Троицкий // Москва, Изд-во Радио и связь, – 1989. – 240 с.
2. **Kak, A. C.**, Principles of computerized tomographic imaging / A.C. Kak and M. Slaney, – Piscataway, NJ: IEEE Press, – 1988. – 327 p.
3. **Feldkamp, L. A., Davis, L. C., Kress, J. W.**, Practical cone beam algorithm / L.A. Feldkamp, L.C. Davis, and J.W. Kress // Journal of the Optical Society of America A: Optics, Image Science, and Vision. – 1984. – P. 612–619.
4. **Венгринович, В. Л.** Итерационные методы томографии / В.Л. Венгринович, С.А. Золотарев // Минск: «Белорусская наука», – 2009. – 227 с.
5. **Andersen, A., Kak, A.** Simultaneous Algebraic Reconstruction Technique (SART): a superior implementation of the ART algorithm / A. Andersen, A. Kak // Ultrasonic Imaging. – 1984. – Vol. 6. – P. 81–94.
6. **Gilbert P.** Iterative methods for the 3D reconstruction of an object from projections / P. Gilbert // Journal of Theoretical Biology. – 1972. Vol. 76. – P. 105–117.
7. **Yang, L., Zhao, J., Wang, G.** Few-view image reconstruction with dual dictionaries / L. Yang, J. Zhao, G. Wang // Phys. Med. Biol. – 2012. – Vol. 57. – P. 173–189.
8. **Shepp, L., Vardi, Y.** Maximum likelihood reconstruction for emission tomography / L. Shepp, Y. Vardi // IEEE Trans. on Medical Imaging. – 1982. – Vol. 1. – P. 113–122.
9. **Hudson, H., Larkin, R.** Accelerated Image Reconstruction Using Ordered Subsets of Projection Data / H. Hudson and R. Larkin // IEEE Trans. Medical Imaging. – 1994. – Vol. 13. – P. 601–609.
10. **Legendijk, R. L., Biemond, J.** Iterative Identification and Restoration of Images / R.L. Legendijk and J. Biemond // Boston, MA: Kluwer. – 1991.
11. **Andersen, A. H.** Algebraic reconstruction in CT from limited views / A.H. Andersen // IEEE Trans. Med. Imag. – 1989. – Vol. 8. – P. 50–55.
12. **Xu, F., Mueller K.** Real-Time 3D Computed Tomographic Reconstruction Using Commodity Graphics Hardware / F. Xu, and K. Mueller // Physics in Medicine and Biology. – 2007. – Vol. 52. – P. 3405–3419.

Поступила
28.02.2017

После доработки
16.03.2017

Принята к печати
10.06.2017

S. A. Zolotarev¹, M. M. Mieteeg², A. N. Al-Nadfa²

ACCELERATED ITERATIVE RECONSTRUCTION OF PHANTOM «ROZI» BY OS-SART METHOD USING ORDERED SUBSET PROJECTIONS

The statistical maximum likelihood (EM) method and the algebraic reconstruction method with simultaneous iterations (SART) are two methods of iterative tomographic reconstruction. These algorithms are often used when the projection data contains a large amount of statistical noise or has been obtained from a limited range of angles. One of the popular approaches used to increase the rate of convergence of these algorithms is to perform a correction of the current approximation of the reconstructed object on subsets of the projection data. The desire to increase the convergence rate of the iterative methods led to the use of ordered subsets of projections for both the maximum likelihood method of EM (OS-EM) and for the algebraic reconstruction method with simultaneous iterations of SART (OS-SART). The efficiency of using ordered subsets of projections was first established for sequential programs that run on the central processor of the computer (CPU). In this work, both these methods have been accelerated by using the OpenGL graphics library by mirroring them on the graphics processor architecture of the video card.

Keywords: *ordered-subsets, cone-beam tomography, iterative reconstruction, regularization.*



¹**Золотарев Сергей Алексеевич**, 220045 Минск, ул. Некрашевича д. 8, кв. 58, служебный тел. 2842304, моб. тел. 8(029) 1957242 ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси», доктор технических наук

Zolotarev Sergei Alekseevich

220072 Minsk, Akademicheskaya str. 16, Institute of Applied Physics of National Academy of Sciences of Belarus. Work Phone: +375 17 2842304

E-mail: zolotarev@iaph.bas-net.by, sergei.zolotarev@gmail.com

May 7, 1956, Voronezh, Russia. 1978 – Electrical Engineer Diploma in Technological measurements and devices, the Voronezh Institute of technology. 1992 – Candidate of physic-mathematical sciences (Ph.D. equivalent) in differential equations and mathematical physics, the Institute of Applied Physics of National Academy of Sciences of Belarus.

Title of a thesis: “A study of complex centers and focuses 2D autonomous holomorphic differential systems”.

2010 – Doctor of technical sciences in instruments and methods of control environment, substances, materials and products. The Institute of applied physics of NAS of Belarus. Title of a thesis: “Reconstructive shell methods and new computing algorithms for the industrial tomography”. Specialist in area: solution of inverse problems from incomplete data and qualitative theory of ordinary differential equations. The developer of algorithms and software for CT of objects under restricted look angle and small number of projections. The developer of shell methods of reconstruction images of multilevel objects which have a finite number of different homogeneous parts. Developer new parallel algorithms using graphics processors and MPI for reconstruction of images. Currently, the main area of research is computer diagnostics and computer tomography from few projections of images of industrial and biological objects. 1973 till 1978 – Student of the Voronezh institute of technology. Faculty of automation and complex mechanization of manufacturing processes. 1978 till 1985 – Worked the engineer on different firms of Russia and Belarus. 1985 till 1988 – Scientific activity as the post-graduate student in Institute of mathematics of NAS of Belarus. 1988 till 2011 – Worked the scientific employee in Institute of applied physics of NAS of Belarus.

From 2011 to present – main scientific employee in Institute of applied physics of NAS of Belarus

Industry has developed new imaging methods that are based on the reconstruction images of the internal structure and properties of the control objects and corresponding parallel algorithms that can be used with limited access to the object of control and lack of power of X-ray source required for the reconstruction.



²**Мухаммед Майтиг Мухтар**, Минск, ул. Одоевского д. 20 корп. 2 , кв. 77, моб. тел. 8(029) 7878641, Белорусский национальный технический университет, соискатель

Mieteeg Muhamed Mukhtar Abdulla

220092 Minsk, Odoevskogo st., 20 bldg. 2, ap. 77, Mob. tel. 8 (029) 7878641, Velcom, E-mail: mieteeg@gmail.com

10.02.1984 the city Misurata, Libya. Higher education, in 2016 completed the full course of the Belarusian National Technical University on a specialty “System analysis, management and information processing”.

1998–2006: Institute of General Knowledge (Libya). Specialty: Programming and system analysis. In 2006 he graduated from the Higher Institute of Complex Professions (Libya, Misurata), Faculty of Computer Science in Programming and System Analysis.

2012–2013: training at the preparatory department of the Faculty of Advanced University, Training and Professional Orientation of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. 2014–2016: Belarusian State Technological University. Specialty: System analysis, management and information processing. Master of Science in Engineering. In 2016 he graduated from the Belarusian State Technological University on the specialty “System analysis, management and information processing. Currently, Mieteeg Muhamed Mukhtar Abdulla on 10.02.1984. Graduate student of the Belarusian National Technical University, specialty 05.13.01 “System analysis, management and information processing” of the “Information Systems and Technologies” department. Research interests: computed tomography, system analysis, information processing.



²**Аль-Надфа Антуан Набилевич**, Минск, ул. Слободская д. 79, кв. 54, моб. тел. 8(029) 3560677 Белорусский национальный технический университет, соискатель

Alnadfa Antoine Nabiljevic 220051 Minsk, Slobodskaya, 79, apt. 54, Mob. tel. 8 (029) 3560677, Velcom email: antwan.tiger@gmail.com

06.06.1986 the city Minsk, Belarus.

Higher education, in 2009 he completed a full course at the Polotsk State University, specializing in information technology software. In 2009 he was awarded the Master of Science in Engineering.

From 2012 to 2016 he studied in full-time postgraduate study at the Russian University of Friendship of Peoples, specializing in: System analysis, processing and management of information. The author of five scientific publications in the journals included in the VAK list. Research interests: confluent analysis, measurement errors, convex hull, signs of two-dimensional Images, information-control system, logical functions.

УДК 004.65

Л. В. РУДИКОВА

ОБ ОБЩЕЙ КОНЦЕПЦИИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы

Развитие подходов и концепции к построению систем, связанных с накоплением данных в хранилище и последующим использованием алгоритмов Data Mining является особо перспективным в силу того, что белорусский сектор соответствующих ИТ-разработок находится еще на стадии формирования. В статье рассматривается общая концепция построения системы накопления и анализа данных практико-ориентированной направленности, основанная на технологии складирования данных. Основным аспектом в концепции проектирования универсальной системы на уровне хранения и работы с данными является подход с использованием расширяемого хранилища данных на основе универсальной платформы хранимых данных, который предоставляет доступ для хранения и последующего анализа данных различной структуры и различных предметных областей, имеющих точки (узлы) стыковки и расширенный функционал с возможностью выбора структуры для хранения данных и последующей внутрисистемной интеграцией. Приводятся общая архитектура универсальной системы хранения и обработки данных указанной направленности, выделяются структурные составляющие. Основными компонентами архитектура универсальной системы для хранения и обработки данных практико-ориентированной направленности являются: оперативные источники данных; ETL-процесс; хранилище данных; подсистема анализа; пользователи. Важное место в структуре системы занимает аналитическая обработка данных, поиск информации, хранение документов, а также предоставление программного интерфейса для доступа к функциональности системы извне. Универсальная система на основе предлагаемой концепции позволит собирать достаточно обширные сведения по различным предметным областям, а также получать необходимые аналитические сводки, проводить обработку данных и применять соответствующие методы и алгоритмы Data Mining.

Ключевые слова: универсальная система, данные практико-ориентированной направленности, технология складирования данных, общая архитектура, оперативные источники данных; ETL-процесс; хранилище данных; подсистема анализа

Введение

В настоящее время развитие методов записи и хранения данных привели к огромному росту объемов накопленной, практически, не-обработанной информации. Конечно, при рассмотрении тех или иных аспектов предметных областей можно указать ресурсы и средства, которые используются для анализа накопленной информации. Однако, целый ряд направлений деятельности различных структур общества требуют построения концепции, а, в дальнейшем, разработки и использования соответствующих систем накопления, расширенного поиска и анализа больших объемов данных.

Развитие подходов и концепции к построению систем, связанных с накоплением данных

в хранилище и последующим использованием алгоритмов Data Mining [1–3] является особо перспективным, т. к. белорусский сектор соответствующих ИТ-разработок находится еще на стадии формирования.

В силу вышеизложенного особый интерес представляет разработка объектной структурно-аналитической методологии, а также непосредственное создание и апробация программных комплексов, которые позволят накапливать данные в общее хранилище, осуществлять необходимый направленный поиск, а также проводить аналитические исследования, включая интеллектуальный анализ данных.

Рассматриваемая тематика, связанная с разработкой общей концепции построения систем накопления и анализа данных [4], включает

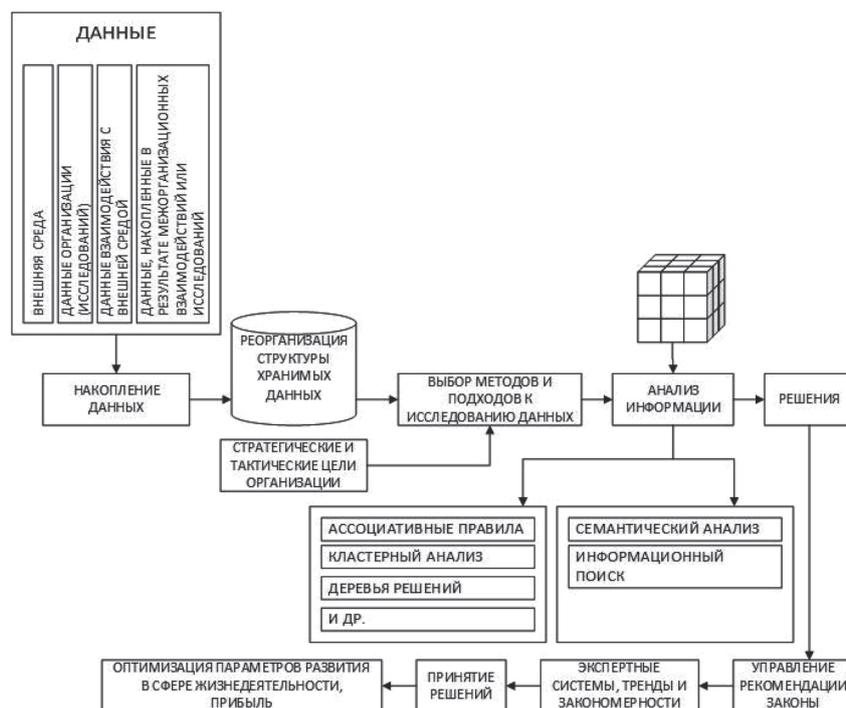


Рис. 1. Упрощенная схема функционирования организации

следующие направления исследований. Во-первых, исследование предметной области, связанной с объектами художественной ценности и соответствующей лазерной экспрессной экспертизой: анализ полученных результатов по структурированию информации, построение модели для хранилища данных, возможные варианты обработки информации. Во-вторых, сбор и накопление информации, касающейся персональных данных людей, прежде всего, известных личностей (в дальнейшем предполагается провести исследования в аспекте востребованности специалистов в той или иной области, кадрового потенциала выпускников и тенденций, связанных с подготовкой высококвалифицированных специалистов по конкретным специальностям). И, в-третьих, направление, характеризующее некоторые аспекты предметной области демографических и миграционных данных [5, 6].

Общая концепция хранилища данных для хранения и анализа данных практико-ориентированной направленности

На рис. 1 показана упрощенная схема функционирования организации (с учетом современных тенденций к интеграции данную схему можно трактовать также и как основу единой структуры в рамках определенной феде-

ральной или государственной структуры) на базе накопленной информации (научной, производственной, социальной и т. п.) и место анализа непрерывно поступающей информации.

Отметим, что на текущий момент предложены общие подходы к созданию универсальной системы, которая позволяет поддерживать различные этапы, связанные с проведением лазерной экспрессной экспертизы, автоматизировать процессы хранения и поиска данных с целью их дальнейшей обработки и получения требуемых экспертных заключений [7–12]. Проводятся работы по комплексному исследованию предметных областей, расширению структурно-аналитической методологии построения подобного рода программных систем, результаты которых можно применить и к более общим программным комплексам, предназначенным для обработки статистических данных большого объема практико-ориентированной направленности.

Основная концепция предлагаемой универсальной расширяемой системы для хранения и анализа данных практико-ориентированной направленности основана на технологии складирования данных. Разработка хранилища данных предполагается с учетом того, что в конечном итоге универсальная система будет

предоставлять большой комплекс услуг соответствующим группам пользователей. Очевидно, что ресурсоемкость системы будет расти по мере того как система будет наполняться данными и обслуживать все большее количество пользователей. Немаловажную роль в плане определения концепции построения системы также играет необходимость осуществления аналитической обработки поступающих данных, поиска информации, хранение документов, а также предоставление программного интерфейса для доступа к функциональности системы извне [13, 14].

Основным аспектом в концепции проектирования универсальной системы на уровне хранения и работы с данными является подход с использованием хранилища данных (Data Warehouse) [15] – предметно-ориентированной информационной базы данных, построенной на основе схемы «созвездие фактов», специально разработанной и предназначенной для подготовки отчетов и бизнес-анализа с целью поддержки принятия решений по различным направлениям указанных тематик. Данные, которые поступают в хранилище данных, доступны, в основном, только для чтения. Из OLTP-системы необходимая информация копируется в хранилище данных таким образом, чтобы итоговые построенные отчеты и OLAP-анализ не обращался к ресурсам транзакционной системы и, таким образом, не нарушал её стабильность. Предполагается, что данные загружаются в хранилище с периодичностью в неделю или декаду, поэтому актуальность данных может несколько отставать от OLTP-системы. Ниже предлагается обобщенная архитектура для универсальной системы хранения и анализа данных на базе расширяемого хранилища данных. В данном случае, в качестве *расширяемого* хранилища данных предлагается подход на основе универсальной платформы хранения данных, который предоставляет доступ для хранения и последующего анализа данных различной структуры и различных предметных областей, имеющих точки (узлы) стыковки и расширенный функционал с возможностью выбора структуры для хранения данных и последующей внутрисистемной интеграцией. Отметим также, что предполагается построение некоторой универсальной системы, которая при правильном ее проектировании и выборе

соответствующих методов и подходов к обработке данных может разрастись до глобального применения за счет гибкости в плане расширения ее функциональности, обилию предоставляемых аналитических данных, максимально универсальным структурам хранения данных, устойчивости к большим нагрузкам и т. д. Кроме непосредственно подсистемы хранения и обработки поступающих со стороны ее пользователей данных, в системе будет располагаться большое количество вспомогательной информации, необходимой для поддержки работы подсистем, выполняющих структурный и экспертный анализ. Такого рода информация также будет обособлена и вынесена в отдельную базу данных, структурированную для максимально быстрого поиска информации и доступа к ней.

Общая архитектура универсальной системы хранения и обработки данных практико-ориентированной направленности

На рис. 2 представлена разработанная архитектура для универсальной системы хранения и обработки данных практико-ориентированной направленности.

Основными компонентами архитектуры универсальной системы для хранения и обработки данных практико-ориентированной направленности являются: оперативные источники данных; ETL-процесс; хранилище данных; подсистема анализа; пользователи.

Охарактеризуем основные компоненты системы.

Оперативные источники данных включают различные документы и данные, которые обрабатываются OLTP-системами.

ETL-процесс представляет собой процесс извлечения (получения) информации из OLTP-систем (баз данных), затем ее дальнейшее преобразование к формату хранимых данных в хранилище, и непосредственной загрузки данных в хранилище данных. Для поддержки ETL-процесса используются соответствующие программы, которые позволяют извлекать данные из исходной базы данных, преобразовывать их в соответствии с требованиями и загружать в хранилище. Отметим, что для извлечения данных из исходной базы данных можно использовать как готовое программное обеспече-

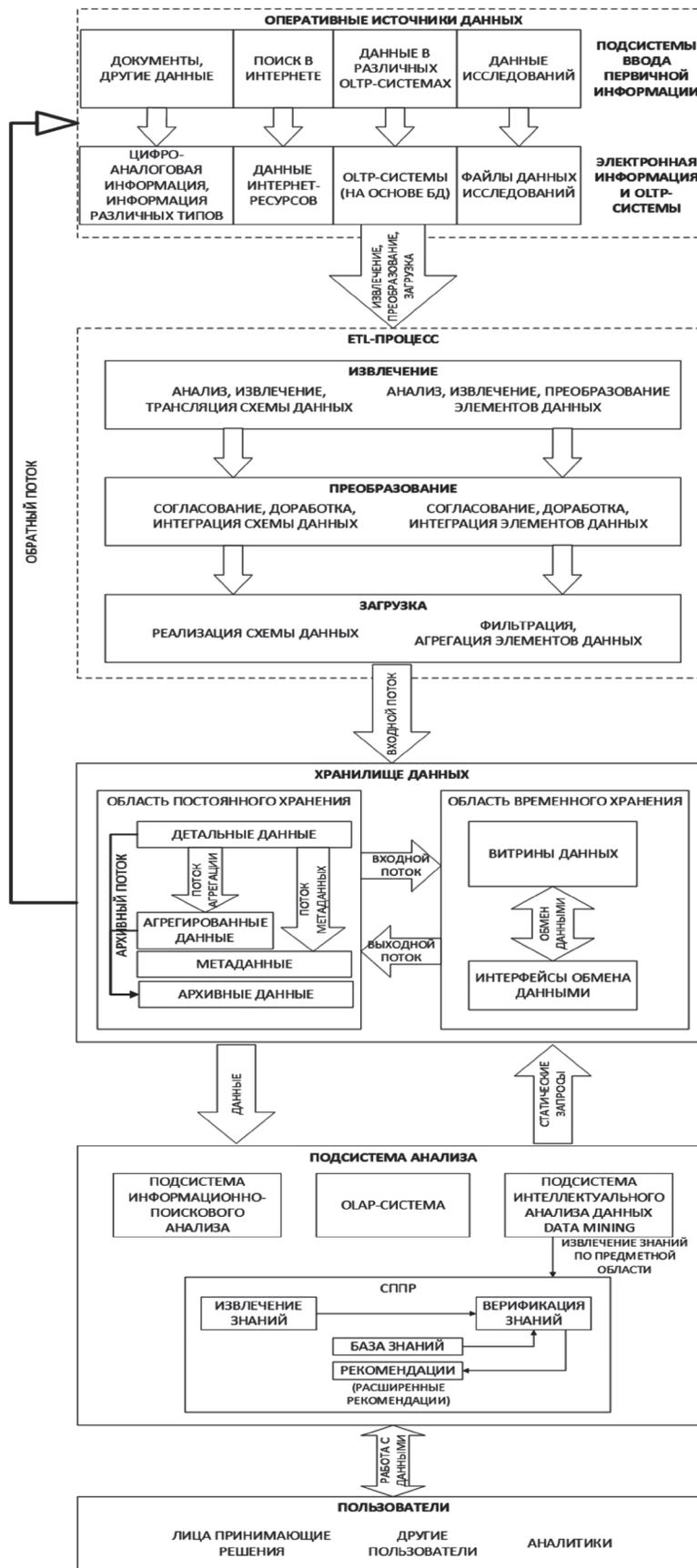


Рис. 2. Общая архитектура универсальной системы для хранения и обработки данных практико-ориентированной направленности

ние, так и разрабатывать собственные решения с учетом требований итоговых форматов данных.

Архитектура области хранения данных может проектироваться в зависимости от требований представления и использования итоговой информации. В рассматриваемом случае архитектуру *корпоративного хранилища данных* целесообразно проектировать с учетом следующих областей.

1) Область временного хранения данных (Staging Area) – будет использоваться для временного хранения данных, которые извлекаются из транзакционных систем; таким образом, эта область – промежуточный слой между OLTP-системами и хранилищем данных, которая состоит из:

- витрин (киосков) данных (Data Marts) – необходимые представления данных для их анализа конечными пользователями (в соответствии с требуемыми схемами данных, например, типа «снежинка», «звезда», «созвездие фактов»); витрины данных предназначены для поддержки итоговых целей пользователей, компаний и приложений;

- интерфейсов обмена данными с другими системами и приложениями (Data Exchange Interface или Feedback Area), представляющих собой специальные таблицы, в которых хранятся подготовленные для передачи в другие приложения компании или организации данные из области постоянного хранения данных.

2) Область постоянного хранения данных состоит из:

- детальных данных (System of records), т. е. области хранения детальных данных хранилища в соответствии со структурой модели данных хранилища;

- агрегированных данных (Summary area), т. е. сгруппированных по определенным показателям детальных данных;

- метаданных (Metadata) – данных, которые описывают структуры для хранения данных, т. е. это стандартные описания структур таблиц, взаимосвязей, ограничений, правил секционирования, описание витрин, данных и т. п.

- архивных данных (Archive data) – данных, которые не используются в активных отчетах, исследованиях и обработках, но которые при необходимости могут быть извлечены из хранилища; как правило, будут заданы

определенные критерии для помещения данных хранилища в архивные таблицы.

Подсистема анализа также важная часть предлагаемого архитектурного решения, основными требованиями к которой являются расширяемость и модульность структуры.

Основные программно-системные модули, которые добавляются в подсистему анализа, зависят от конкретных задач пользователей и аналитических систем. Как правило, к основным модулям анализа данных можно отнести подсистему информационно-поискового анализа, OLAP-систему, подсистему интеллектуального анализа данных Data Mining, систему поддержки принятия решений.

В подсистему *информационно-поискового анализа* необходимо включить информационный поиск, визуальный поиск и семантический поиск. постановка четких запросов к базе данных и получение соответствующей информации – это главные задачи, решаемые подсистемой информационного и визуального поиска.

Использование технологии *OLAP* в предлагаемой системе – это соответствующий подбор программных решений класса Business Intelligence для быстрого создания и настройки многомерных кубов с целью получения итоговых агрегированных запросов по конкретному направлению, соответствующих направлению предметной области.

Подсистема интеллектуального анализа данных Data Mining предполагает возможность с использованием соответствующих методов обработки данных обнаружения неизвестных ранее нетривиальных и практически полезных знания, которые можно интерпретировать соответствующим образом и на этой основе принимать соответствующие решения по направлениям деятельности, указанным выше. Как правило, Data Mining использует следующие методы: нейронные сети, деревья решений, алгоритмы кластеризации, в том числе и масштабируемые, алгоритмы обнаружения ассоциативных связей между событиями и т. д.

Основное назначение *системы поддержки принятия решений* (СППР) состоит в получении рекомендаций на основе изучения имеющихся исторических и текущих данных о состоянии требуемого объекта исследования и сравнение этой информации с информацией, которая хранится в базе данных системы. Ос-

новные функции СППР – это извлечение знаний, их верификация и формирование рекомендаций требуемого образца. В СППР обязательно должна присутствовать возможность обновления знаний с учетом текущего момента времени (актуализация знаний).

К системе могут иметь доступ различные группы пользователей, которым доступен и различный функционал системы. Отметим, что, кроме администраторов системы, можно указать также следующие группы пользователей: лица, принимающие решения, аналитики и другие пользователи.

Лица, принимающие решения (ЛПР) – это группа пользователей, от решения которых зависит анализ объективной составляющей ситуации или явления; выявление предпочтений ЛПР, генерация возможных решений, оценка возможных альтернатив, анализ последствий принимаемых решений, выбор лучшего варианта и т. д.

Аналитики – пользователи, которым необходимо сформулировать и проверить конкретные гипотезы, а также создавать требуемые запросы различного плана и подготовить отчеты по конкретным направлениям предметной области.

Другим пользователям, как правило, доступна общая информация, связанная с универсальной системой и для них ограничены возможности по обработке имеющихся данных предлагаемой системы.

Однако, стоит помнить, что, в зависимости от целей использования системы, всегда можно определить конкретного пользователя и предоставить ему определенные права на доступ и обработку информации, а также – к отдельным модулям и функционалу системы.

Рекомендации по выбору программных средств

Разрабатываемая система должна включать в себя единое централизованное хранилище данных, систему обработки данных и систему отчетности. В хранилище данных информация хранится в специально реорганизованном виде в соответствии с разработанной

структурой хранения, содержащей необходимые измерения и агрегированные факты предметной области. Для реализации и поддержки хранилища данных рекомендуется использовать MS SQL Server. MS SQL Server используется в системах, осуществляющих хранение больших объемов, данных с требуемой политикой безопасности. MS SQL Server имеет средства аналитической обработки многомерных моделей, данных (OLAP) и сбора релевантной информации, которые входят в состав Microsoft Analysis Services. В SQL Server имеется поддержка .NET Framework, в силу чего хранимые процедуры баз, данных можно реализовывать на любом языке платформы. .NET, используя полный набор библиотек, которые доступны для .NET Framework.

В качестве средства для работы с OLAP и интеллектуальным анализом данных хорошим решением являются службы Microsoft SSAS.

Заключение

Разработка общей концепции и реализация универсальной Интернет-системы складирования и обработки данных практико-ориентированной направленности, связанных с различными видами деятельности людей, может быть рассмотрена в аспекте создания некоторого федерального хранилища данных, что, несомненно, является актуальной темой исследования. Интересным также представляется распространение методов и технологий бизнес-аналитики для научных исследований и получение соответствующих результатов, которые позволяют определять перспективы использования определенных ресурсов, возможные закономерности по имеющимся массивам данных, а также влияние определенных параметров на развитие социальных, исторических и экологических процессов. Система такого рода позволит собрать достаточно обширные сведения по различным предметным областям, а также получать необходимые аналитические сводки, проводить обработку данных и применять соответствующие методы и алгоритмы Data Mining.

Литература

1. **Devlin, B. A.** An Architecture for a Business and Information System / B. A. Devlin, P. T. Murphy. – IBM Systems Journal, 1988. – Vol 17, No 1. – P. 60–80.
2. **Inmon, W. H.** Building the Data Warehouse / W. H. Inmon // Third Edition. – John Wiley & Sons, Inc. New York, 2002. – 428 p.

3. **Kimbell, R.** The Data Warehouse Toolkit: The Complete Guide to Dimensional Data Warehouses / R. Kimbell, M. Ross // Second Edition. – J. Wiley & Sons, 2002. – 447 p.
4. «Примеры реализации хранилищ данных предприятия» [Электронный ресурс] / Интернет-технологии. – Режим доступа: http://www.internet-technologies.ru/articles/article_994.html. – Дата доступа: 26.12.2016.
5. **Belyi, A.** Global multi-layer network of human mobility // Alexander Belyi, Iva Bojic, Stanislav Sobolevsky, Izabela Sitko, Bartosz Hawelka, Lada Rudikova, Alexander Kurbatski, Carlo Ratti / International Journal of Geographical Information Science. – Mode of access: [<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13658816.2017.1301455>]. – Date of access: [14.04.2017].
6. **Белый, А. Б.** Данные сервиса Flickr и структура сообществ стран // А. Б. Белый, Л. В. Рудикова, С. Л. Соболевский, А. Н. Курбацкий / Международный конгресс по информатике, информационные системы и технологии = International Congress on Computer Sciens : Information Systems and Technologies : материалы междунар. науч. конгресса, Республика Беларусь, Минск, 24 окт. – 27 нояб. 2016 г. : редкол.: С. В. Абламейко (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2016. – С. 851–855.
7. **Рудикова, Л. В.** О разработке системы для поддержки лазерной экспрессной экспертизы. Монография / Л. В. Рудикова. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 134 с.
8. **Рудикова, Л. В.** Особенности архитектурной реализации системы визуализации и обработки результатов спектрального анализа // Л. В. Рудикова / Доклады БГУИР. – Мн.: БГУИР, 2015. – № 1 (87) – С. 47–53.
9. **Рудикова, Л. В.** О разработке универсальной системы обработки данных, связанных с лазерной экспрессной экспертизой // Л. В. Рудикова / Системный анализ и прикладная информатика. – Мн.: БНТУ, 2015. – № 2. – С. 58–64.
10. **Рудикова, Л. В.** Формирование экспертных заключений с использованием лазерного метода спектрального анализа и специализированного программного обеспечения / Л. В. Рудикова, Е. В. Жавнерко, Н. Н. Курьян, Д. В. Лазарь // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – Мн.: БГУИР, 2016. – № 2. – С. 56–62.
11. **Рудикова, Л. В.** О проектировании системы для поддержки экспертизы объектов художественной ценности // Л. В. Рудикова / Информационные системы и технологии: управление и безопасность: сб. ст. IV международной заочной научно-практической конференции / Поволжский гос. ун-т сервиса. – Тольятти: Изд-во ПВГУС, 2016. – С. 154–167.
12. **Рудикова, Л. В.** О концепции универсальной системы хранения и обработки данных произведений художественной ценности // Л. В. Рудикова / Фундаментальные проблемы естествознания и техники. Серия: Проблемы исследования Вселенной. – Т. 37. № 2. – Санкт-Петербург, 2016. – С. 209–227.
13. **Барсегян, А. А.** Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 336 с.: ил.
14. **Паклин, Н. Б.** Бизнес-аналитика: от данных к знаниям / Н. Б. Паклин, В. И. Орешков – СПб.: Питер, 2009 год. – 624 с.
15. **Wrembel, R.** Data warehouses and OLAP: concepts, architectures, and solutions / R. Wrembel, C. Koncilia. – IRM Press, 2007. – P. 1–26.

References

1. **Devlin, B. A.** An Architecture for a Business and Information System / B. A. Devlin, P. T. Murphy. – IBM Systems Journal, 1988. – Vol 17, No 1. – P. 60–80.
2. **Inmon, W. H.** Building the Data Warehouse / W. H. Inmon // Third Edition. – John Wiley & Sons, Inc. New York, 2002. – 428 p.
3. **Kimbell, R.** The Data Warehouse Toolkit: The Complete Guide to Dimensional Data Warehouses / R. Kimbell, M. Ross // Second Edition. – J. Wiley & Sons, 2002. – 447 p.
4. «Implemented data warehouses of company examples» [Electronic source] / Internet-technologies. – Mode of access: http://www.internet-technologies.ru/articles/article_994.html. – Date of access: 26.12.2016.
5. **Belyi, A.** Global multi-layer network of human mobility // Alexander Belyi, Iva Bojic, Stanislav Sobolevsky, Izabela Sitko, Bartosz Hawelka, Lada Rudikova, Alexander Kurbatski, Carlo Ratti / International Journal of Geographical Information Science – Mode of access: [<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13658816.2017.1301455>]. – Date of access: [14.04.2017].
6. **Belyi, A. B.** Flickr service data and community structure of countries // A. B. Belyi, L. V. Rudikova, S. L. Sobolevsky, A. N. Kurbatski / International Congress on Computer Sciens : Information Systems and Technologies : materials of International scientific Congress, Republic of Belarus, Minsk, 24 October. – 27 Nov. 2016: rare: S. V. Ablameiko (editorial editors) [and others]. – Minsk: BSU, 2016. – P. 851–855.
7. **Rudikova, L.** About laser express expertise system implementation. Monography / Lada Rudikova. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 134 p.
8. **Rudikova, L.** Architecture's implementation features system of visualization and spectral analysis results processing // Lada Rudikova / Doklady BGUIR. – Minsk: BSUIR, 2015. – № 1 (87) – P. 47–53.
9. **Rudikova, L.** About universal system of laser express expertise data processing // Lada Rudikova / System analysis and applied information science. – Minsk: BNTU, 2015. – № 2. – P. 58–64.
10. **Rudikova, L. V.** Formation of expert conclusions using the laser method of spectral analysis and specialized software / L. V. Rudikova, E. V. Zhavnerko, N. N. Kuryan, D. V. Lazar // Reports of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. – Minsk: BSUIR, 2016. – № 2. – P. 56–62.

11. **Rudikova, L. V.** On the design of the system for the support of the examination of artwork objects // L. V. Rudikova / Information Systems and Technologies: Management and Security: Sat. Art. IV international correspondence scientific-practical conference / Povolzhsky State University of Service. – Togliatti: Publishing house of VGUS, 2016. – P. 154–167.
12. **Rudikova, L. V.** On the concept of an universal system for storing and processing artwork objects data // L. V. Rudikova / Fundamental Problems of Natural Science and Technology. Series: Problems of the study of the universe. – P. 37. № 2. – St. Petersburg, 2016. – P. 209–227.
13. **Barseghyan, A.** Methods and analysis data models: OLAP and Data Mining / A. Barseghyan, M. Kupriyanov, V. Stepanenko, I. Kholod – StP.: BHV-Petersburg, 2009. – 336 p.: il.
14. **Paklin, N.** Business- analytics: from data to knowledge / N. Paklin, V. Oreshkov. – StP.: Piter, 2009. – 624 p.
15. **Wrembel, R.** Data warehouses and OLAP: concepts, architectures, and solutions / R. Wrembel, C. Koncilia. – IRM Press, 2007. – P. 1–26.

Поступила
10.04.2017

После доработки
18.05.2017

Принята к печати
10.06.2017

Rudikova, L. V.

ABOUT THE GENERAL CONCEPT OF THE UNIVERSAL STORAGE SYSTEM AND PRACTICE-ORIENTED DATA PROCESSING

Approaches evolution and concept of data accumulation in warehouse and subsequent Data Mining use is perspective due to the fact that, Belarusian segment of the same IT-developments is organizing. The article describes the general concept for creation a system of storage and practice-oriented data analysis, based on the data warehousing technology. The main aspect in universal system design on storage layer and working with data is approach uses extended data warehouse, based on universal platform of stored data, which grants access to storage and subsequent data analysis different structure and subject domains have compound's points (nodes) and extended functional with data structure choice option for data storage and subsequent intrasystem integration. Describe the universal system general architecture of storage and analysis practice-oriented data, structural elements. Main components of universal system for storage and processing practice-oriented data are: online data sources, ETL-process, data warehouse, subsystem of analysis, users. An important place in the system is analytical processing of data, information search, document's storage and providing a software interface for accessing the functionality of the system from the outside. An universal system based on describing concept will allow collection information of different subject domains, get analytical summaries, do data processing and apply appropriate Data Mining methods and algorithms.

Keywords: universal system, practice-oriented data, warehousing technology, common architecture, online data source, ETL-process, data warehouse, analysis subsystem



Lada Rudikova is the Head of Modern Programming Technologies Department of Yanka Kupala State University of Grodno (YKSUG). Ph. D. degree in physical and math.

The main line of her scientific researches – management theory, information systems design, databases, CASE, data mining, business intelligence. She actively participates in international conferences. She is the author of more than 280 scientific works and books related to computer technology and data processing, a technical writer of the publishing house «BHV-St Petersburg».

Результаты работы получены в процессе выполнения ГПНИ «Разработка методологии и средств построения универсальных систем хранения, обработки и анализа структурированных данных большого объема практико-ориентированной направленности».

УДК 519.6, 573.7

В. В. МИХАЙЛОВ, А. Ю. ПЕРЕВАРЮХА

МОДЕЛЬ СЦЕНАРИЯ ИНТРОДУКЦИИ МОЛОДИ РЫБ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН)

Рассматривается расширение ранее сформулированного подхода к моделированию аспектов репродуктивного цикла с учетом происходящих перемен в среде обитания и метаморфозов в развитии рыб. Избыточное накопление биогенных элементов при длительном использовании водоемов для искусственного выращивания молоди или ускоренный распад органики в некоторых случаях могут оказывать влияние на успешность процесса воспроизводства, косвенно влияя на долговременные тренды популяционной динамики. В отдельных случаях усиление притока органического фосфора приводит далее к состоянию эвтрофикации и может сказаться на недостаточной аэрации мест размножения, привести к гипоксии у вылупившихся личинок. При массовой гибели икры еще ухудшится ситуация с расходом кислорода в водоеме. Нехватка органики приводит недостаточно для оптимального роста рыб развитию биомассы кормовых планктонных организмов. Система уравнений выживаемости конкурирующих особей поколения дополнена функциональным расширением, использующим итерационную модель динамики биогенных элементов, построенную на основе анализа процессов в экосистеме озера Чао. Блок модели расчёта притока и деструкции органики синхронизирован с непрерывно-дискретной вычислительной структурой, учитывающей взаимосвязанные изменения факторов смертности и темпов развития молоди рыб при переходах между обобщенными эколого-физиологическими этапами развития.

Ключевые слова: модели популяций, эвтрофикация, трофодинамика водоемов, темпы накопления биогенов, аспекты эффективности воспроизводства, предикативно переопределяемые структуры, этапы онтогенеза.

Введение

В цикле работ мы последовательно совершенствуем возможности применения сценарного подхода и вычислительных моделей динамики видов, онтогенезу которых свойственны выраженные комплексные эколого-физиологические метаморфозы. В работе [1] была предложена математическая формализация влияния темпов развития молоди анадромных рыб, испытывающих запрограммированные эволюцией изменения, на итоговую выживаемость численности промыслового пополнения. Предлагаемый подход предназначен главным образом для анализа критических режимов существования важных промысловых популяций.

Общей задачей исследований Проекта является анализ вычислительных модельных сценариев смены фаз и факторов при исчерпании биоресурсов или ускоренном размножении. Мы успешно рассмотрели факторы внутривидовой конкуренции за медленно возобновляющиеся ресурсы, действие которой на

темпы роста немонотонно может зависеть от численности группы особей. Для общего жизненного цикла большинства костистых рыб накопление биомассы удовлетворительного описывается семейством сигмоидных кривых, получаемых из балансового уравнения Бергаланфи, то для важного интервала наибольшей уязвимости на ранних этапах развития прирост невозможно описать одним уравнением. Система предикативно переопределяемых дифференциальных уравнений динамики убыли поколений исходно предполагала отдельную формализацию изменений факторов смертности, связанных с плотностью скопления и прочих, независимых от плотности. Как справедливо отметили коллеги биологии, темпы развития зависят не только от внутривидовой регуляции, но и от внешних условий. Если условия протекания физиологических процессов остаются постоянными, то в модели учет лишних факторов не повлияет на итоговые выводы, так как действует математическое поня-

тие о топологической эквивалентности устойчивых многообразий. Интересно рассматривать влияния вызывающие появления топологически неэквивалентных фазовых портретов динамических систем, как это происходит при некоторых бифуркациях асимптотически устойчивых стационарных состояний траектории или качественных изменений границ области притяжения при сосуществовании альтернативных аттракторов.

Для подобной задачи перспективно в вычислительную модель выживаемости молодежи инкапсулировать выходные переменные блока расчета биогенных элементов, через механизм опосредованного влияния, для чего опишем оригинальную формализацию темпов развития.

Градации трофического состояния среды

Принято классифицировать водоемы по их биологической продуктивности в зависимости от трофического статуса, определенного уровнем содержания биогенных элементов как дистрофные, олиготрофные, мезотрофные и эвтрофные – наиболее насыщенные органикой. Однако, как бы странным не казалось на первый взгляд математика, в экологии далеко не всегда обилие питательной среды положительный фактор для биоразнообразия. Антропогенная эвтрофикация вплоть до критического гипертрофического состояния становится одной из актуальных проблем для замкнутых экосистем при антропогенной нагрузке [2]. Для Волго-Каспийского региона проблема эвтрофикации и летнего цветения воды является острой, но мало обсуждаемой, однако в англоязычной Википедии для иллюстрации масштабы данного явления приведен спутниковый снимок акватории всего Северного Каспия.

Отдельное моделирование динамики внешних факторов предполагает анализ реальных происходящих процессов в трофической цепи водоема. Параметрическая верификация модели баланса биогенных элементов, накопления и распада органики, нетривиальная задача, не решаемая вычислительными алгоритмами, и требует специальных экспедиционных исследований и обработки неполных данных. Расчет продукционных показателей экосистемы озер обычно проводится по среднегодовой концентрации общего фосфора. Адаптируем

для моделирования эффективности воспроизводства наработки по прогнозированию состояния озера Чао (провинция Хэфей, КНР), где проводились исследования в рамках международного проекта с участием лаборатории Института информатики РАН [3], и накоплены статистические данные по гидрохимии, позволившие провести верификацию структуры эмпирических зависимостей, прежде всего для формализации связи среднегодовой концентрации общего фосфора с концентрацией хлорофилла в оптимальных условиях освещенности (A_{OPT}).

Концептуальная формализация круговорота биогенных элементов

Ситуация озера Чао представляет интерес для нашей основной задачи совершенствования математических методов описания репродуктивного цикла анадромных рыб, так как отражает его основные особенности как модельного эталонного объекта условий раннего нереста: малую глубину и высокую проточность, низкую прозрачность, связанную с ослаблением света частицами донных отложений, относительно низкую величину интегральной первичной продукции. В 1996 г. трофический уровень озера повысился до гипертрофного, что привело к качественным изменениям процессов высвобождения минерального фосфора из донных отложений при дефиците кислорода с угнетением аэрофильных видов.

Принципы моделирования цикла круговорота органических веществ, направлению «трофодинамики», были заложены работами ленинградской научной школы Г. Г. Винберга [4], изучавшего аспекты скорости образования первичной продукции различных водоемов. Им был разработан простой, но до сих пор эффективный метод «двух пробирок» для оценки продуктивности водоема, где одна из сравниваемых проб оставалась в прозрачной пробирке с возможностью фотосинтеза, а другая закрывалась от излучения, и там происходило только окисление. Сравнение содержания кислорода через равные промежутки времени могло говорить об образовании органического вещества в водоеме, если конечно репрезентативно распределить опыты по глубинам. Естественно, так мы получим усредненную информацию, но такие сведения позволяют сделать

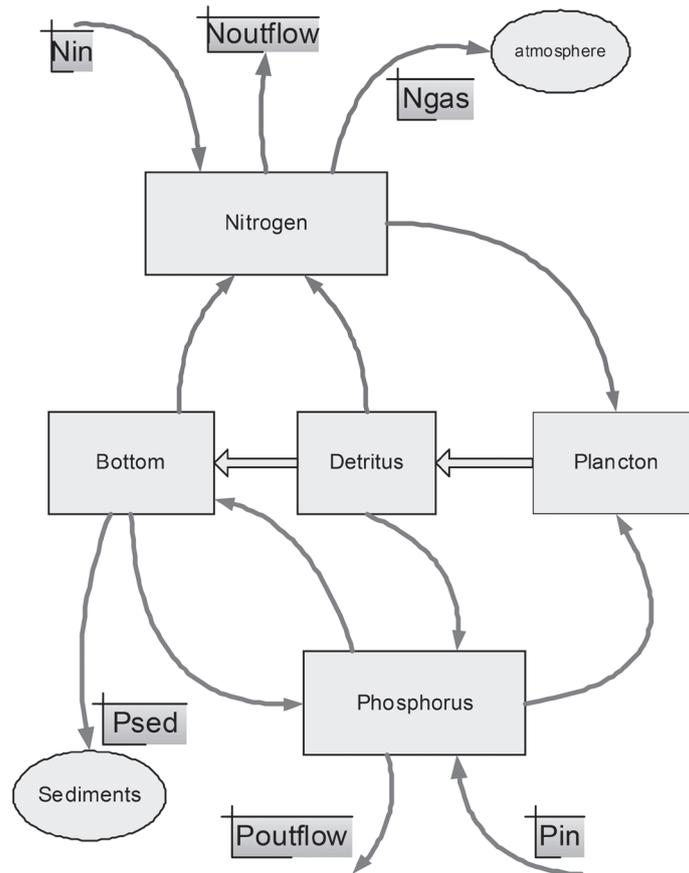


Рис. 1. Схема перераспределения азота и фосфора

вывод о формировании долговременного тренда в условиях развития фитопланктона, доминировании накопления осаждающейся органики по пути *Plancton*→*Detritus*→*Bottom* или ее окисления и выхода в атмосферу. Концептуальная схема (в традиционном стиле нотации потоков системной динамики Дж. Форрестера) круговорота органического азота *Nitrogen* (синими стрелками) и фосфора *Phosphorus* (красными стрелками) показана на рис. 1.

Для построения модели с расчетами динамики биогенов в различных сегментах среды не требуется применение изощренного математического аппарата интегральных уравнений, скорее необходима удачная структуризация принципов протекания круговорота основных элементов и эмпирический подбор значений показателей степени при коэффициентах трансформации, которые в эвтрофных и олиготрофных случаях могут различаться. Количество азота и фосфора, заключенного в годовой первичной продукции и перешедшего в результате деструкции в минеральную форму будут величинами, характеризующими в моде-

ли интенсивность биологического круговорота. Образование фитопланктона, согласно имеющимся обширным наблюдениям В. В. Бульона [5], достаточно сложно зависит от концентрации органического азота и фосфора, и может выражаться нелинейной функцией. Аналогично определим нелинейную зависимость для темпов разложения и минерализации осаждающегося детрита в последовательно составленном алгоритмическом блоке.

Блок динамики биогенных элементов

Исходя из рассмотренной ранее лимнологической характеристики объекта, в агрегированный модельный блок целесообразно включить перечисленные далее показатели трофического состояния, динамически связанные на основе эмпирически определенных функциональных зависимостей. Агрегированную модель разделим на функциональные сегменты:

I. Концентрация хлорофилла *CHL*, прозрачность *S*, первичная продукция в оптимальном по освещенности слое A_{OPT} , среднесуточ-

ная AD , и годовая AY интегральная первичная продукция, где VEG – время вегетации

$$CHL = 0.28 \cdot TP_s^{0.96}; A_{OPT} = 30.6 \cdot CHL^{0.927};$$

$$S_1 = 5.7 \cdot CHL^{-0.44}; E_1 = \ln(0.05) / S_1;$$

$$E_2 = 1 / (k_1 \cdot Z^{k_2} + 1); E_S = E_1 + E_2;$$

$$S = \ln(0.05) / E_S; AD = A_{OPT} \cdot S; AY = AD \cdot VEG.$$

II. Седиментация детрита CRD . Здесь V – скорость осаждения детрита (м/сут), τ_i , α_i – постоянная времени разложения (сут) и доля лабильной, промежуточной и консервативной фракции детрита $\tau_1 = 1$, $\tau_2 = 20$, $\tau_3 = 365$, $\alpha_1 = 0.15$, $\alpha_2 = 0.8$, $\alpha_3 = 0.05$, $V = 0.175$.

При $Z \leq 2S$:

$$CRD = \sum_{i=1}^3 0.5 \cdot A_{OPT} \cdot V \cdot \tau_i \cdot \alpha_i \cdot (1 - \exp(-Z / (V \cdot \tau_i)));$$

При $Z > 2S$:

$$CRD = \sum_{i=1}^3 0.5 \cdot A_{OPT} \cdot V \cdot \tau_i \cdot \alpha_i \cdot (1 - \exp(-2S / (V \cdot \tau_i))) \times \exp(2S - Z) / (V \cdot \tau_i);$$

$$CR = CRD \cdot VEG.$$

III. Седиментация азота NR и фосфора PR в составе детрита, cn , cp – соотношение углерод-азот и углерод-фосфор в детрите

$$NR = CR / cn; PR = CR / cp.$$

IV. Минерализация органического азота STN и фосфора STP , NRR , PRR – количество органического азота и фосфора, поступающее в активный слой отложений. Коэффициент минерализации $k1 = 0.4$

$$STN = NR \cdot k1; STP = PNR \cdot k1;$$

$$NRR = NR - STN, PRR = PR - STP.$$

V. Минерализация и захоронение органического азота ($NORGM$, $NORGZ$) и фосфора ($PORGM$, $PORGZ$) активного слоя отложений. $NORG$, $PORG$ – количество органического азота и фосфора в активном слое $k2 = 0.017$, $k3 = 0.0066$.

$$PORGM = PORG \cdot k2; PORGZ = PORG \cdot k3;$$

$$NORGM = NORG \cdot k2; NORGZ = NORG \cdot k3;$$

VI. Отдельно проведем расчет и внесение поправок в коэффициент выноса фосфора в воду $k4$ и коэффициент десорбции $k5$. Нас интересует расчет выноса в воду $PPMV$, где сорбция $PPMS$ минерального фосфора порового раствора PPM , десорбция $PSDS$ и захоронение PSS сорбированного фосфора PS активного слоя донных отложений. Важнейшая характеристика

$PLIM$ – граничное значение содержания органического вещества (в долях фосфора) в донных отложениях, при котором наступает дефицит кислорода. Установлено $k4 = 0.045$, $k5 = 0.002$, $k6 = 0.1$, $k7 = 0.0065$.

Алгоритмически для расчета поправок применим схему

$$kkk = 0;$$

$$if (PORG + PR) > PLIM$$

$$kkk = (PORG + PR - PLIM);$$

$$k4 = 0.045 + k4 \cdot kkk; k5 = 0.002 + k5 \cdot kkk;$$

end

И рассчитаем выносы биогенов уже с поправками

$$PPMV = PPM \cdot k4; PPMS = PPM \cdot k6;$$

$$PSDS = PS \cdot k5; PSS = PS \cdot k7;$$

VII. В заключительном сегменте модели определим общее выделение минеральных соединений азота NVV и фосфора PVV в воду. Пересчет органического, минерального и сорбированного фосфора и органического азота активного слоя донных отложений для следующего шага счета рассчитывается линейно

$$NVV = STN + NORGM; PVV = STP + PPMV.$$

$$NORG(t+1) = NORG(t) + NRR - NORGM - NORGZ;$$

$$PORG(t+1) = PORG(t) + PRR - PORGM - PORGZ.$$

$$PPM(t+1) = PPM(t) - PPMV - PPMS + PORGM + PSDS;$$

$$PS(t+1) = PS(t) - PSDS - PSS + PPMS + PSV.$$

Таким образом, в балансе азота и фосфора в водной массе учитывается внешняя биогенная нагрузка, седиментация органического и минерального фосфора, поток азота и фосфора из отложений в воду, потери с водным стоком. После подведения всех балансов рассчитывается концентрация общего азота и фосфора для следующего шага итерации. Теперь необходимо инкапсулировать сегменты блока динамики биогенных элементов в рассмотренную ранее модель эффективности воспроизводства в форме уравнений выживаемости на интервале наибольшей уязвимости $[0, T]$ в раннем онтогенезе, который можно разделять на этапы.

Непрерывно-дискретная структура модели популяции

При модификации модели выживаемости применим следующие биологически обоснован-

ные гипотезы. Дефицит кислорода в донных отложениях не стратифицированных водоемов связан с количеством органического вещества в них, следовательно существует граничный уровень органического вещества, при котором возникают в придонном слое анаэробные зоны. Существует оптимальное значение концентрации биогенных элементов, тогда как отклонения от оптимума могут воздействовать на скорость роста молоди и выживаемость. Тогда воздействие динамики растворенных биогенов целесообразно описать через возникающее отклонение в темпах размерного развития молоди. Замедленное развитие поколения молоди в свою очередь опосредованно действует на скорость убыли численности поколения, или в альтернативном способе формализации удлиняет интервал уязвимости $[0, T_1]$, $T_1 > T$. Необходимо модифицировать базовую систему дифференциальных уравнений убыли численности поколения с учетом воздействия колебаний факторов среды для ситуации низкой эффективности выращивания в непроточном водоеме молоди рыб с целью последующей её интродукции. Изначально базовая модель (1) описания убыли численности от $N(0)$ в виде системы двух уравнений на отрезке времени составляющим интервал уязвимости $t \in [0, T]$ до момента $R = N(T)$ с начальными условиями уравнений $N(0) = \lambda S$, $w(0) = w_0$, $k \in [1/2, 2/3]$

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt} = -(\alpha w(t)N(t) + \theta(S)\beta)N(t), \\ \frac{dw}{dt} = \frac{g}{N^k(t) + \sigma}, \quad \theta(S) = \frac{1}{1 - e^{-cS}}. \end{cases} \quad (1)$$

была дополнена вспомогательным параметром индивидуального развития поколения $w(t)$, отражающим и изменения пищевых потребностей по мере развития особей, модифицируем альтернативным образом. $\theta(S)$ – триггерный функционал действия эффекта Олли $\lim_{S \rightarrow \infty} \theta(S) = 1$, который в следующей работе мы планируем дополнить стохастической составляющей. Разделенные компенсационные α -факторы и декомпенсационные β -факторы убыли численности тогда предполагались регулируемыми в зависимости от различных явлений.

Множество решений задач Коши для всех допустимых $S \in Z^+$ определит интересующую нас зависимость ψ от исходного запаса S . Применяя получаемое в вычислительной среде ре-

шение задачи Коши (1) в виде оператора эволюции функциональной итерации $R_{n+1} = \psi(R_n)$ удалось нарушить критерий возникновения каскада бесконечных удвоений периода цикла $p = 2^i, i \rightarrow \infty$, сохранив единственный экстремум зависимости $R_m = \max \psi(S)$. Методом получено необходимое для биосистем свойство бистабильности точек траектории $\left\{ \psi^n(x_0) \right\}_{n=0}^{\infty}$, что для областей $\Omega_1, \Omega_2 \in \mathfrak{R}^+$ и точки $R_1 \notin \Omega_1 \cup \Omega_2$, $(\Omega_1 \cap \Omega_2) = \emptyset$ выполняется

$$\begin{aligned} \forall x \in \Omega_1 \subset \mathfrak{R}^+ : \lim_{n \rightarrow \infty} \psi^n(x) = 0, \forall y \in \Omega_2 \subset \mathfrak{R}^+ : \\ : \lim_{n \rightarrow \infty} \psi^n(y) = R^*, \partial_{\mathfrak{R}} \Omega_1 \equiv \partial_{\mathfrak{R}} \Omega_2 = R_1 < R^*. \end{aligned}$$

Исследовалась в (1) потеря устойчивости стационарных точек, как для критического случая $|\psi'(R^*)| = -1$, так и для $|\psi'(R^*)| = 1$, влекущего образование циклов порядка Шарковского: $\psi^{n+p}(R^*) = \psi(R^*)$, $p \neq 2^i, i = 1 \dots \infty$ после появления касательных бифуркаций у дискретной составляющей траектории гибридной динамической системы, включающей событийную составляющую моментов $\{\tau_1, \dots, \tau_i\} \in t$ в онтогенезе рыб. Гибридное время \mathfrak{G} формируется в виде набора упорядоченных интервалов, где вводится компонента событийности для фиксации изменений непрерывного процесса

$$\mathfrak{G} = \bigcup_n \{L_{gap}, [t_{n-1}, t_n], R_{gap}\}. \quad (2)$$

где L_{gap}, R_{gap} – правая и левая «временная щель» для выделения событий с мгновенной длительностью. Так как исследуются метаморфозы дискретной составляющей траектории, то подход позволит координировать расчеты на конце интервала времени до начала нерестового цикла с пошаговой структурой сегментированного блока биогенных элементов.

Агрегированная модель выживаемости молоди

В рассматриваемой задаче существуют признаки сценария, в котором показатель скорости развития способен получить более значимую роль, ранее мы уже описали фактор взаимодействия внутри группы. В рассматриваемом случае существуют факты, которые трудно объяснить иначе как существенным отклонением от гидрохимического оптимума развития молоди, по мере наращивания объемов молоди органика осаждалась в отложениях. Неиз-

бежно происходят изменения трофического статуса использовавшихся водоемов, что осложняется условиями неоптимальной повышенной температуры. Накопление избыточной органики в илистом слое процесс медленный, но как часто бывает вялотекущее нарастание негативных факторов сложнее обнаружить и своевременно предотвратить, как это отмечено нами ранее для сценария стремительного коллапса запасов трески спустя 15 лет после перелома. Отмечалось ихтиологами [6], что процент промыслового возврата при небольших объемах выпуска заводской молоди на естественной кормовой базе в 1970 г. был значительно выше, чем при массовой интродукции в 1980-е гг. В итоге из-за действия целой совокупности прямых и опосредованных факторов эффективность искусственной интродукции осетровых оказалась значительно меньше ожидаемой по планам рыбного хозяйства [7].

Положим, что в естественной среде есть оптимальная скорость развития, тогда как отклонения, вызываемые неблагоприятной трофической обстановкой, не способствуют выживаемости. Помимо конкуренции внутри группы на развитие оказывают влияние темпы восстановления кормовой базы и обеспеченность кислородом, напрямую зависящие от текущего динамики содержания биогенных элементов. Эталонные темпы мы зададим, взяв за основу известное уравнение Бергаланфи, где указан общий баланс для соотношения эффективности анаболизма η и катаболизма ϑ

$$\frac{dW}{dt} = \eta \sqrt[3]{W^\zeta(t)} - \vartheta W^\sigma(t) \quad (3).$$

Для вычислительных исследований (3) предоставляет достаточную вариативность. (3) используется обычно в частном решении, случае $\sigma = 1$. Для рыб считают $\zeta = 2$

$$W_t = \left(\eta / \vartheta - \left(\eta / \vartheta - \sqrt[3]{W_0} \right) e^{-\vartheta t/3} \right)^3.$$

Описание прироста одной зависимостью накопления и распада биомассы на протяжении всего жизненного цикла вряд ли биологически обосновано, потому для ранних стадий онтогенеза молоди мы можем варьировать показатели, и σ может отличаться от единицы. Будем считать (3) идеальной моделью, с которой реально сравнивать вариации. Прежде

всего, интересно рассмотреть влияние конкуренции внутри группы согласно теории «запас-пополнение» Рикера [8] на динамику индивидуального развития в контексте отклонения гидрохимической обстановки среды от оптимального диапазона. Внесем влияние, оказываемое плотностью скопления и динамикой биогенов на показатели эффективности анаболизма

$$\frac{dw}{dt} = \frac{\eta}{\xi v_1(NVV)v_2(PVV)} \sqrt[3]{w^\zeta(t)} - \vartheta w^\sigma(t), \quad (4)$$

где давление конкуренции за пищевые ресурсы в группе мы отразим функциями, и где будет учтено усиление конкуренции при неблагоприятной обстановке

$$v_1(x) = \frac{x}{z_1 \exp(-bx(Ye^{-px} + 1))},$$

$$v_2(x) = \frac{x}{z_2 \exp(-bx(Y_1e^{-px} + jxN(0)))}.$$

Значения, соответствующие минимумам $v_1(NVV)$, $v_2(PVV)$ будут считаться оптимальными. Существуют противоречивые результаты исследований об ускорении темпов развития и увеличении сопутствующих морфометрических характеристик при малой плотности молоди волжской севрюги в выростных водоемах, успех питания связан с групповым поведением.

Включим показатель отклонения от идеального развития в виде, заведомо не меняющей знак слагаемого в правой части

$$\Delta_{Wt} = \sqrt{(W(t) - w(t))^2},$$

модифицировав первое уравнение убыли, представленной в инструментальной среде моделирования в форме гибридной системы

$$\frac{dN}{dt} = -(\alpha \Delta_{Wt} N(t) + \beta \Psi(S)) N(t). \quad (5)$$

где триггерную функцию, отражающую действие эффекта Олли на эффективность нереста с необходимым свойством ограниченного действия $\lim_{S \rightarrow \infty} \Psi(S) = 1$ определим так $\Psi(S) = 1 + \exp(-\kappa S^2)$. Базовую систему уравнений (2) можно расширить в форме динамически перепределяемой вычислительной структуры на интервалах, соответствующим эколого-физиологическим стадиям развития молоди, как показано нами в [9].

Рассмотренный ранее вариант модификации структуры с динамическим переопределением темпов размерного развития второго уравнения в (2) тремя разными уравнениями выглядит мало обоснованным для модельных сценариев оценки эффективности искусственного воспроизводства рыб, скорее подходит для особенностей онтогенеза насекомых-вредителей. Альтернативный способ формализации давления чрезмерной концентрации биогенов через влияние непостоянства интервала $t \in [0, T = f(PVV) \circ f_1(NVV)]$ более сложно реализуем при вычислениях моментов t_n с плавающей границей временных кадров.

Заключение

Таким образом, сформирован блок динамики биогенных элементов и опосредованно через показатель темпов развития отразили в итоговой выживаемости поколения при прохождении интервала уязвимости в онтогенезе рыб влияние общего накопления органического фосфора и азота. Разработанная вычислительная модель не относится к наиболее общему типу феноменологических популяционных моделей, как классические уравнения математической биологии Ферхюльста или Вольтерра, асимптотика которых не зависела от начальных условий. Расширения базовой модели предназначены для вариативного сценарного исследования эволюции некоторого исходного экологического состояния, задаваемого набором основных важнейших характеристик репродуктивного процесса и внешних воздействий, такого как промысловое изъятие. Действие

промысла на популяцию задается при переопределении начальных условий (1), что происходит изъятие некоторой доли запаса h , соответственно начальные условия для уравнения убыли $N_{n+1}(0) = \lambda(1-h)N_n(T)$. Интересно исследовать развитие состояний, приводящих к длительным нестационарным режимам в динамике моделируемой биосистемы, как например долговременное воздействие масштабной интродукции, выращенной в искусственных условиях молоди осетровых рыб. Основным аспектом в развиваемом сценарном подходе к исследованию переопределяемых вычислительных структур является понятие о ситуации и наиболее вероятных путях ее развития – трендах, предполагающих парный сравнительный анализ. Сценарий с повышением степени влияния двух основных биогенных элементов при их избытке относится к медленно проявляющимся трендам. Процесс перехода к эвтрофному состоянию иллюстрируется известным эффектом «лягушки в кипятке», когда медленное нарастание негативного фактора оказывается не очевидным для наблюдателя и не происходит своевременной реакции. Примером служит запоздалое решение о запрете коммерческого промысла осетровых видов Каспия [10]. Если межсезонное изменение гидрохимических показателей составляет единичные проценты, то их могут относить к погрешности метода и считают условия размножения постоянными, тогда как медленный негативный тренд биогенной нагрузки может вдруг резко проявить себя при сильном повышении температуры.

Литература

1. **Переварюха, А. Ю.** Граничный кризис аттрактора в моделировании причин деградации промысловых биоресурсов // Системный анализ и прикладная информатика. 2015. № 3. С. 4–8.
2. **Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Smith, V. H.** Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen // Ecological Applications. 1998. Vol. 8. P. 559–568.
3. **Михайлов, В. В., Марлей, В. Е., Быков, Я. И.** и др. Моделирование экосистемы озера Чао. // Экологическая химия. 2002. Т. 11, Вып. 3. С.180–195.
4. **Vinberg, G. G.** Energy flow in aquatic ecological system // Polskie Archiwum Hydrobiologii. 1970. Vol. 17. №1. P. 11–19.
5. **Hakanson, L., Boulion, V. V.** Regularities in primary production, Secchi depth and fish yield and new system to define trophic and humic state indices for lake ecosystems // Internat. Rev. Hydrobiol. 2001. Vol. 86. P. 23–62.
6. **Khodorevskaya, R. P., Kalmykov, V. A.** Formation of populations of Acipenseridae sturgeons in the Volga-Caspian basin // Journal of Ichthyology, 2014, Vol. 54, Iss. 8, P. 576–583.
7. **Veshchev, P. V., Guteneva, G. I.** Efficiency of natural reproduction of sturgeons in the Lower Volga under current conditions // Russian Journal of Ecology. 2012. Vol. 43. № 2. P. 142–147.
8. **Ricker, W.** Stock and recruitment // Journal Fisheries research board of Canada. 1954. № 11. С. 559–623.

9. **Переварюха, А. Ю.** О методике моделирования онтогенетических изменений в жизненном цикле рыб и насекомых // Системный анализ и прикладная информатика. 2017. № 1. С. 12–23.

10. **Ascher, W., Mirovitskaya, N.** The Caspian Sea: A Quest for Environmental Security. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000. 364 pp.

References

1. **Perevaryukha, A. Y.** The boundary crisis of attractor in modeling the causes of degradation of commercial bioresources // System analysis and applied informatics, 2015, № 3, P. 4–8.

2. **Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Smith, V. H.** Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen // Ecological Applications, 1998, Vol. 8, P. 559–568.

3. **Mikhailov, V. V., Marley, V. E., Bykov, Y. I.** et al. Modeling of Chao Lake ecosystem. // Ecological chemistry. 2002. T.11, Iss. 3. P.180-195.

4. **Vinberg, G. G.** Energy flow in aquatic ecological system // Polskie Archiwum Hydrobiologii. 1970. Vol. 17. №1. P. 11–19.

5. **Hakanson, L., Boulion, V. V.** Regularities in primary production, Secchi depth and fish yield and new system to define trophic and humic state indices for lake ecosystems // Internat. Rev. Hydrobiol. 2001. Vol. 86. P. 23–62.

6. **Khodorevskaya, R. P., Kalmykov, V. A.** Formation of populations of Acipenseridae sturgeons in the Volga-Caspian basin // Journal of Ichthyology, 2014, Vol. 54, Iss. 8, P. 576–583.

7. **Veshchev, P. V., Guteneva, G. I.** Efficiency of natural reproduction of sturgeons in the Lower Volga under current conditions // Russian Journal of Ecology, 2012, Vol. 43, № 2, P. 142–147.

8. **Ricker, W.** Stock and recruitment // J. Fisheries research board of Canada, 1954, №.11, P. 559–623.

9. **Perevaryukha, A. Y.** On the technique of modeling ontogenetic changes in fish and insects lifecycle // System analysis and applied informatics, 2017, № 1, P. 12–23.

10. **Ascher, W., Mirovitskaya, N.** The Caspian Sea: A Quest for Environmental Security. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000. 364 pp.

Поступила
23.04.2017

После доработки
16.05.2017

Принята к печати
10.06.2017

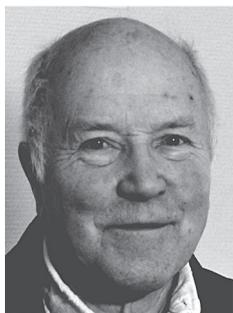
Michailov V. V., Perevaryukha A. Yu.

SIMULATION SCENARIO OF INTRODUCTION OF FISH WHITEBAIT WITH THE ACCOUNT OF BIOGENIC ELEMENTS DYNAMICS

St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of RAS (SPIIRAS)

The article discusses the expansion of the previously formulated approach to modeling aspects of the reproductive cycle, taking into account the changes in the habitat and metamorphosis in the development of fish. Excessive accumulation of nutrients with prolonged use of a reservoir for artificial growth of juveniles or accelerated decomposition of organic nitrogen and phosphorus may in some cases affect the success of the reproductive process. This creates an indirect effect on long-term trends in population dynamics. In some cases, the increase in the influx of organic phosphorus further leads to a state of eutrophication and may affect the insufficient aeration of breeding sites, leading to hypoxia for hatched larvae. Even worsen the situation with the consumption of oxygen in the water at the mass destruction of eggs. Lack of organic matter leads to insufficient development of planktonic organisms for optimal growth of fishes. The system of survivability equations for calculation competing individuals of the generation is supplemented by a functional extension using an iterative model of biogenic elements dynamics, based on the analysis of processes in the ecosystem of Lake Chao. The block of the model for calculating the inflow and destruction of organic matter is synchronized with a continuous-discrete computational structure that takes into account the interrelated changes in mortality factors and the rate of development of juvenile fish during transitions between generalized ecological and physiological stages of development.

Keywords: *models of populations, eutrophication, trophodynamics of aquatic environment, nutrients accumulation, reproductive efficiency, predicatively redefined structures, stages of ontogeny.*



Михайлов Владимир Валентинович

В 1957 г. окончил Ленинградский электротехнический институт им. Ленина. В 1998 г. защитил в Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации РАН докторскую диссертацию по тематике «Автоматизация моделирования экологических комплексов с использованием матричных алгоритмических сетей». Профессор, в.н.с. лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании СПИИРАН. Опубликовал более 180 научных и учебно-методических работ по тематике моделирования экологических процессов в водных экосистемах и существованию популяций в условиях Крайнего Севера.

Руководитель проекта РФФИ № 15-07-01230. E-mail: mwwcari@mail.ru

Michailov V. Vladimir

In 1957 graduated from the Leningrad Electrotechnical Institute. In 1998 defended his doctoral dissertation on the topic “Automation of modeling ecological complexes using matrix algorithmic networks” at the St. Petersburg Institute of Informatics and Automation of RAS. Professor, Senior Researcher Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Simulation of SPIIRAS. He published over 180 scientific and educational-methodical works on modeling of ecological processes in aquatic ecosystems and the existence of populations in the Far North. Project Manager of the RFBR No. 15-07-01230.



Переварюха Андрей Юрьевич

Окончил Астраханский государственный технический университет по специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления» с дипломным проектом «Справочно-информационная система анализа данных экологического мониторинга состояния Каспийского бассейна». В Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации РАН защитил диссертацию «Анализ динамики возобновляемых биоресурсов с использованием комплекса гибридных моделей». Кандидат технических наук по специальности «Системный анализ». Старший научный сотрудник лаборатории Прикладной информатики СПИИРАН. Опубликовал 59 научных работ о моделях нелинейных явлений в биологических процессах, сценариям коллапсов промысловых запасов рыб и вспышкам численности насекомых. E-mail: madelf@pisem.net

Perevaryukha Yu. Andrey

Graduated from the Astrakhan State Technical University as an engineer in “Automated Information Processing and control” with the thesis project “Reference and information of environmental monitoring data analysis system of the Caspian Sea status.” In St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of RAS defended dissertation “Analysis of the dynamics of renewable bioresources by using a complex of a hybrid models.” Candidate of Technical Sciences in the specialty “System analysis”. Senior Researcher of Laboratory of Applied Informatics.

Published 59 scientific papers on the modeling of nonlinear phenomena in biological processes, scenarios of population dynamics of fish and insects.

Работа по проекту Российского фонда фундаментальных исследований: № 15-07-01230.

**УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНИЧЕСКИМИ
ОБЪЕКТАМИ**

**MANAGEMENT OF
TECHNICAL OBJECTS**

IMAD A. ELZEIN, YURY N. PETRENKO

AN EVALUATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS MPPT TECHNIQUES UNDER THE CHARACTERISTICS OF OPERATIONAL CONDITIONS

Belarusian National Technical University

In this article an extended literature surveying review is launched on a set of comparative studies of maximum power point tracking (MPPT) techniques. Different MPPT methods are addressed with an ultimate aim of how to be maximizing the PV system output power by tracking P_{max} in a set of different operational circumstances. In this paper maximum power point tracking, MPPT techniques are reviewed on basis of different parameters related to the design simplicity and/or complexity, implementation, hardware required, and other related aspects.

he technology of solar systems has been booming for a while due to its ability to replace current fossil fuels like coal and gas for generation of electricity that produce air, water, and land pollution. In addition it decreased the issue of global warming and climate changes substantially due to being produced in a clean environmental manner and was proved to be an Eco-friendly resource of energy. The photovoltaic systems' manufacturing process has been improving continuously over the last decade and photovoltaic systems have become an interesting solution. Precisely, PV systems are constituted from arrays of photovoltaic cells, choppers (mainly buck-boost or boost DC/DC converter), MPPT control systems and storage devices and/or grid connections. To improve the efficiency of such systems, various studies have been performed. The demand of PV generation systems seems to be increased for both standalone and grid-connected modes of PV systems. Therefore, an efficient maximum power point tracking (MPPT) technique is necessary to initialize the process of tracking the maximum power point MPP at all environmental conditions and then force the PV system to operate at that MPP point.

Keywords: *Photovoltaic System. digital control, maximum power point tracking, simulation.*

Introduction

PV module is made up of several solar cells. Operating point of solar cells depends on varying factors such as irradiation, temperature, spectral characteristics of sunlight and so on. Environmental conditions like cloudy weather and ambient temperature can change the output power from PV panel [1.2.3.4]. Also the generated power from PV system is non-linear and fluctuates depending on the mentioned factors and do not have constant desirable efficiency [5]. The PV arrays have unique operating point that is capable of delivering the maximum power, which is called the Maximum Power Point (MPP). The locus of this point has a non-linear variation with solar irradiance and the cell temperature. So we are in an urge to increase the efficiency of the solar power. Improving the conversion efficiency of the solar panel, the automatic tracking system, the scientific storage battery charging technology and the MPPT solar technology are the methods to increase the efficiency [6]. For the operation of the

PV array at its MPP, the PV system must contain a MPP Tracking (MPPT) controller.

MPPT control is obligated for identifying maximum power from PV array and to utilize it so that it yields better efficiency [7]. Improving the tracking of the maximum power point (MPP) with new control technique is easy to be achieved based on the multi algorithms available to us and can be executed to PV plants, which are upgrading their control technique thus expanding the PV power generation.

The main task of this article is to offer an evaluation of MPPT techniques and provides an alternative spectrum of selection choices for those who are interested in the implementation of these algorithms in the control techniques of MPPT and thus using a proper MPPT technique will have the effect of reducing the solar array cost through the extraction of the desired output power.

Analysis of PV System

The characteristic of Photovoltaic system has been touched based and developed in various

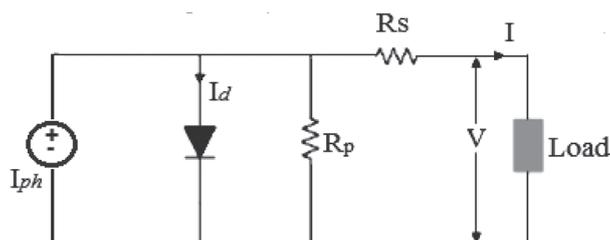


Fig. 1. A PV module equivalent model

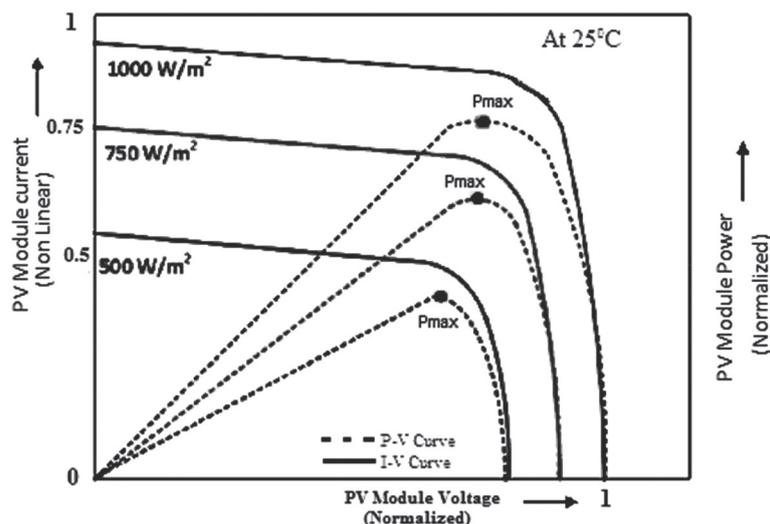


Fig. 2. PV array Characteristic with respect to irradiance

models. As a general example, the single diode model was so popular in this regard. An equivalent circuit of a simple PV module is shown in fig. 1. This PV module consists of current source connected in parallel with a diode. The current source is denoted by I_{ph} and it represents the current generated by photons. Whereas R_s and R_p are the equivalent series and parallel resistances of the module respectively [8]

To further analyze the PV system we may incorporate the following mathematical formulas as follows:

The output current I of this module can be formulated using Kirchhoff Current Law «KCL» where, I will be equal to

$$I = I_{ph} - I_d - \frac{V_d}{R_p}, \quad (1)$$

Where I_d = diode current and V_d = Diode voltage. The diode current will be equal to

$$\text{Diode current} = I_d = I_o \left(e^{\frac{V_d}{aV_t}} - 1 \right), \quad (2)$$

Where, a = Ideal factor; I_o = Reverse saturation current; V_t = Thermal voltage

Thermal voltage is equal to

$$V_t = N_s K T / q, \quad (3)$$

Where; N_s = Number of cells in series; k = Boltzmann constant; T = Cell temperature in Kelvin; and q = Electron charge.

The changes of MPP with respect to the irradiance and temperature are shown below in fig. 2 and fig. 3. The maximum power point (P_{max}) is the spot near the knee of the P V curve at which the product of current and voltage achieves its maximum [9–10–11]

As shown in the figures, MPP is detected at each level and it could vary and shift on curves as irradiation and cell temperature changes. When irradiation drops, current drops in direct proportion, and reduces the voltage. As the cell temperature increases, voltage diminishes generously while the short circuit current increments marginally. When the PV array is directly coupled to the load, the operating point is determined by the crossing point between the loads I–V curve and PV I–V curve [12]. Thus variation in load causes a change in the operating point. When temperature and solar irradiation changes the operating point may change. The MPPT is used to controlling the PV

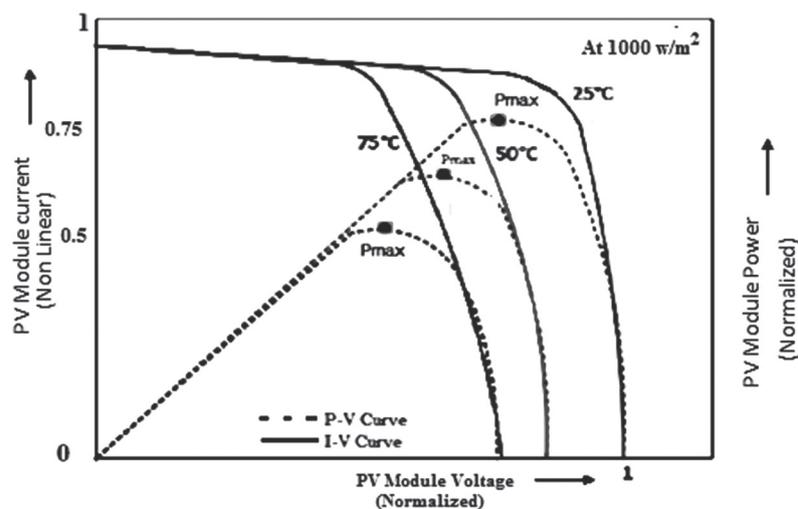


Fig. 3. PV array Characteristic with respect to temperature

array's voltage and current independently. However the MPP location in the plane of the curves is unknown and must be tracked.

As a result to seek the appropriate MPP a certain tracker should be implemented between the PV system and the load. One of the most essential parameters that we need to look at for example would be performance and fast response. The changes and variation in the irradiance and temperature due to the environmental factors should be compensated through a controller which eventually will be responsible to track the MPP. An overview of the most well known methodologies used in MPPT techniques will be discussed through the rest of this paper.

Evaluation of MPPT Techniques

According to the literature multiple tracking methods of MPPT are available to researchers and some are being constantly explored according to [13–14]. Since the research area of MPPT is highly enriched with many types of well developed algorithms [14–15] we can make an emphasis on a narrow chunk of the commonly used techniques that are shown below:

- Constant Voltage (CV) Method [6, 16].
- Incremental Conductance (IC) Methods [10, 17].
- Perturb and Observe (P&Oa and P&Ob) Methods [2, 6, 18].

The above techniques are very popular and we shall commence to further analyzing some of their functional work along with showing how their algorithms are employed. {this is really I Did not Find}

Constant Voltage (CV) Method

Constant Voltage (CV) Method principle is designed to be uncomplicated where the PV is supplied using a constant voltage. The two important factors, the temperature and Solar irradiance influences are not considered (neglected). Where the reference voltage «Vref» is acquired from the MPP of the P (i) characteristic directly.

We'll consider MPP voltage to be equal to 16.3V for the PV. The Constant Voltage «CV» method needs to have the measurement of the PV voltage only.

A 1 kHz frequency is used for the purpose of evaluation of the Matlab embedded function. In nutshell CV Method is not an effective technique due to missing solar irradiance impact and temperature's influence, and thus it will require further enhancements by incorporating the Open Voltage, «OV» and temperature methods.

Incremental Conductance (IC) Methods

Incremental Conductance focuses on the observation of P-V characteristic curve. The design of this algorithm was intended to serve in overcoming the negative aspects of P&O algorithm.

IC tries to improve the tracking time and to produce more energy on a vast irradiation changes environment [2].

MPP can be derived to be calculated by utilizing the relation between dI/dV and $-I/V$.

dP/dV is zero at the point of maximum power. If dP/dV is negative then MPPT lies on the right side of recent position and if the MPP is positive the MPPT is on left side [2]. The equation of Incremental Conductance method is

$$\frac{dp}{dv} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV}, \quad (4)$$

MPP is reached when $dP/dV = 0$ and

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V}, \quad (5)$$

$$\frac{dP}{dV} > 0 \text{ then } V_p < V_{\text{mpp}}, \quad (6)$$

$$\frac{dP}{dV} = 0 \text{ then } V_p = V_{\text{mpp}}, \quad (7)$$

$$\frac{dP}{dV} < 0 \text{ then } V_p > V_{\text{mpp}}, \quad (8)$$

IC methods can locate MPP, reduce power loss and system cost. Note that the main disadvantage of the IC method is related to the tracking time which is relatively slow and not being fast and this is due to the voltage adjustment factor (selection of decreasing and increasing it is running through a trial and error).

Perturb and Observe (P&O) Method

P&O is one of the most popular and used algorithms for MPPT. It searches for the MPP by changing the PV voltage or current and detecting the change in PV power output. The functioning is based on perturbing the voltage and the current of the PV regularly, and then, in comparing the new power measure with the previous to decide the next variation.

P&O can have issues at low irradiance that result in oscillation. There can also be issues when there are fast changes in the irradiance which can result in initially choosing the wrong direction of search.

The P&O algorithm can be shown in the following diagram.

Let's say that, after performing an increase in the panel operating voltage, the algorithm compares the current power reading with the previous one.

If the power has increased, it keeps the same direction (increase voltage), otherwise it changes direction (decrease voltage). This process is repeated at each MPP tracking step until the MPP is reached.

After getting the MPP, the algorithm would in a natural way oscillates around the correct value. It uses a fixed step to increase or decrease voltage. However, the size of the step determines the

size of the deviation while oscillating about the MPP.

As an important note; having a smaller step will help reduce the oscillation, but will slow down tracking, while on the other hand having a bigger step will help reach MPP faster, but will increase power loss when it oscillates.

A comparison of the well known techniques and discussion of efficiency

Among all the MPPT methods, Perturb & Observe (P&O) and Incremental Conductance (IC) are most commonly used because of their simple implementation and lesser time to track the maximum power point.

Under the sudden changes of irradiation level as MPP changes continuously, P&O takes it as a change in MPP due to perturbation rather than that of irradiation and sometimes ends up in calculating wrong MPP [4]. However this problem is eliminated in Incremental Conductance method as the algorithm takes two samples of voltage and current to compute MPP [4]. Furthermore, instead of more efficiency, the complexity of the algorithm is very high and hence the cost of execution increases.

The efficiency of the system would rely mainly on the converter. As a matter of fact, it is for a buck analysis it is rated at the maximum, and after that in buck-boost analysis and considered to be at the minimum for a boost analysis.

A high efficiency is required at stationary and time varying atmospheric conditions.

To obtain a reasonable performance in PV one can select hybrid techniques, which as well can have less fluctuation for swift temperature and irradiance fluctuations, provide fast responses, with an ability to get no overshoot.

MPPT Accuracy, Error, and Efficiency

In many studies it was evident that MPPT gain is large, however, the system needs to take into consideration the efficiency losses of DC-DC converters. In conventional hard-switched power converters, the overlap of current and voltage is large during switching, resulting in significant power loss, especially at high frequencies. Soft switched resonant converter topologies providing zero voltage switching (ZVS) or zero current switching (ZCS) can greatly reduce loss at the switching transitions, enabling high efficiency at high frequencies.

There are many features that combat efficiency loss, such as control-architecture options and component integration, can be selected. For example, to employ several loss-minimizing features, including synchronous rectification, integrated low-resistance MOSFETs, low quiescent-current consumption, and pulse-skipping control architecture.

Moreover, MPPT halts its main operation if the load does not have the ability to consume all the power delivered resulting in tradeoff between efficiency and the cost.

Standalone or grid connected PV systems can get the maximum profit provided having a collective scale if MPPT efficiency needs to be improved through the following

$$\eta_{\text{MPPT}} = \frac{P_{\text{PV}}}{P_{\text{MPP}}} \times 100, \quad (9)$$

Where:

P_{PV} : Power produced at output of PV Panel.

P_{MPP} : Power produced at MPP.

During assessing MPPT method the maximum possible power that could be extracted from the panel $P_{\text{max}}(t) = I_{\text{mp}}(t) V_{\text{mp}}(t)$ has to be calculated in every instant, t . Then, the efficiency of the method can be estimated with the following expression

$$\eta_{\text{MPPT}} = \frac{\int_0^{T_t} P_{\text{mppt}}(t) d\tau}{\int_0^{T_t} P_{\text{max}}(t) d\tau}, \quad (10)$$

Where:

$P_{\text{mppt}}(t)$ is instantaneous power obtained from the panel using the selected MPPT method.

T_t is the total period of time in which the aforementioned MPPT method is evaluated.

We have to stress out that the static and dynamic factors are affecting MPPT behavior and those would include:

a) Power (irradiance level).

b) Voltage (temperature; layout including well- or mismatched PV and MPPT voltage ranges).

c) Fluctuations (clouds).

d) PV technology (I-V curve shape).

e) Need (battery state of charge, in case of charge controller with MPPT).

Three important parameters are addressed to describe how good the MPPT performs. Those are functions of time (even under static conditions, due to MPPT search movements) and of additional parameters.

i) *Accuracy*.

Whether it is static or dynamic would indicate how close to MPP the MPPT operates the PV array and can be defined as a percentage of I_{max} , V_{max} , or P_{max}

$$a_{\text{MPPT}(X)} = X/X_{\text{max}} \text{ where; } X = I, V, \text{ or } P, \quad (11)$$

ii) *Efficiency*.

It indicates the ratio of actual to available PV array power (a particular case of accuracy) or energy

$$\eta_{\text{MPPT}(P)} = P/P_{\text{max}} \text{ and } \eta_{\text{MPPT}(E)} = E/E_{\text{max}}, \quad (12)$$

iii) *Error*.

Whether it is static or dynamic it indicates the absolute or relative difference between actual and MPP values of voltage, current or power

$$\epsilon_{\text{MPPT}(x)} = X - X_{\text{max}} \text{ (absolute)}, \quad (13)$$

$$\text{Or } = X/X_{\text{max}} - 1 \text{ (relative)}, \quad (14)$$

Where: $X = I, V, \text{ or } P$.

Comparison of known Techniques

The below table (table 1) is listing some of the well known techniques and their characteristics.

PV system configuration

The incorporated MATLAB/SIMULINK model for PV system is displayed and shown in Fig.4;

Table 1. Comparison of well known MPPT technique algorithm

MPPT Technique	PV array dependent?	True MPPT?	Analog or digital?	Periodic tuning	Implementation complexity	Sensed parameter
Hill Climbing/P&O	No	Yes	Both	No	Low	Voltage, Current
Incremental Cond.	No	Yes	Digital	No	Medium	Voltage, Current
Voc	Yes	No	Both	Yes	Low	Voltage
Isc	Yes	No	Both	Yes	Medium	Current
Fuzzy Logic Control	Yes	Yes	Digital	Yes	High	Varies
dp/dv or dp/dI Feedback Control	No	Yes	Digital	No	Medium	Voltage, current
IMPP and VMPP computation	Yes	Yes	Digital	Yes	Medium	Irradiance, Temperature

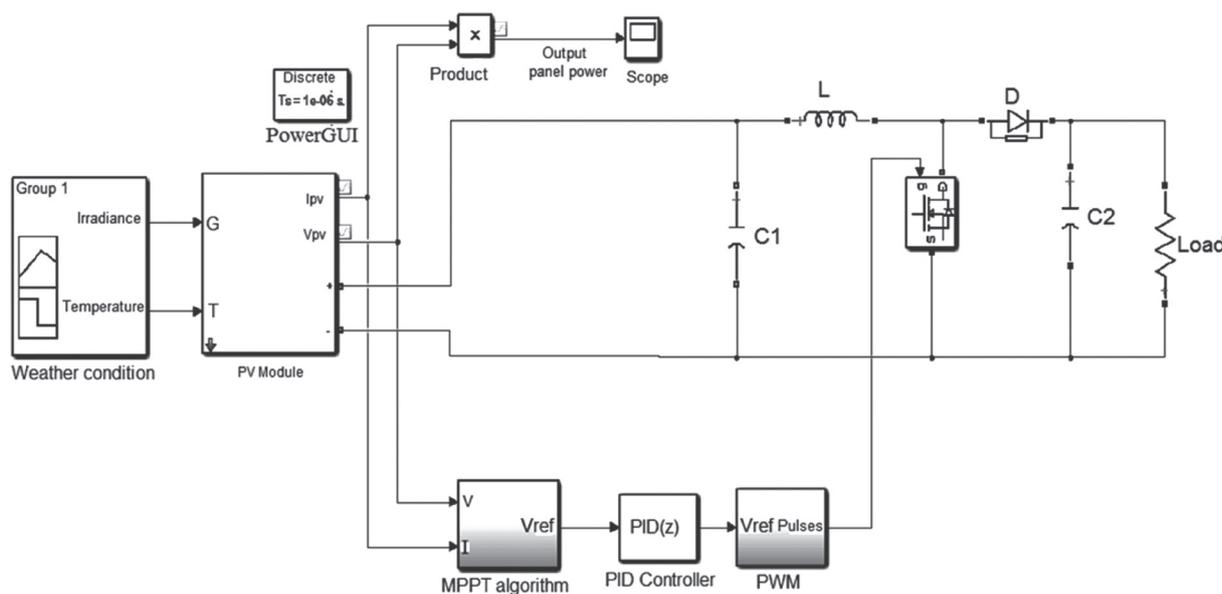


Fig. 4. PV system configuration

The system that was modeled consists of PV panel developmental model, a step up DC-DC converter, and eventually a specific load.

In addition, extra roles are addressed to continue our PV modeling configuration where we added an MPPT algorithm which is implemented by Simulink blocks, PID controller and eventually a PWM to derive the converter.

The DC/DC boost converter is designed in a way where a dc link maintains an approximately constant voltage of 30 V at the output of the converter.

Table 2 shows the parameters of the DC/DC boost converter.

Table 2. DC-DC boost converter parameters

Parameter	Value
L	50 mH
C1	680 μ F
C2	1640 μ F

The dc voltage transfer function for the boost converter can be written as

$$V_{pv} = V_0(1 - D), \quad (15)$$

Where; V_{pv} : is the voltage across the PV module at any weather condition.

V_0 : is the output voltage of boost converter.

D : is the duty ratio, which serves as a control input.

The controller algorithm adjusts the DC/DC converter duty ratio to track the operating point to the maximum output power delivered from the PV module [18].

To analyze and compare the performance of the MPPT method, we carried out the simulation for two cases. The first case, the temperature is maintained constant (25 °C) and the irradiance decreases from 1000 W/m² to 800 W/m² and then decreases to 600 W/m².

Fig. 8 shows the output power under a set of various irradiances and with/without P&O algorithm, the operating point was close to the MPP during the simulation and the response was very rapid, while with no P&O algorithm the output power was less. In fig. 9 the output power shows under different irradiance with and without incremental conductance algorithm. The second case, the irradiance is maintained constant 1000 W/m² and the temperature increases from (25 °C) to (35 °C) and then increases to (45 °C).

Fig. 10 shows the output power under different irradiance with and without using incremental conductance algorithm whereas Fig. 11 shows output power under different irradiance with and without P&O algorithm.

In order to validate the effectiveness of two MPPT methods, a comparative study is done between P&O and incremental conductance based on PID. The static tracking efficiency of two MPPT methods under different irradiance was simulated. The static MPPT efficiency is given by [2]

$$\eta_{\text{static}} = P_o/P_{\text{max}}. \quad (16)$$

Where; P_o represents the output power of the PV module under steady state

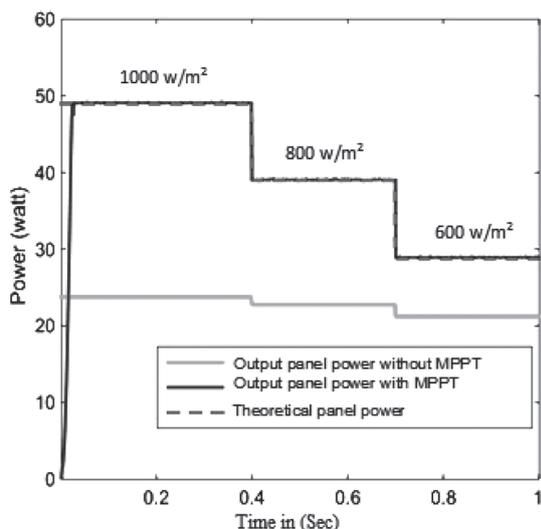


Fig. 5. Output Power under different irradiance using P&O algorithm

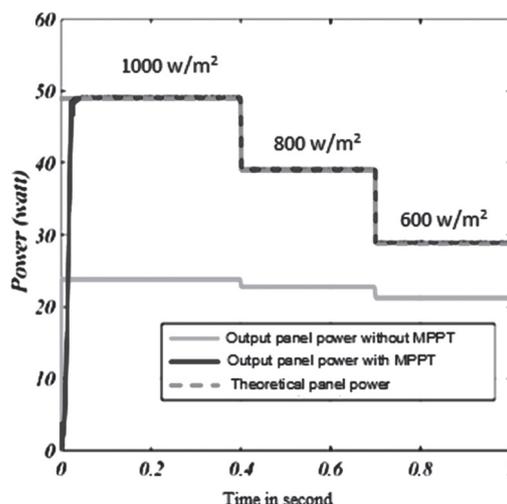


Fig. 6. Output power under different irradiance using IncC algorithm

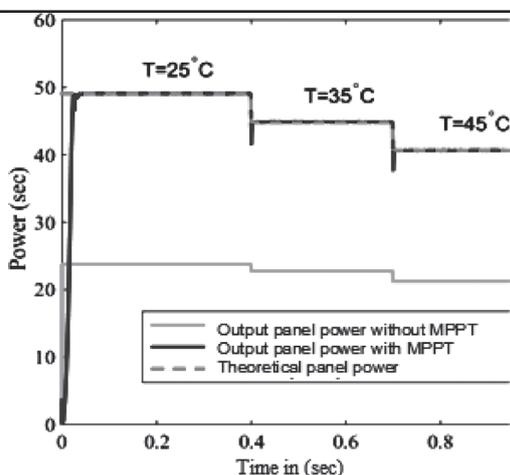


Fig. 7. Output power under different temperature using P&O algorithm

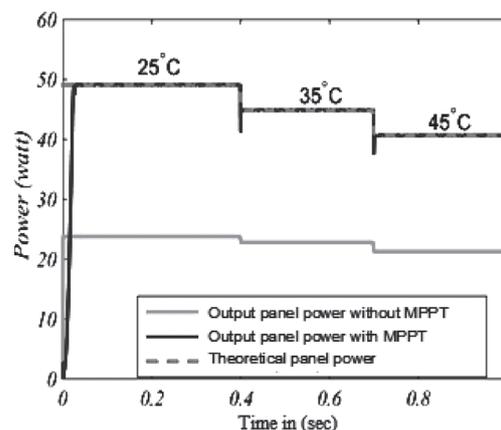


Fig. 8. Output power under different temperature using IncC algorithm

P_{max} is the maximum power of the PV module under certain conditions.

From the results in Table 3 the static tracking efficiency of Incremental Conductance method is higher than Perturb and Observe method.

Table 3. Tracking efficiency of MPPT during irradiance

Irradiance	Tracking efficiency of P&O algorithm	Tracking efficiency of IncCond algorithm
1000 W/m ²	99.85%	99.94%
800 W/m ²	99.82%	99.93%
600 W/m ²	99.80%	99.90%

Conclusion

Photovoltaic systems were briefly introduced in this paper. The various sorts of tracking models have been highlighted and some of

the most common ones were analyzed regarding seeking MPPT. This paper proposed a selective comparison between Perturb & Observe and incremental conductance methods based on PID controllers. A simulation was conducted through the usage of MATLAB/SIMULINK tool. A simulation of the real PV module is constructed to demonstrate the nonlinear characteristic of PV module which would take place due to changing the weather condition (irradiance and temperature). The experimental results show that, Perturb and Observe method and Incremental Conductance method based on PID controller have fast response to reach the MPPT with solar radiation change; however the efficiency of IncCond method was higher than that of P&O method.

References

1. **R. Faranda, S. Leva.** «Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems», WSEAS Trans. on Power Systems, Vol. 3, No.6, June 2008, pp. 446–455.
2. **D. P. Hohm and M. E. Ropp.** «Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms Using an Experimental, Programmable, Maximum Power Point Tracking Test Bed», Proc. Photovoltaic Specialist Conference, 2000, pp. 1699–1702.
3. **T. Esram, J. W. Kimball, P. T. Krein, P. L. Chapman, P. Midya.** «Dynamic maximum power point tracking of photovoltaic arrays using ripple correlation control,» IEEE Trans. Power Electron., vol. 21, no. 5, pp. 1282–1291, Sep. 2006.
4. **J.-A. Jiang, T.-L. Huang, Y.-T. Hsiao, C.-H. Chen.** «Maximum power tracking for photovoltaic power systems» Tamkang J. Sci. Eng., vol. 8, no. 2, pp. 147–153, 2005.
5. **Mutoh N., Ohno M., Inoue T.** A method for MPPT control while Searching for parameters corresponding to weather conditions for PV generation systems. Indus Elect IEEE Transact. 2006; pp. 1055–1065. <http://dx.doi.org/10.1109/TIE.2006.878328>.
6. **Chen QDAJ.** Improving the efficiency of solar photovoltaic power generation in several important ways. In International Technology and Innovation Conference 2009; (ITIC2009). pp. 1–3.
7. **Djamila Rekioua.** EM. Optimization of Photovoltaic Power Systems. 1st ed textbook copy. London: Springer 2012. ISBN: 978-1-4471-2348-4 (Print) 978-1-4471-2403-0 (Online)
8. **Krishnakumar N., Venugopalan R., Rajasekar N.** Bacterial foraging algorithm based parameters timation of solarPV model. In Proceedings of the International Conference on Microelectronics, Communications and Renewable Energy (AICERA/ICMiCR) 2013; pp. 1–6. <http://dx.doi.org/10.1109/aicera-icmicr.2013.6575948>.
9. **T. J. Liang, J. F. Chen, T. C. Mi, Y. C. Kuo, C. A. Cheng.** «Study and implementation of DSP-based photovoltaic energy conversion system», Proc. of the 4th IEEE Int. Conf. on Power Electronics and Drive Systems, Vol. 2, Oct. 2001, pp. 807–810.
10. **R. Faranda, S. Leva.** «Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems», WSEAS Trans. on Power Systems, Vol. 3, No. 6, June 2008, pp. 446–455.
11. **Imad Elzein, Yury N. Petrenko.** Fuzzy Logic Controller Design for Photovoltaic Power Station. Information technologies in education, science and industry: International Scientific Internet Conference, December 4, 2014 Section: Information technology in the production and research [electronic resource], 2014. ISSN: 2310-7405. Proc. <http://rep.bntu.by/handle/data/12197>.
12. **Elzein, I.** Maximum Power Point Tracking System for Photovoltaic Station: a Review. System Analysis and Applied Information Science, No. 3, 2015, pp. 15–20.
13. **I. A. Elzein, Y. N. Petrenko.** A study of maximum power point tracking algorithm for photovoltaic system using a fuzzy logic controller. WIT Transaction on Engineering Sciences, Vol.96, WIT Press, 2014, pp. 409–419.
14. **Md. Tanvir Arafat Khan, S. M. Shahrear Tanzil, Rifat Rehman, S. M. Shafful Alam.** «Design and construction of an Automatic Solar tracking System», ICECE 2010 6TH International Conference on Electrical and Computer Engineering, pp. 326–329, 2010 Dhaka, Bangladesh.
15. **N. Femia, D. Granozio, G. Petrone, G. Spagnuolo, M. Vitelli.** «Optimized one-cycle control in photovoltaic grid connected applications for photovoltaic power generation,» IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. 42, no. 3, pp. 954–972, Jul. 2006.
16. **C. Larbes., S. M. A. Cheikh., T. Obeidi., A. Zerguerras,** «Genetic algorithm optimized fuzzy logic control for the maximum power point tracking in photovoltaic system,» *Renew. Energy*, vol. 34, no. 10, pp. 2093–2100, 2009.
17. **Esram, T., & Chapman, P. L** «Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques,» in: IEEE Transactions on Energy Conversion EC, pp. 439–449 (2007).
18. **Лобатый, А. А., Петренко, Ю. Н., Imad A. Elzein, A. S. Abufanas.** Математическое моделирование гибридных электротехнических систем. Science & Technique, V.15, No4, (2016), pp. 322–328.

Поступила
10.04.2017

После доработки
06.05.2017

Принята к печати
10.06.2017

Imad A. Elzein, Ю. Н. Петренко

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА АЛГОРИТМОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Белорусский национальный технический университет

Приводится расширенный сравнительный анализ методов отслеживания точки максимальной мощности (MPPT). Различные методы MPPT проводятся с окончательной целью того, как максимизировать системную выходную мощность PV, отслеживая P_{max} в ряде различных операционных обстоятельств. В этом отслеживании точки максимальной мощности методы MPPT рассмотрены на основе различных параметров, связанных с простотой проекта или сложностью, реализацией, аппаратные средства, требуемые, и другие связанные аспекты.

Производственный процесс фотоэлектрических систем улучшался постоянно за прошлое десятилетие, и фотоэлектрические системы стали интересным решением. Точно, системы PV составлены от массивов фотогальванических элементов, прерыватели (главным образом, повышение маркера, или повысьте преобразователь DC/DC), системы управления MPPT и устройства хранения и/или соединения с сетью. Чтобы повысить эффективность таких систем, различные исследования были выполнены.

Спрос систем генерации PV, кажется, повышен и на автономные и на соединенные с сеткой режимы систем PV. Поэтому эффективный метод отслеживания точки максимальной мощности (MPPT) необходим, чтобы инициализировать процесс отслеживания MPP точки максимальной мощности во всех условиях окружающей среды и затем вынудить систему PV работать в точке максимальной мощности.

Ключевые слова: фотоэлектрическая станция, цифровое управление, режим максимальной мощности, моделирование



Imad A. Elzein is a computer engineer who pursued his undergraduate and graduate level degrees in computer engineering from Wayne State University, Michigan, USA in 2004. Currently, Imad is an assistant professor and a program coordinator in the Computer Science and IT Department, at the Lebanese International University (Lebanon). Imad has more than 17 years of solid hands-on experience in telecommunication, and networks engineering environments. Imad's research interest is in the fields of Network

Infrastructure, Robotics design, Mobile Telecommunication, and a concentration on Photovoltaic and Renewable Energy.



Yury N. Petrenko, LEEE member, graduated from Metallurgical College (Enakievo, Ukraine), and began working career in 1954 as a steelworker at open-hearth Steel Works Plant in Donetsk; he received the Engineer degree (with honors) in electrical engineering from the Belarusian Polytechnic Institute (now Belarusian National Technical University – BNTU) in 1962 and PhD in 1971. In 1965–66, he was a research fellow at the University of California, Berkeley. Since 1974, he has been an Associate professor (in 1995–2005 professor) at the department of Automatic Control of Electrical Drive Systems of BNTU. In 1972–73 he was a UN (UNIDO) expert in Automation in Sofia (Bulgaria) and Vienna. In 1985 he was honored as inventor of the USSR. In 1980–90th, he was a visiting lecturer and research fellow in Syria (Tishrin University, Latakia and Aleppo University), Czechoslovakia, Lebanon and Cuba. He has been teaching Automatic Control of Electric Drives, Numerical Control Systems and Programmable Logis Controllers.

He is an author, Editor and Co-Author of 7 books, recommended by Ministry of Education for University and College –level engineering education and 2 Monographs (in coop). His main research interests in resent years include data signal processing, new control techniques applied to power electronics and electric drivers.

E-mail: ypetrenko@bntu.by

А. С. АБУФАНАС, А. А. ЛОБАТЫЙ, А. Г. ШВЕДКО

ПОИСКОВЫЙ АЛГОРИТМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Белорусский национальный технический университет

Рассматривается задача параметрической идентификации математической модели технического устройства, в качестве которого рассматривается электропривод системы мониторинга, установленной на беспилотном летательном аппарате. Идентификация параметров элементов сложной технической системы является актуальной научной задачей, так как при разработке новой технической системы для ее синтеза и исследования необходимо иметь математические модели элементов системы.

Предлагается решать задачу путем применения поискового градиентного алгоритма идентификации при заданной целевой функции невязки в виде квадрата разности выходного сигнала идентифицируемого элемента системы и его модели. При решении задачи учитывается случайный характер процессов, происходящих в системе и на выходе измерителя выходного сигнала. Алгоритм идентификации разработан на основе представления модели параметров объекта в виде обыкновенного дифференциального векторно-матричного уравнения, в правой части которого имеется модель задающего воздействия в виде заданной детерминированной функции времени. Представлена общая структурная схема поисковой системы параметрической идентификации с градиентным алгоритмом.

В качестве примера для оценки работоспособности предлагаемого алгоритма рассматривается простейшая модель электропривода, заданная передаточной функцией в виде инерционного звена. Представлены качественные иллюстрации работоспособности предлагаемого алгоритма и количественные характеристики изменения сигналов и параметров идентифицируемого объекта.

Ключевые слова: *идентификация, модель, функция невязки, градиент, поисковый сигнал, настройка параметров.*

Введение

В системах мониторинга объектов, находящихся на земной поверхности, всё более широкое распространение получили беспилотные летательные аппараты (БЛА), предназначенные для решения различных задач, как в интересах народного хозяйства, так и для других организаций и ведомств. Задачи, стоящие перед системой мониторинга земной поверхности, подробно описаны в [1]. Главной составляющей системы мониторинга является установленная на борту БЛА специальная аппаратура. Для обзора земной поверхности в нужном диапазоне волн устанавливается видеокамера или другая система (тепловизионная, радиотехническая), выходной информацией которой является изображение объектов, находящихся на земле. Для управления угловым по-

ложением видеокамеры (или другой аппаратуры) применяется электропривод, изменяющий угловое положение видеокамеры в двух плоскостях относительно корпуса БЛА.

Электропривод системы мониторинга как системы слежения относится к классу позиционных электроприводов [2]. Такой электропривод перемещает рабочий орган из некоторой исходной позиции в некоторую конечную позицию с требуемой точностью остановки в ней. Следует отметить, что электродвигатели постоянного тока с постоянными магнитами имеют существенный недостаток – наличие щеточно-коллекторного узла, не обеспечивающего достаточную надежность привода системы мониторинга в сложных условиях эксплуатации БЛА (резкие перепады температуры, тряска, вибрации и т. п.). Решением является

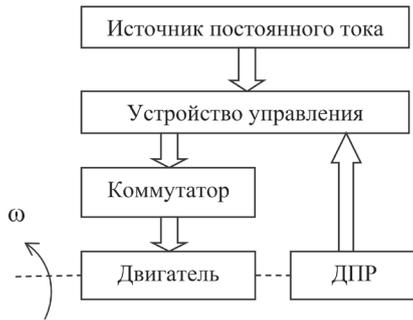


Рис. 1. Функциональная схема электропривода

применение вентильных двигателей, у которых механический коммутатор заменен электронным (полупроводниковым). Простейшая функциональная схема вентильного двигателя представлена на рис. 1, где обозначено: ДПР – датчик положения ротора.

Система дифференциальных уравнений, описывающих такой электропривод имеет вид [3]

$$\dot{\varphi} = \omega, \quad \varphi(t_0) = \varphi_0, \quad (1)$$

$$\dot{\omega} = -\frac{1}{T_d} \omega + \frac{K_d}{T_d} U_{cp}, \quad \omega(t_0) = \omega_0. \quad (2)$$

где φ – угол поворота ротора, ω – угловая скорость вращения ротора, U_{cp} – среднее управляющее напряжение, K_d и T_d – соответственно, обобщенный коэффициент усиления и постоянная времени, зависящие от конструктивных особенностей электродвигателя. В соответствии с (1) – (2) передаточная функция вентильного электродвигателя по управляющему воздействию имеет вид

$$W(p) = \frac{K}{p + a}, \quad (3)$$

где $K = K_d/T_d$, $a = 1/T_d$. Принцип работы таких электроприводов подробно рассмотрен в [2, 3, 4].

Решение задачи идентификации

При создании сложных технических систем разработчики, как правило, стремятся максимально использовать типовые конструктивные элементы, выпускаемые промышленностью серийно, имеющие удовлетворительные технические характеристики и невысокую стоимость. К таким элементам относятся в частности электродвигатели систем мониторинга земной поверхности, установленные на беспилотных летательных аппаратах. изгото-

витель и поставщик электродвигателей, как правило, не приводит математических моделей своей продукции. В то же время наличие адекватных математических моделей элементов сложной системы является необходимым условием для достижения необходимого результата в процессе разработки системы.

Рассмотрим алгоритм параметрической идентификации элемента системы управления для настройки параметров модели, на основе которой производится формирование коэффициентов. Так как практически любой электронный элемент системы и особенно измерители выходных сигналов в общем случае подвержены случайным воздействиям, то при неполной структурной адекватности модели и объекта, при сильном отличии в начальных значениях параметров объекта и модели возможно существование множества экстремумов целевой функции по настраиваемым параметрам. Следовательно, беспоисковые алгоритмы идентификации могут оказаться неработоспособными. В этих условиях целесообразно применять поисковый алгоритм идентификации элемента системы с активным поиском и испытаниями адаптивной модели по параметрическим каналам на основе измерений входных и выходных сигналов объекта идентификации. При этом учитываются границы работоспособности системы.

Задачей алгоритма поисковой настройки является изменение параметров идентифицируемого элемента системы таким образом, чтобы минимизировать заданную целевую функцию невязки $q(E)$. Рассмотрим подробнее непрерывный градиентный алгоритм идентификации с синхронным детектированием применительно к нашей постановке задачи [5, 6].

Пусть в общем случае электропривод и его модель в соответствии с рис. 1 описываются уравнениями состояния

$$\dot{Y} = F(Y, X, A, t) + \xi, \quad Z = h(Y, X, t) + \zeta, \quad (4)$$

$$\dot{Y}_M = F_M(Y_M, X, A_M, t), \quad Z_M = h_M(Y_M, X_M, t), \quad (5)$$

где $A = [a_1, a_2, \dots, a_n]$ – вектор параметров, $X \in R^n$, $Z \in R^l$, $Z_M \in R^l$, $Y \in R^m$, $Y_M \in R^m$, $A \in R^p$, $A_M \in R^p$ – векторы состояний входа (X), выхода и параметров объекта (Y, A), измерителя (Z), модели (Y_M, Z_M, A_M) соответственно; ξ – вектор входных возмущений, ζ – вектор помех измерений; R^n, R^m, R^l, R^p – евклидовы пространства.

Целью идентификации является минимизация целевой функции $q(E)$ невязки $E = Z - Z_M$. Предполагается, что $q(E)$ – выпуклая, положительно определенная функция и известны текущие значения переменных Y_M, Z_M, A_M , характеризующих состояние настраиваемой модели.

Для поиска оптимального значения параметров модели используем градиентный подход к оптимизации целевой функции $q(E)$ [7]. Настройку параметров модели будем осуществлять в направлении антиградиента целевой функции, чтобы выполнялось

$$\dot{A}_M = -\Gamma \nabla_{A_M} q(E), \quad A_M(t_0) = A_0, \quad (6)$$

где Γ матрица коэффициентов усиления, размерности $p \times p$; $\nabla_{A_M} q(E) = \left[\frac{\partial q(E)}{\partial A_M} \right]^T$ – градиент целевой функции по параметрам модели.

Для реализации градиентного метода необходимо определить частные производные, которые для сложной функции $q(E)$ имеют следующий вид

$$\frac{\partial q(Z - Z_M)}{\partial A_M} = -\frac{\partial q(E)}{\partial E} \frac{\partial h_M}{\partial Y_M} \frac{\partial Y_M}{\partial A_M}. \quad (7)$$

Основная трудность при нахождении правой части уравнения (7) состоит в вычислении частных производных $\partial Y_M / \partial A_M$. Для решения данной задачи представим уравнение модели в вариациях в виде

$$\delta \dot{Y}_M = \frac{\partial F_M}{\partial Y_M} \delta Y_M + \frac{\partial F_M}{\partial A_M} \delta A_M + \frac{\partial Y_M}{\partial X} \delta X, \quad (8)$$

где $\delta A_M(t)$ – малая высокочастотная центрированная составляющая приращений параметров модели.

Считаем, что поисковый сигнал δA_M является быстро изменяющейся векторной функцией по сравнению с собственными движениями модели и движением, порожденным внешним воздействием $X(t)$. При этом процесс $Y(t)$ считается квазистационарным так как он меняется существенно медленнее остальных динамических процессов, протекающих в системе. Так как вариациями δY_M и δX можно пренебречь ввиду их малости по отношению к A_M , то будет справедливо приближенное равенство [8]

$$\delta \dot{Y}_M \approx \frac{\partial F_M}{\partial A_M} \delta A_M, \quad (9)$$

или в операторной форме

$$\delta Y_M \approx \frac{1}{p} \frac{\partial F_M}{\partial A_M} \delta A_M, \quad (10)$$

где $1/p$ – оператор интегрирования.

Из соотношения (10) при квазистационарном режиме получаем

$$\frac{\partial Y_M}{\partial A_M} \approx \frac{1}{p} \frac{\partial F_M}{\partial A_M}. \quad (11)$$

При достаточно высокой частоте поискового сигнала δA_M приближенное равенство (11) можно заменить строгим. С учетом этого уравнение (7) принимает вид

$$\frac{\partial q(E)}{\partial A_M} = -\frac{\partial q}{\partial E} \frac{\partial h_M}{\partial Y_M} \left(\frac{1}{p} \frac{\partial F_M}{\partial A_M} \right). \quad (12)$$

Для вычисления $\frac{1}{p} \frac{\partial F_M}{\partial A_M}$ применим процедуру синхронного детектирования [8, 9]. Умножим выражение (10) справа на δA_M^T и усредним полученное уравнение на некотором скользящем интервале времени T_c .

$$\left\langle \delta Y_M (\delta A_M)^T \right\rangle = \left\langle \frac{1}{p} \frac{\partial F_M}{\partial A_M} \delta A_M (\delta A_M)^T \right\rangle, \quad (13)$$

где $\langle \dots \rangle$ операция усреднения, а левая часть выражения (13) вычисляется по формуле

$$\left\langle \delta Y_M (\delta A_M)^T \right\rangle = \frac{1}{T_c} \int_{t-T_c}^t \delta Y_M(\tau) (\delta A_M(\tau))^T d\tau. \quad (14)$$

Учитывая, что в соответствии с принятым допущением на интервале T_c функцию F_M можно считать постоянной, получаем

$$\left\langle \delta Y_M (\delta A_M)^T \right\rangle = \frac{1}{p} \frac{\partial F_M}{\partial A_M} \left\langle \delta A_M (\delta A_M)^T \right\rangle. \quad (15)$$

Следовательно,

$$\frac{1}{p} \frac{\partial F_M}{\partial A_M} = \left\langle \delta Y_M (\delta A_M)^T \right\rangle \left\langle \left[\delta A_M (\delta A_M)^T \right]^{-1} \right\rangle. \quad (16)$$

Так как поисковые сигналы выбираются из условия не вырожденности матрицы $\left\langle \delta A_M (\delta A_M)^T \right\rangle$, то алгоритм настройки параметров (6) с учетом (12), (15), (16) принимает вид

$$\begin{aligned} \dot{A}_M &= -\Gamma \nabla_{A_M} q(E) = \Gamma \left[\frac{\partial q}{\partial E} \frac{\partial h_M}{\partial Y_M} \left(\frac{1}{p} \frac{\partial F_M}{\partial A_M} \right) \right]^T = \\ &= \Gamma \left\langle \left[\delta A_M (\delta A_M)^T \right]^{-1} \right\rangle \left\langle \delta A_M (\delta Y_M)^T \right\rangle \left(\frac{\partial q}{\partial E} \frac{\partial h_M}{\partial Y_M} \right)^T. \end{aligned} \quad (17)$$

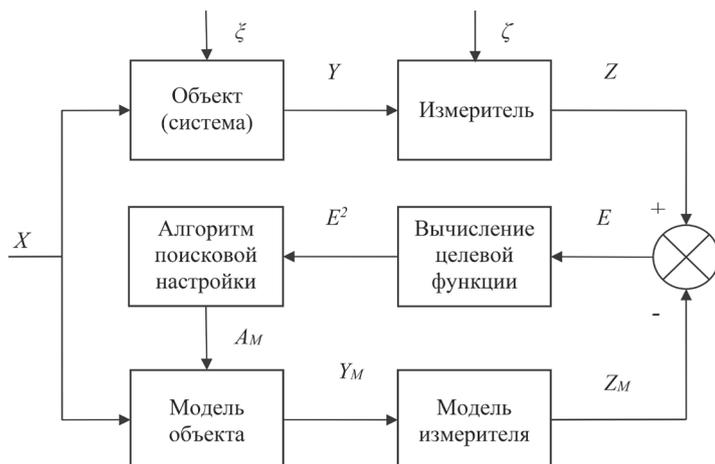
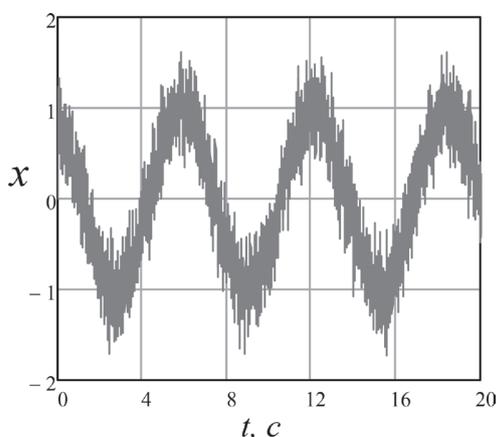
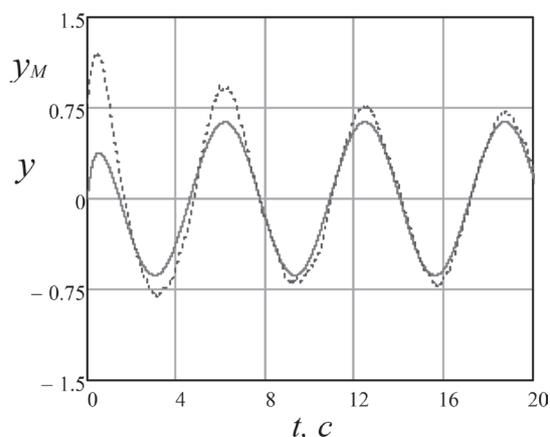


Рис. 2. Структурная схема поисковой системы идентификации с градиентным алгоритмом

Рис. 3. График зашумленного входного сигнала x Рис. 4. Графики изменения выходных сигналов системы y и модели y_M

Структурная схема системы идентификации представлена на рис. 2.

В качестве примера рассмотрим объект управления, описываемый передаточной функцией вида (3), в которой где K – известный коэффициент усиления; a – неизвестный параметр.

Требуется провести идентификацию параметра a методом синхронного детектирования, считая, что на объект действует задающее воздействие вида $y = \sin(t)$, $K = 2$, а выход измеряется с аддитивной помехой в виде центрированного случайного стационарного процесса с нормальным распределением.

Выберем настраиваемую модель в виде звена первого порядка

$$W_M(p) = \frac{K}{p + a_M}, \quad (18)$$

где $a_M = a_M(t)$ – настраиваемый параметр.

Целью управления будем считать синтез алгоритма настройки параметра a_M , обеспечи-

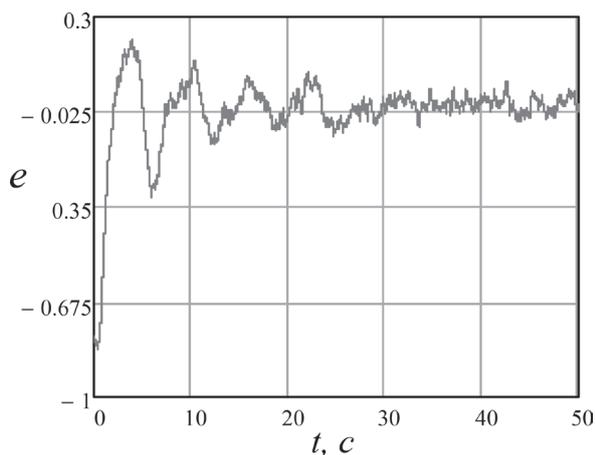
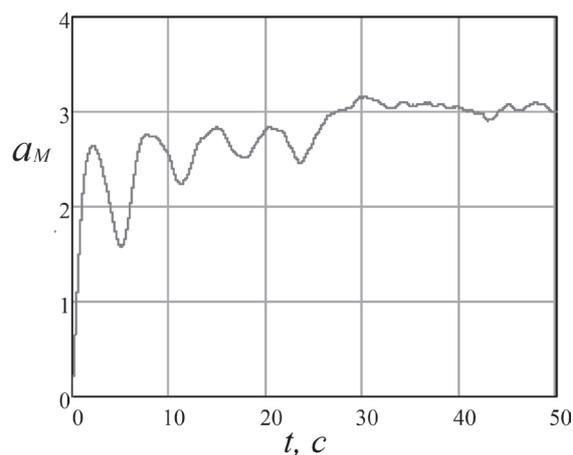
вающего минимизацию целевой функции $q = e^2$, где $e = a - a_M$ – рассогласование между выходами объекта и настраиваемой модели.

Выберем в качестве поискового высокочастотный сигнал вида $\delta a_M = 0,1 \sin(200t)$. В соответствии с (17) алгоритм идентификации будет иметь вид

$$\dot{a}_M = \gamma \frac{\langle \delta a_M \delta y_M \rangle}{\langle \delta a_M^2 \rangle} e, \quad \gamma < 0. \quad (19)$$

Здесь учтено, что операция усреднения опущена ввиду наличия в алгоритме идентификации интегратора $\frac{\partial q}{\partial E} = 2e$, $\frac{\partial h_M}{\partial Y_M} = 1$. Вариация $\langle \delta a_M^2 \rangle$ для заданного поискового сигнала вычисляется заранее.

На рис. 3–6 приведены графики изменения во времени зашумленного гипотетического входного сигнала $x(t)$ (рис. 3), выходных сигналов системы y и модели y_M (рис. 4), рассогласования e (рис. 5), настраиваемого параметра

Рис. 5. График изменения рассогласования e Рис. 6. График изменения настраиваемого параметра a_M

тра a_M (рис. 6). Интегрирование выполнялось в среде Mathcad при заданном значении параметра $a = 3$, дисперсии помехи $D_\xi = 0.01$, $\gamma = -2.7$.

В приведенном примере процесс идентификации параметра a_M составляет около тридцати секунд.

Заключение

Результаты моделирования показывают, что обеспечивается точность идентификации, определяемая функцией невязки E , а также

сходимость алгоритма настройки модели с использованием непрерывного градиентного метода идентификации с синхронным детектированием в течение времени, обусловленного инерционностью системы. Заметим, что реализация алгоритма идентификации может быть упрощена за счет вычисления матрицы δA_M на стадии проектирования и замены усреднения на скользящем интервале усреднением в линейном фильтре низких частот. При наличии в алгоритме блока интегрирования операция усреднения может быть опущена.

Литература

1. **Беспилотные** летательные аппараты. Основы устройства и функционирования / под ред. И. С. Голубева, И. К. Туркина. – М.: МАИ, 2010. – 654 с.
2. **Терехов, В. М.** Системы управления электроприводов / В. М. Терехов. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 304 с.
3. **Гульков, Г. И.** Системы автоматического управления электроприводами / Г. И. Гульков, Ю. Н. Петренко, Т. В. Бачило; под общ. ред. Ю. Н. Петренко. – Минск: ИВЦ Минфина, 2014. – 366 с.
4. **Лобатый, А. А.** Математическое моделирование гибридных электротехнических систем / А. А. Лобатый, Ю. Н. Петренко Ю. Н., А. Эльзейн, А. С. Абуфанас // Наука и техника. – 2016. – № 4. – С. 322–328.
5. **Льунг, Л.** Идентификация систем. Теория для пользователя / Л. Льунг. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
6. **Справочник** по теории автоматического управления / под ред. А. А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.
7. **Методы оптимизации** / под ред. В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. – 440 с.
8. **Методы** классической и современной теории автоматического управления: в 5 тт. / под ред. К. А. Пупкова и Н. Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 4 т. – 744 с.
9. **Лобатый, А. А.** Поиск алгоритма настройки модели непрямого адаптивного фазового управления / А. А. Лобатый, М. В. Почебут // Доклады БГУИР. – 2009. – № 6 (44). – С. 62–68.

References

1. **Unmanned** aerial vehicles. Fundamentals of the device and functioning / ed. I. S. Golubeva, I. K. Turkina. – Moscow: MAI, 2010. – 654 p.
2. **Terekhov, V. M.** Control systems of electric drives / V. M. Terekhov. – M.: Publishing Center «Academy», 2006. – 304 p.
3. **Gulkov, G. I.** Automatic control systems for electric drives / G. I. Gulkov, Yu. N. Petrenko, T. V. Bachilo; Under the Society. Ed. Yu. N. Petrenko. – Minsk: IVC of the Ministry of Finance, 2014. – 366 p.
4. **Lobaty, A. A.** Mathematical modeling of hybrid electrotechnical systems / A. A. Lobaty, Yu. N. Petrenko Yu. N., A. Elzey, A. S. Abufanas // Science and Technology. – 2016. – No. 4. – P. 322–328.
5. **Lyung, L.** Identification of systems. Theory for the user / L. Lyung. – Moscow: Nauka, 1991. – 432 p.
6. **Handbook** on the theory of automatic control / ed. A. A. Krasovskiy. – Moscow: Nauka, 1987. – 712 p.

7. **Methods** of optimization / ed. V. S. Zarubina, A. P. Krishchenko. – М.: Publishing house MSTU. N. E. Bauman, 2003. – 440 p.

8. **Methods** of classical and modern theory of automatic control: in 5 vols. / Ed. K. A. Pupkov and N. D. Egupova. – М.: Publishing house MSTU. N. E. Bauman, 2004. – 4 vols – 744 p.

9. **Lobaty, A. A.** Search algorithm for adjusting the model of indirect adaptive phase control. Lobaty, M. V. Pochebut // Reports of BSUIR. – 2009. – No. 6 (44). – P. 62–68.

Поступила
20.02.2017

После доработки
16.03.2017

Принята к печати
10.06.2017

Abufanas A. S., Lobaty A. A., Shvedko A. G.

SEARCH ALGORITHM FOR THE PARAMETRIC IDENTIFICATION OF THE ELECTRIC DRIVE OF THE MONITORING SYSTEM

Belarusian National Technical University

The problem of parametric identification of a mathematical model of a technical system or a device is considered, which considers the electric drive of a monitoring system installed on an unmanned aerial vehicle. Identification of the parameters of elements of a complex technical system is an actual scientific task, since when developing a new technical system for its synthesis and research, it is necessary to have mathematical models of the elements of the system.

It is proposed to solve the problem by applying the search gradient identification algorithm for a given objective residual function in the form of a difference in the output signal of the identified element of the system and its model. When solving the problem, the random character of the processes occurring in the system and at the output of the output signal meter is taken into account. The identification algorithm is developed on the basis of the representation of the model of parameters in the form of an ordinary vector-matrix equation, on the right side of which there is a model of the driving influence in the form of a given deterministic function of time. A general structural diagram of the parametric identification search system with a gradient algorithm is presented.

As an example for evaluating the operability of the proposed algorithm, we consider the simplest model of an electric drive, given by a transfer function in the form of an inertial link. Qualitative illustrations of the operability of the proposed algorithm and quantitative characteristics of the signal and parameter changes of the identified object are presented.

Keywords: *identification, model, residual function, gradient, search signal, parameter adjustment.*



Абуфанас Альседдык Салем Ахмед (Abufanas Alseddig Salem Ahmed).

Аспирант кафедры «Информационные системы и технологии» БНТУ, обучается по специальности «Системный анализ, управление и обработке информации».

Пр. Независимости 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь.

Тел.: + 37517292-15-01/ E-mail: upnkvk@bntu.by.

Post Graduate student, Department of «Information Systems and Technologies» BNTU, field of study «System Analysis, Control and Data Processing».



Lobaty A. A. Doctor of science, professor. in 2000 he established chair «information systems and technologies» in belorussian national technical university, department of «international institute of distance education». his research interests include algorithms, concepts, and architecture for digital signal processing systems. he has extensive consulting experience in control of unmanned aerial vehicles. he is author and coauthor of many papers in scientific magazines, conference proceedings, and a number of books. he has number of university and state awards for achievements in teaching and research.

E-mail: lobaty@tut.by.



Шведко Александр Геннадьевич кандидат физико-математических наук ведущий научный сотрудник.

Республиканского унитарного предприятия «Научно-производственный центр многофункциональных беспилотных комплексов» Национальной академии наук Беларуси. Область научных интересов: Обработка информации для управления многофункциональными беспилотными комплексами.

E-mail: uavnasb@mail.ru

**ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ
И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ**

**DATA PROCESSING
AND
DECISION-MAKING**

УДК 629.78: 528.854.4

А. А. ЗОЛОТОЙ, А. В. УРБАНОВИЧ

ВЫЯВЛЕНИЕ РАЗЛИЧИЙ В ВЕКТОРНЫХ ДАННЫХ ПРИ ТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Научно-инженерное республиканское унитарное предприятие «Геоинформационные системы» НАН Беларуси (УП «Геоинформационные системы»)

Рассматривается задача выявления различий в пакетах данных векторной графики и способы её решения. Источниками векторных данных в статье служат картографическая информация и векторизованные данные дистанционного зондирования Земли. Целью является разработка способа выявления различий в пакетах векторных данных, обеспечивающего надёжное получение результата для задач актуализации картографической информации и мониторинга местности. Исследования и разработка производились путём математического моделирования задачи в MATLAB. В статье приводится описание разработанного способа решения задачи и результаты его применения для нахождения различий между двумя пакетами векторных данных, полученными из целевой информации дистанционного зондирования Земли и/или векторных слоёв цифровой карты местности. Применение данного способа позволяет автоматизировать процесс и сократить время тематического анализа космической информации, получаемой от средств дистанционного зондирования Земли для топографического картографирования и мониторинга местности.

Ключевые слова: способ, дистанционное зондирование Земли, космический снимок, цифровая карта местности, векторная графика, данные, сегмент, скользящее окно, весовые коэффициенты, фильтр, различие.

Введение

Широкий круг задач, решаемых на пространственных объектах, требует нахождения мест и степеней различия в подготовленных пакетах данных векторной графики (или векторных данных). Примером таких задач могут служить актуализация картографической информации и мониторинг местности по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Объектами векторных данных чаще всего являются графические примитивы в виде отрезков линий (далее сегменты) [1], [2]. Целевая информация ДЗЗ представляет собой растровые изображения поверхности Земли, полученные аэрокосмическими средствами. Слой векторных данных для целевой информации ДЗЗ формируется специальными алгоритмами предобработки, векторизации и постобработки [3], [4].

Обзор и постановка задачи

Сопоставление пар сегментов векторной графики, описывающей пространственные объекты, заключается в определении всех несо-

впадений и локализации отличающихся частей. Существует много зарубежных и отечественных работ, посвящённых сопоставлению и сжатию растровых данных [5]–[10]. Наиболее популярные решения, строящиеся на применении хеш-функций, расстояний Хэмминга [5], [6], вычислении среднеквадратических ошибок [7], [8], метриках Хаусдорфа для бинаризованных данных [9], [10]. В тоже время доступные работы, посвящённые решению рассматриваемой задачи практически отсутствуют. О сопоставлении линейных сегментов в отдельных публикациях упоминается только вскользь применительно к области начертательной геометрии.

Способ решения

Авторами предлагается способ нахождения различий в подготовленных пакетах векторных данных показывающий надёжные результаты в задачах тематического анализа целевой информации ДЗЗ для топографического картографирования и мониторинга местности. Способ основывается на идее предварительно-

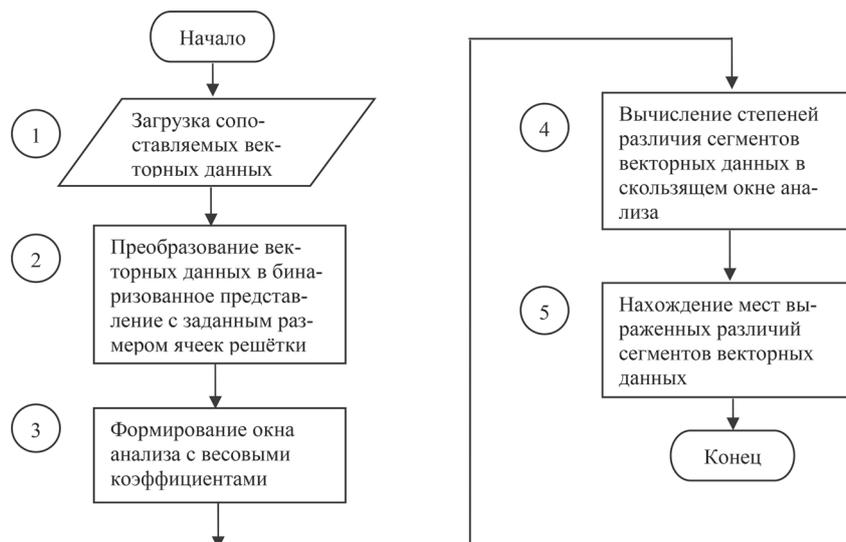


Рис. 1. Блок-схема нахождения различий между двумя пакетами данных векторной графики

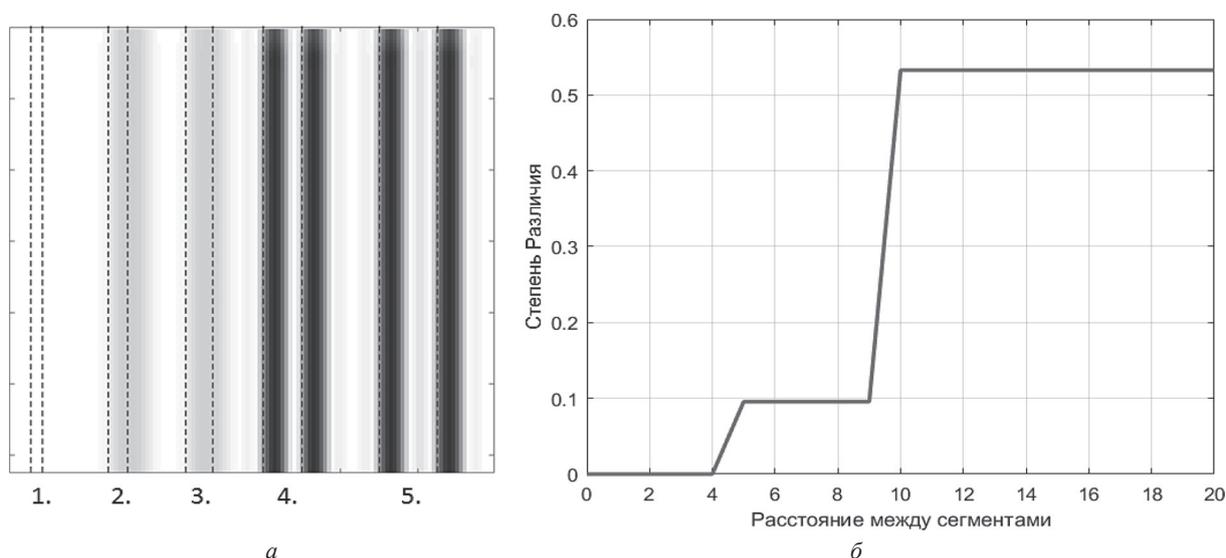


Рис. 2. Изменения степени выделяемых различий сегментов векторных данных при постоянном размере ячеек решётки преобразования

го преобразования векторных данных в бинаризованное представление с опционально задаваемым размером ячеек решётки.

Общая блок-схема разработанного способа нахождения различий в пакетах векторных данных приведена на рис. 1.

В блоке 1 выполняется загрузка сопоставляемых пакетов векторных данных. Затем, в блоке 2, векторные данные преобразуются к бинаризованной форме представления с заданным размером ячеек решётки преобразования. Для преобразования сегментов векторных данных в бинаризованное представление может использоваться любая разновидность алгоритма Брезенхэма для отрезков прямых [1].

Размер ячеек решётки выбирается исходя из требуемой детализации различий. Если областью интереса являются только крупные детали различий векторных данных, то размер ячеек следует увеличивать. Для выделения мелких деталей различия размер ячеек требуется уменьшать. Размер ячеек решётки влияет и на время вычислений – чем меньше размер, тем больше время. Изменение степени различия двух сегментов при заданном размере ячеек решётки показано на рис. 2.

Штриховыми линиями на рис. 2, а изображены 5 пар сравниваемых сегментов векторных данных одинаковой длины, расположенных вертикально с взаимными расстояниями

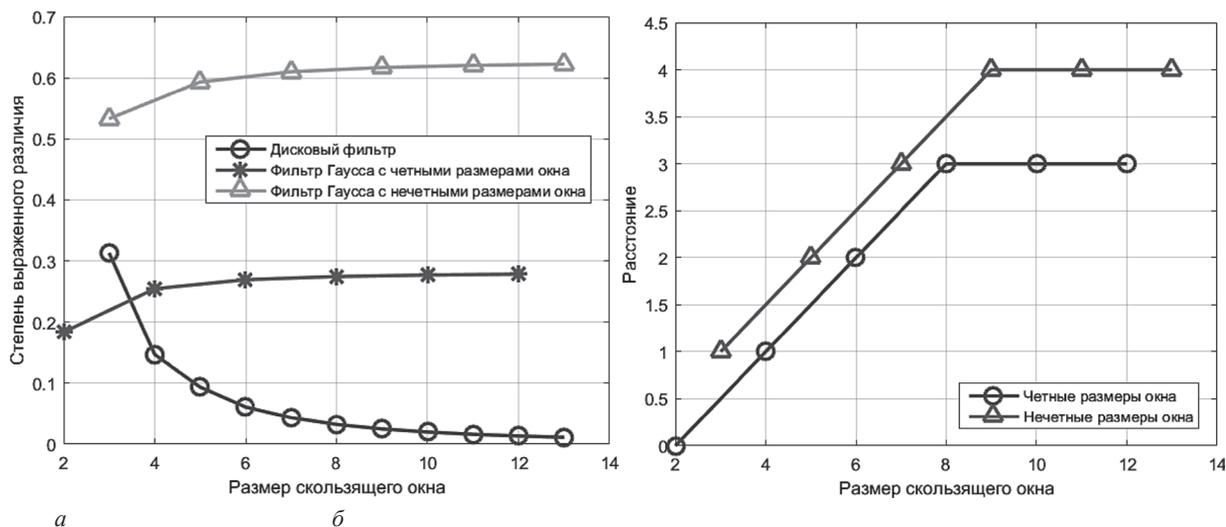


Рис. 3. Влияние размеров скользящего окна на выявление различий бинаризованных сегментов векторной графики

равными 3, 5, 7, 10 и 15 пикселей. Пары сравниваемых сегментов на рис. 2, *а* отмечены цифрами от 1 до 5. Размер ячеек решётки принят равным 5 пикселей. Области выявленных различий между сегментами каждой пары выделены изменением яркости на рисунке в местах различий. Насыщенность выделения областей различия сегментов пропорциональна степени различий. Чем темнее выделенная область на рисунке, тем выше степень различия сегментов в ней. Различия определялись по величине среднеквадратической ошибки в скользящем окне анализа размером 3 на 3 ячейки решётки. На рис. 2, *б* построена зависимость степени различия пар сегментов (рис. 2, *а*) от изменения взаимного расстояния между ними от 1 до 20 пикселей при размере ячеек решётки 5 пикселей. На рис. 2, *б* чётко видны два пороговых изменения степени различий сегментов при расстояниях между ними 5 и 10 пикселей. Пока расстояние между сегментами меньше ячейки решётки, степень выявленных различий близка к нулю. Когда расстояния сравниваются с размером ячейки решётки, степень различия скачкообразно возрастает до величин, существенно отличающейся от нуля. При расстояниях в две и более ячейки (т. е. 10 пикселей и более на рис. 2, *б*) степень различия увеличиваетсякратно до своей наибольшей величины, которая будет сохраняться при дальнейшем увеличении расстояния между сегментами.

В блоке 3 на рис. 1 формируется скользящее окно анализа для обработки бинаризованных сегментов векторных данных. Скользящее

окно характеризуется двумя важными параметрами – размером и весовыми коэффициентами. Размер скользящего окна выбирается из соображений обеспечения требуемой чувствительности к выраженности различий, а весовыми коэффициентами могут служить маски, предопределённых двумерных линейных фильтров.

Влияние размеров скользящего окна на особенности выявления различий бинаризованных сегментов векторных данных показано на рис. 3.

Весовые коэффициенты скользящего окна для сопоставления бинаризованных сегментов выбирались в виде масок усредняющего дискового (рис. 4, *а*) или гауссова (рис. 4, *б*) фильтров.

Усредняющий дисковый фильтр относится к фильтрам нижних частот и предназначен для фильтрации высокочастотного шума на изображениях. Его работа сопровождается эффектом размытия изображений. Каждый элемент маски дискового фильтра в окне анализа равен $1/MN$, где M и N – размеры окна (число строк и столбцов).

Обработка бинаризованных сегментов в скользящем окне размером более 5 пикселей с коэффициентами дискового фильтра приводит к сильному размытию и смещению выделенных областей различия. При этом с увеличением размеров скользящего окна размытость и смещения областей различия возрастают. Второй особенностью применения дискового фильтра для данной задачи является существен-

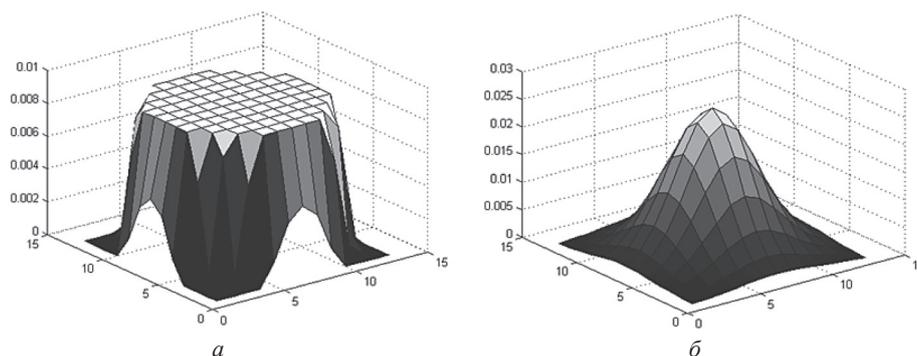


Рис. 4. Маски весовых коэффициентов скользящего окна 13 на 13 пикселей

ная зависимость порядка чисел степени различия от размеров скользящего окна. Это требует пересмотра пороговых значений выраженности различий при изменениях размеров скользящего окна.

Фильтр Гаусса также относится к фильтрам нижних частот, но в меньшей степени размывает изображение [3]. Маска фильтра такова, что центральный её элемент имеет наибольшее значение и соответствует пику распределения Гаусса (см. рис. 4, б). Элементы маски в окне анализа вычисляются по соотношениям

$$g_{rc} = e^{-\left(\frac{r^2+c^2}{2\sigma^2}\right)},$$

$$h_{rc} = \frac{g_{rc}}{\sum_{r=1}^M \sum_{c=1}^N g_{rc}}. \quad (1)$$

где M, N – размеры скользящего окна; r, c – номера текущих строки и столбца в окне; σ – среднеквадратическое отклонение распределения Гаусса.

Применение фильтра Гаусса в качестве коэффициентов скользящего окна не приводит к размытию и смещению выделенных областей различия при любых размерах скользящего окна. Слабая зависимость порядка чисел степени различия от размеров скользящего окна при использовании коэффициентов фильтра Гаусса позволяет не корректировать пороговые значения выраженности различий при изменениях размеров окна.

Зависимость выраженности различий сегментов от размеров скользящего окна с коэффициентами дискового и гауссова фильтров показана на рис. 3, а. На рисунке хорошо видно, что зависимость степени различий от раз-

меров скользящего окна незначительна для фильтра Гаусса по сравнению с дисковым фильтром, но существенно зависит от чётности или нечётности размеров окна. Это ограничивает совместное использование скользящих окон чётных и нечётных размеров с коэффициентами фильтра Гаусса, но позволяет регулировать чувствительность к различиям через изменение размеров окна.

Учитывая особенности рассмотренных фильтров для сопоставления бинаризованных сегментов векторных данных в скользящем окне, далее рекомендуется использовать коэффициенты фильтра Гаусса с величиной среднеквадратического отклонения 0,5.

На рис. 3, б показано влияние размера скользящего окна на чувствительность к различию пары сегментов одинаковой длины при изменении взаимного расстояния между ними. Зависимости наименьшего расстояния между сегментами с выраженным различием от размеров скользящего окна для чётных и нечётных размеров скользящего окна отмечены маркерами «Δ» и «O». По горизонтальной оси отложены размеры скользящего окна, а по вертикальной – наименьшие взаимные расстояния между сегментами с выраженным различием. Размер ячеек решетки принят 5 пикселей. Как следует из рис. 3, б, с увеличением скользящего окна снижается чувствительность к выраженности различия сегментов. Кроме того, при увеличении скользящего окна увеличивается и время вычислений.

В блоке 4 на рис. 1 для каждого положения скользящего окна вычисляется функция «стоимости», оценивающая степень различия бинаризованных сегментов на основе вычисления наименьшей среднеквадратической ошибки [7], [8] в окне по выражению

$$E_{\text{HM}} = \frac{1}{(MN)^2} \sum_{r=1}^M \sum_{c=1}^N (k s_{rc} - m_{rc})^2. \quad (2)$$

где E_{HM} – наименьшая среднеквадратическая ошибка в скользящем окне; M, N – размеры окна; s, m – яркостные значения ячеек решётки для сравниваемых бинаризованных сегментов в окне; k – коэффициент уменьшения ошибки.

Значение коэффициента k вычисляется из условия равенства нулю производной

$$\frac{\partial E_{\text{HM}}}{\partial k} = \frac{2}{(MN)^2} \sum_{r=1}^M \sum_{c=1}^N (k s_{rc} - m_{rc}) s_{rc} = 0,$$

откуда

$$k = \frac{\sum_{r=1}^M \sum_{c=1}^N s_{rc} m_{rc}}{\sum_{r=1}^M \sum_{c=1}^N s_{rc}^2} = 0. \quad (3)$$

В блоке 5 на рис. 1, используя вычисленные значения функции «стоимости» в каждом

положении скользящего окна, пороговым методом определяются места выраженных различий в сопоставляемых пакетах векторных данных.

Заключение

Разработан способ нахождения различий в подготовленных пакетах векторных данных, показывающий надёжные результаты в задачах тематической обработки данных ДЗЗ. Областью применения разработанного способа является широкий круг задач, в которых требуется определять для привлечения внимания оператора, места и степени различия пространственных объектов, описываемых векторной графикой. Разработка и апробация способа производились применительно к использованию в задачах тематического анализа целевой информации ДЗЗ для топографического картографирования и мониторинга местности.

Литература

1. Роджерс, Д. Алгоритмические основы машинной графики. – М.: Мир, 1989. – 512 с.
2. Scalable Vector Graphics // The Free Encyclopedia [An electronic resource]. – Access mode: https://en.wikipedia.org/wiki/Scalable_Vector_Graphics. – Date of access: 10.12.2015.
3. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1070 с.
4. Золотой, А. А., Новиков, Д. И. Сопоставление космических изображений поверхности Земли с эталоном цифровой карты местности // Системный анализ и прикладная информатика. – 2016. – № 1. – С. 4–11.
5. Перцептуальные хэши для сравнения изображений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://159.253.18.71/?p=93#content>. – Дата доступа: 15.06.2016.
6. Bertolami, J. Perceptual Hashing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bertolami.com/index.php?engine=blog&content=posts&detail=perceptual-hashing>. – Дата доступа: 15.06.2016.
7. Kominek, J. Advances in Fractal Compression for Multimedia Applications // Multimedia Systems. – 1997. – Vol. 5, № 4. – P. 255–270.
8. Wang, Z., Bovik, A. Mean Squared Error: Love It or Leave It? // Signal Processing Magazine. – 2009. – Vol. 26, № 1. – P. 98–117.
9. Хмелев, Р. В. Обнаружение и анализ объектов на бинарных изображениях с использованием модификаций расстояния Хаусдорфа и полигональной аппроксимации контуров: автореф. дис. – канд. техн. наук: 05.13.18 / Самарский государственный аэрокосмический университет, Институт систем обработки изображений РАН. – Самара 2009. – 16 с.
10. Huttenlocher, D., Klanderman, G., Rucklidge, W. Comparing Images Using the Hausdorff Distance // Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1993. – Vol. 15, № 9. – P. 850–863.

References

1. Rogers, D. Procedural Elements for Computer Graphics. – M.: Mir, 1989. – 512 p.
2. Scalable Vector Graphics // The Free Encyclopedia [An electronic resource]. – Access mode: https://en.wikipedia.org/wiki/Scalable_Vector_Graphics. – Date of access: 10.12.2015.
3. Gonsales, R. Digital image processing / R. Gonsales, R. Vuds. – M.: Technosphaera, 2005. – 1070 p.
4. Zalatoi, A. A., Novikau, D. I. Comparison of Space Images of a Surface of Earth to a Standard of a Digital District Map // System Analysis and Applied Information Science. – 2016. – № 1. – P. 4–11.
5. Perceptual Hashing for Image Comparison [An electronic resource]. – Access mode: <http://159.253.18.71/?p=93#content>. – Date of access: 15.06.2016.
6. Bertolami, J. Perceptual Hashing [An electronic resource]. – Access mode: <http://bertolami.com/index.php?engine=blog&content=posts&detail=perceptual-hashing>. – Date of access: 15.06.2016.
7. Kominek, J. Advances in Fractal Compression for Multimedia Applications // Multimedia Systems. – 1997. – Vol. 5, № 4. – P. 255–270.

8. Wang, Z., Bovik A. Mean Squared Error: Love It or Leave It? // Signal Processing Magazine. – 2009. – Vol. 26, № 1. – P. 98–117.

9. Khmelev, R. V. Obnaruzheniye i analiz ob»yektov na binarnykh izobrazheniyakh s ispol'zovaniyem modifi-katsiy rasstoyaniya Khausdorfa i poligonal'noy approksimatsii konturov: 05.13.18 / Samara State Aerospace University, Image Processing Systems Institute RAS.– Samara 2009.– 16 p.

10. Huttenlocher, D., Klanderma, G., Rucklidge, W. Comparing Images Using the Hausdorff Distance // Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.– 1993.– Vol. 15, № 9.– P. 850–863.

Поступила
08.02.2017

После доработки
18.04.2017

Принята к печати
10.06.2017

Zalatoi A. A., Urbanovich A. V.

VECTOR DATA DIFFERENCES IDENTIFICATION IN THE THEMATIC PROCESSING OF SPACE IMAGES

The problem of differences identifying in vector graphics data packages and how to solve it is considered. Map information and vectorized data of remote sensing of Earth are sources of vector data in the article. The aim is to design a method for detecting differences in vector data packages, providing reliable results for updating map and monitoring areas tasks. Research and development is done by mathematical modeling of the task in MATLAB. The article provides developed method for solving the task and results of its application for finding differences between two vector data packages, obtained from the target information of remote sensing of the Earth, and/or vector layers of digital district map. This method allows you to automate the process and reduce the time of thematic analysis of cosmic information, obtained from remote sensing of the Earth for topographic mapping and monitoring areas.

Keywords: method, remote sensing of Earth, space image, digital district map, vector graphics, data, segment, sliding window, weighting factors, filter, difference.



Золотой Андрей Анатольевич – к. т. н., доцент, ведущий научный сотрудник УП «Геоинформационные системы», e-mail: andrewgis@tut.by.

Zalatoi Andrei – Candidate of Science (Engineering), Associate professor, Leading researcher at UE Geoinformation Systems.



Урбанович Андрей Васильевич – инженер-программист УП «Геоинформационные системы».

Urbanovich Andrei – Software Engineer at UE Geoinformation Systems.

Работа выполнена в рамках программы научных исследований Союзного государства «Разработка космических и наземных средств обеспечения потребителей России и Беларуси информацией дистанционного зондирования Земли (Мониторинг-СГ)» по заданию мероприятия 2.5 «Создать экспериментальный образец программных средств тематической обработки для аппаратно-программного комплекса распределенной системы анализа и мониторинга космической информации с использованием блочно-параллельной обработки данных в условиях высокопроизводительных систем» № г. р. 20141528.

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

INFORMATION SECURITY

А. В. СИДОРЕНКО, И. В. ШАКИНКО

АЛГОРИТМ ХЕШИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ДВУМЕРНЫХ ХАОТИЧЕСКИХ ОТОБРАЖЕНИЙ

Белорусский государственный университет

Предложен алгоритм хеширования на основе динамического хаоса. Благодаря использованию хаотических отображений, алгоритм является необратимым, а поиск двух сообщений с одинаковыми хеш-значениями становится вычислительно затруднительным. Предлагаемый алгоритм включает в себя следующие этапы: выбор значений переменных и параметров двумерных хаотических отображений; реализацию итераций хаотических отображений с добавлением элементов исходного сообщения к переменным; реализацию итераций хаотических отображений без добавления элементов исходного сообщения к переменным; формирование хеш-значения. Предлагается формировать два хеш-значения h_1 и h_2 , в которых используется различный порядок переменных. Результирующее хеш-значение получается при применении операции «сложение по модулю два» к хеш-значениям h_1 и h_2 . Проведено тестирование предлагаемого алгоритма. Из полученных данных следует, что для рассматриваемого алгоритма характерен лавинный эффект. Статистические характеристики последовательности, сформированной из хеш-значений, схожи со статистическими характеристиками последовательности, значения элементов которой получены случайным образом, что свидетельствует о работоспособности предлагаемого алгоритма. Вычислительный эксперимент проведен с использованием отображений Чирикова, «Кота Арнольда», Эно. Установлено, что для сообщений с размером превышающим 4 Кб, при использовании отображений Эно и «Кот Арнольда» предлагаемый алгоритм справляется с задачей более чем на 20% быстрее, чем алгоритм «Кессак». Предлагаемый алгоритм хеширования может быть использован при решении задач контроля целостности данных при передаче информации в современных телекоммуникационных системах.

Ключевые слова: динамический хаос, хаотическое отображение, хеширование, целостность данных, информационная безопасность.

Введение

При передаче информации в телекоммуникационных системах одной из основных задач защиты информации является обеспечение и контроль ее целостности. Традиционно для этих целей используются алгоритмы хеширования [1]. Алгоритм хеширования преобразуя входные данные позволяет поставить в соответствие сообщению произвольного размера хеш-значение, представляющее собой последовательность бит фиксированного размера [2]. Контроль целостности данных осуществляется путем использования сравнительного анализа хеш-значений, переданного и принятого сообщений. При равенстве хеш-значений сообщение идентично переданному, в противном случае – сообщение модифицировано в канале передачи.

В данной работе предложен алгоритм хеширования, основанный на использовании дву-

мерных хаотических отображений. Одной из особенностей хаотических отображений является чувствительность к начальным условиям [3], то есть изменения в исходном сообщении приводят к существенным изменениям в формируемом хеш-значении. А это является необходимым требованием для алгоритмов хеширования.

Двумерные хаотические отображения

Двумерные дискретные хаотические отображения записываются в итерационной форме

$$\begin{cases} x_{i+1} = f_1(x_i, y_i) \\ y_{i+1} = f_2(x_i, y_i) \end{cases}, \quad (1)$$

где x_i и y_i – переменные хаотического отображения на i -той итерации, f_1 и f_2 – некоторые функции от двух переменных.

Под начальными условиями хаотических отображений понимают исходные значения пе-

ременных. В данной работе использовались следующие дискретные двумерные хаотические отображения: отображение Чирикова, «Кот Арнольда» и отображение Эно. Данные отображения приведены, соответственно, ниже

$$\begin{cases} x_{i+1} = \text{mod}(y_{i+1} + x_i, 2\delta) \\ y_{i+1} = \text{mod}(y_i + K \cdot \sin(x_i), 2\delta) \end{cases}, \quad (2)$$

$$\begin{cases} x_{i+1} = \text{mod}(x_i + a \cdot y_i, 1) \\ y_{i+1} = \text{mod}(b \cdot x_i + (a \cdot b + 1) \cdot y_i, 1) \end{cases}, \quad (3)$$

$$\begin{cases} x_{i+1} = \text{mod}(1 - a \cdot x_i^2 - b \cdot y_i, 1) \\ y_{i+1} = \text{mod}(x_i, 1) \end{cases}. \quad (4)$$

где x_i и y_i – переменные хаотического отображения на i -той итерации, a , b , K – параметры отображения.

Предлагаемый алгоритм хеширования

В основу предлагаемого алгоритма хеширования положено использование двумерных дискретных хаотических отображений. Вследствие высокой чувствительности к начальным условиям, вычислительно трудно найти начальные условия отображения по текущим значениям переменных, а определить значения переменных на выбранной итерации оказывается возможным только путем осуществления всех необходимых итераций хаотического отображения. Это приводит к необратимости алгоритма хеширования при его построении с использованием хаотических отображений. Для злоумышленника оказывается вычислительно сложной задачей поиск двух сообщений с одинаковым хеш-значением.

Предлагаемый алгоритм хеширования включает в себя следующие этапы.

1. Выбор значений переменных и параметров двумерных хаотических отображений.

На первом этапе алгоритма осуществляется выбор исходных значений переменных x_i и параметров хаотических отображений, $i = 1, 2, k$, k – количество переменных, зависящее от размера (в битах) формируемого хеш-значения. Значения переменных x_i могут выбираться случайным либо псевдослучайным образом.

Стоит отметить, что хаотическое поведение наблюдается только при определенных значениях параметров у рассматриваемых отображений.

2. Реализация итераций хаотических отображений с добавлением элементов исходного сообщения.

Элементы исходного сообщения добавляются к значениям переменных хаотических отображений. Для этого исходное сообщение разбивается на блоки размером m байт, где m – размер формируемого хеш-значения в байтах. Каждый блок последовательно обрабатывается следующим образом.

Блок делится на фрагменты, размером по p байт. Каждый i -ый фрагмент добавляется к значению переменной x_i . При этом s байт фрагмента добавляются к p байтам значения переменной с использованием операции «сложение по модулю 2». Выбор размера фрагментов p , а также номеров байтов переменной x_i , к которым добавляются байты фрагмента, зависит от вида представления чисел в памяти вычислительной машины. Например, в случае, когда для представления вещественного числа используется 8 байт, то рекомендуемое значения для p – 4 байта, а номера байтов, к которым происходит добавления элементов, равны 2, 3, 4 и 5. После этого к полученным значениям x_i применяется двумерное хаотическое отображение. При этом в качестве первой переменной выступает x_i , а в качестве второй переменной x_{i+1} . $i = 1, 2, k - 1$. После этого хаотическое отображение применяется к переменным x_k и x_1 (x_k выступает в качестве первой переменной, x_1 – в качестве второй). Это позволяет распространить изменения элементов на все значения переменных x за меньшее количество итераций.

3. Реализация итераций хаотических отображений без добавления элементов исходного сообщения.

В случае, если был изменен последний байт сообщения, то после предыдущего этапа изменениям подвергнуться лишь 2 байта. Для распространения изменений на оставшиеся байты требуется проведение дополнительных итераций q . Данный этап аналогичен второму этапу за исключением того, что к значениям переменных x_i не добавляются элементы исходного сообщения. Количество дополнительных итераций q выбрано, равным 50.

4. Формирование хеш-значения.

В данной работе предлагается формировать два хеш-значения h_1 и h_2 . При формирова-

нии второго хеш-значения h_2 на втором этапе проводится перестановка переменных x следующим образом. Номер переменной j при формировании значения h_2 равен d_i , где i – номер переменной при формировании значения h_1 , а d – некоторая последовательность чисел. Последовательность чисел d рекомендуется формировать таким образом, чтобы для каждого x_j соседние переменные были отличными от случая формирования первого хеш-значения h_1 . Примером последовательности d , содержащей 16 элементов, является следующая последовательность чисел: {2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 5, 3, 1, 7, 9, 11, 13, 15}. Итоговое хеш-значение h представляет собой результат выполнения операции «сложение по модулю 2», примененной к двум полученным хеш-значениям h_1 и h_2 .

Тестирование предлагаемого алгоритма хеширования

При тестировании предлагаемого алгоритма в данной работе определялось, характерен ли лавинный эффект для данного алгоритма. Проводилось также определение и сравнение статистических параметров двух последовательностей, первая из которых состоит из хеш-значений, а во второй значения элементов получены случайным образом.

Лавинный эффект для алгоритмов хеширования заключается в том, что изменение значения одного бита в исходном сообщении приводит к изменению значений в среднем половины бит хеш-значения [4]. Тестирование на наличие лавинного эффекта проводилось следующим образом. Для сообщения m_0 размером 50 000 байт было вычислено хеш-значение h_0 размером 512 бит. После этого формировалось $N = 400\,000$ сообщений таким образом, что i -ое сообщение m_i отличалось от исходного сообщения m_0 значением i -го бита, $i = 1, N$. Для каждого сообщения m_i вычислялось хеш-значение h_i . По полученным данным определялось количество бит r , значения которых отличались в хеш-значениях h_0 и h_i (табл. 1). Для сравнения также приводятся результаты, полученные для алгоритма хеширования «Кессак». Указанный алгоритм используется для хеширования федеральным стандартом обработки информации США «SHA-3 Standard: Permutation-Based Hash and Extendable-Output Functions» [5].

Таблица 1. Результаты тестирования по критерию «лавинный эффект»

	Предлагаемый алгоритм с использованием различных хаотических отображений			Алгоритм «Кессак»
	«Кот Арнольда»	Чирикова	Эно	
Среднее значение r	256.00	256.00	255.99	255.98
Стандартное отклонение r	11.32	11.32	11.31	11.29
Минимальное значение r	203	200	205	202
Максимальное значение r	308	310	306	313

Установлено, что при использовании всех рассматриваемых хаотических отображений среднее количество изменившихся бит r примерно равно 256 и составляет половину от общего количества бит хеш-значения, что соответствует условию критерия «лавинного эффекта». Минимальные и максимальные значения r находятся в диапазоне от 200 до 310, что практически совпадает со значениями, полученными для алгоритма «Кессак». Значения стандартного отклонения r при использовании алгоритма «Кессак» и предлагаемого алгоритма отличаются не более чем на 0.3%.

Статистические характеристики последовательности хеш-значений, полученных от неповторяющихся сообщений, должны быть схожи с характеристиками последовательности, значения которой получены случайным образом [6]. Для проверки данного свойства использовались статистические тесты Национального института стандартов и технологий США (National Institute of Standards and Technology, NIST) [7]. Данный набор тестов ориентирован на выявление различных дефектов случайностей во входной последовательности. Для 400 000 сообщений размером 256 байт были вычислены хеш-значения размером 64 байта. Полученные хеш-значения были записаны последовательно в файл, из которого было сформировано 200 последовательностей размером 1 000 000 бит каждая. После этого данные последовательности были подвергнуты тестированию с использованием пакета статистических тестов NIST.

Количество последовательностей, прошедших тестирование по каждому тесту представлены в табл. 2. Согласно рекомендациям NIST,

Т а б л и ц а 2. Количество последовательностей, прошедших тесты NIST

Хаотическое отображение	Номер теста							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Отображение «Кот Арнольда»	198	198	198	200	200	198	199	195
Отображение Чирикова	199	195	199	197	200	200	198	194
Отображение Эно	198	194	198	197	199	199	199	194
Хаотическое отображение	Номер теста							
	9	10	11	12	13	14	15	
Отображение «Кот Арнольда»	200	198	197	121 из 124	122 из 124	196	199	
Отображение Чирикова	198	198	197	126 из 128	126 из 128	197	199	
Отображение Эно	198	199	199	121 из 122	120 из 122	198	199	

для того, чтобы тест считался успешно пройденным, необходимо, чтобы минимальное количество последовательностей, прошедших тест составляло 193 последовательности из 200 последовательностей, 123 из 128, 121 из 126, 119 из 124, 117 из 122, 116 из 121 последовательности. Анализ показал, успешно пройденными являются все тесты NIST при использовании хаотических отображений «Кот Арнольда», Чирикова, Эно.

Анализ времени формирования хеш-значения

Для проведения оценки вычислительной сложности проведен расчет количества операций z , необходимых для обработки одного блока сообщения размером 576 бит предлагаемого алгоритма и алгоритма «Кессак» (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Количество операций z , необходимое для обработки одного блока сообщения размером 576 бит

Алгоритм «Кессак»		Предлагаемый алгоритм с использованием отображения «Кот Арнольда»	
Количество операций	Наименование операции	Количество операций	Наименование операции
1752	«сложение по модулю 2»	36	«сложение по модулю 2»
384	«логическое или»	144	«умножение»
192	«логическое и»	72	«сложение»
192	«логическое не»	72	«дробная часть числа»
768	«циклический сдвиг»		

Если принять количество тактов на выполнение логических операций, операции «сложение по модулю 2», операции «циклический сдвиг» равным 1, на выполнение операций «сложение» и «дробная часть числа» равным 5,

а на выполнение операции «умножение» – 9 [8], то общее количество тактов, необходимое алгоритму «Кессак» равно 3288, а предлагаемому алгоритму – 2052. При использовании в предлагаемом алгоритме отображения Эно общее количество операций существенно не меняется. При использовании отображения Чирикова требуется проведение операций «синус».

Также осуществлен анализ времени формирования хеш-значений на компьютере с центральным процессором AMD A4-4300M APU с частотой 2.5 ГГц, с установленной 64-разрядной операционной системой Windows 7. Исходные размеры сообщений s были выбраны равными 2^j байт, где $j = 7, 8, \dots, 18$. Графики зависимости времени t_h формирования хеш-значения от размера сообщения s при использовании различных хаотических отображений представлены на рис. 1.

Как следует из полученных данных, наименьшее время формирования хеш-значения достигается при использовании отображения «Кот Арнольда», наибольшее – при использовании отображения «Чирикова». При использовании отображения Эно данный показатель превышает приблизительно на 20% показатель, полученный при использовании отображения «Кот Арнольда».

Для сообщений с размером менее 2 Кб, алгоритм «Кессак» превосходит по быстродействию предлагаемый алгоритм. Однако, для сообщений с размером большим, чем 4 Кб, при использовании отображений Эно и «Кот Арнольда» предлагаемый алгоритм справляется с задачей за меньшее время, чем «Кессак». Так, при размере файла, равном 256 Кбайт алгоритму «Кессак» требуется на 25% больше времени, чем предлагаемому алгоритму

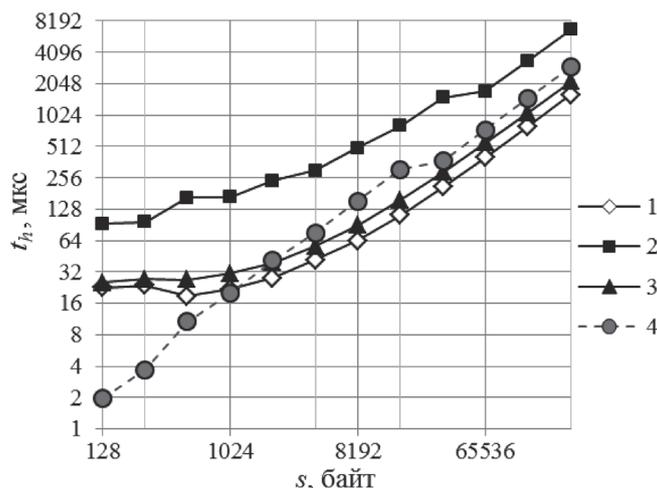


Рис. 1. Зависимость времени формирования хеш-значения t_h от размера сообщения s : 1 – «Кот Арнольда», 2 – Чирикова, 3 – Эно; 4 – алгоритм «Кессак»

при использовании отображения Эно, и на 40% больше по сравнению со случаем использования отображения «Кот Арнольда». При использовании отображения Чирикова предлагаемый алгоритм формирует хеш-значение примерно в 2 раза медленнее, чем алгоритм «Кессак».

Заключение

Предложен алгоритм хеширования на основе двумерных дискретных хаотических отображений. Благодаря использованию хаотических отображений, предлагаемый алгоритм является необратимым, а поиск двух сообщений с одинаковыми хеш-значениями становится вычислительно затруднительным.

Тестирование предлагаемого алгоритма показало, что для него характерным является наличие лавинного эффекта. Статистические ха-

рактеристики последовательности, сформированной из хеш-значений, схожи со статистическими характеристиками последовательности, значения элементов которой получены случайным образом, что свидетельствует о работоспособности предлагаемого алгоритма.

Вычислительный эксперимент проведен с использованием отображений Чирикова, «Кот Арнольда» и Эно. Установлено, что для сообщений с размером, превышающим 4 Кб, при использовании отображений Эно и «Кота Арнольда» предлагаемый алгоритм справляется с задачей более чем на 20% быстрее, чем алгоритм «Кессак».

Рассмотренный алгоритм хеширования может быть использован при решении задач контроля целостности данных при передаче информации в современных телекоммуникационных системах.

Литература

1. **Криптология**: учебник / Ю. С. Харин [и др.]. – Минск: БГУ, 2013. – 511 с.
2. **Sobti, R.** Cryptographic hash functions: a review / R. Sobti, G. Geetha // International journal of computer science issues. – 2012. – Vol. 2, № 2. – P. 461–479.
3. **Птицын, Н.** Приложение теории детерминированного хаоса в криптографии / Н. Птицын. – М: МГТУ им. Н. Э. Баумана – 2002. – 80 с.
4. **One-Way hash function based on cascade chaos / F. Xiang [et al.]** // The open cybernetics & systemics journal. – 2015. – Vol. 9. – P. 573–580.
5. **SHA-3 Standard**: Permutation-Based Hash and Extendable-Output Functions: FIPS 202. – Publ. 2015-08-01. – Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2015. – 29 p.
6. **Мао, В.** Современная криптография: теория и практика / В. Мао (под ред. Ключиной Д. А.). – М: издательский дом Вильямс – 2005. – 768 с.
7. **On the interpretation of results from the NIST statistical test suite / M. Sys [et al.]** // Romanian Journal of information science and technology. – 2015. – Vol. 18, № 1. – P. 18–32.
8. **Fog, A.** Instruction tables: Lists of instruction latencies, throughputs and micro-operation breakdowns for Intel, AMD and VIA CPUs [Electronic resource] / A. Fog. – Technical University of Denmark, 2016. – Mode of access: http://www.agner.org/optimize/instruction_tables.pdf. – Date of access: 27.03.2017.

References

1. **Cryptology**: textbook / Yu. S. Kharin [et al.]. – Minsk: BSU, 2013. – 511 p.
2. **Sobti, R.** Cryptographic hash functions: a review / R. Sobti, G. Geetha // International journal of computer science issues. – 2012. – Vol. 2, № 2. – P. 461–479.
3. **Pticyn, N.** Deterministic chaos theory application to cryptography / N. Pticyn. – Moscow: Bauman MSTU – 2002. – 80 p.
4. **One-Way hash function based on cascade chaos** / F. Xiang [et al.] // The open cybernetics & systemics journal. – 2015. – Vol. 9. – P. 573–580.
5. **SHA-3 Standard**: Permutation-Based Hash and Extendable-Output Functions: FIPS 202. – Publ. 2015-08-01. – Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2015. – 29 p.
6. **Mao, W.** Modern Cryptography: Theory and Practice / W. Mao (edited by Kljushina D. A.). – Moscow: Williams Publishing House. – 2005. – 768 p.
7. **On the interpretation of results from the NIST statistical test suite** / M. Sys [et al.] // Romanian journal of information science and technology. – 2015. – Vol. 18, № 1. – P. 18–32.
8. **Fog, A.** Instruction tables: Lists of instruction latencies, throughputs and micro-operation breakdowns for Intel, AMD and VIA CPUs [Electronic resource] / A. Fog. – Technical University of Denmark, 2016. – Mode of access: http://www.agner.org/optimize/instruction_tables.pdf. – Date of access: 27.03.2017.

Поступила
04.03.2017

После доработки
07.04.2017

Принята к печати
10.06.2017

Sidorenko A. V., Shakinko I. V.

HASHING ALGORITHM BASED ON TWO-DIMENSIONAL CHAOTIC MAPPINGS

Belarusian State University

A new hashing algorithm based on dynamic chaos is proposed. Owing to the use of chaotic mappings, this algorithm is irreversible and a search for two messages with identical hash-values becomes computationally difficult. The proposed algorithm consists of the stages: selection of the variables and of the parameters of two-dimensional chaotic mappings; realization of iterations of the chaotic mappings with the addition of the original-message elements to the variables; realization of iterations of the chaotic mappings without the addition of the original-message elements to the variables; the hash-value formation. The formation of the two hash-values h_1 and h_2 realized with different orders of the variables. The resultant hash-value is obtained by the modulo-2 addition operation applied to the hash-values h_1 and h_2 . The proposed algorithm has been tested. It has been found that this algorithm is characterized by the avalanche effect. The statistical characteristics of the sequence formed of hash-values are identical to those of the sequence with the randomly obtained values of the elements, pointing to the adequate performance of this algorithm. The computational experiment has been realized using the Chirikov, «Arnold's cat» and Henon maps. It is demonstrated that, with the use of Henon and «Arnold's cat» maps for the messages exceeding 4 KB, the proposed algorithm outperforms «Keccak» algorithm, being faster by 20% and more.

The proposed hashing algorithm may be used in solving the problems of data integrity in modern telecommunication systems.

Keywords: *dynamic chaos, chaotic mapping, hashing, data integrity, information security.*



Сидоренко Алевтина Васильевна. Профессор кафедры физики и аэрокосмических технологий. Научные интересы: защита информации в телекоммуникационных системах, динамический хаос, теоретическая информатика, радиофизика, биофизика.

Sidorenko Alevtina Vasilevna – professor, doctor of technical sciences. Department of Radiophysics and Computer technologies. Belarusian State University. Scientific interests: information security, dynamic chaos, theoretic informatics, radiophysics, biophysics. E-mail: sidorenkoa@yandex.ru



Шакинко Иван Владимирович. Аспирант кафедры телекоммуникаций и информационных технологий БГУ. Научные интересы: защита информации в телекоммуникационных системах, динамический хаос и его применение.

Shakinko Ivan Vladimirovich – post graduate. Scientific interests: information security in telecommunication systems, dynamic chaos and it's application.

Данная работа выполняется в рамках ГПНИ «Информатика, космос и безопасность».

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
В ОБРАЗОВАНИИ**

**INFORMATION
TECHNOLOGIES
IN EDUCATION**

УДК 811.111'33(045)

Н. А. МЕТЛИЦКАЯ

ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ БАЗА ДАННЫХ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОРОЖДЕНИЯ АНГЛОЯЗЫЧНОГО РЕКЛАМНОГО ТЕКСТА

Минский государственный лингвистический университет

Целью данной работы является разработка лингвистического обеспечения автоматической системы порождения англоязычного рекламного текста по косметике и парфюмерии, и ее последующая реализация в виде компьютерной программы. Создаваемая система разрабатывается по принципу лингвистически мотивированных технологий, что требует использования широкого спектра лингвистических знаний о структуре и содержании порождаемого текста (базы данных, семантические и формальные языки). Лингвистическая база данных рассматриваемой системы включает следующие компоненты: автоматический словарь лексических единиц с указанием семантических и морфологических сведений, семантико-синтаксические формулы текстов на формальном языке СЕМСИНТ. В работе рассматривается каждая составляющая этой базы данных.

Словарь лексических единиц строится на основе анализа тридцати оригинальных англоязычных рекламных текстов по косметике и парфюмерии, относящимся к трем предметным областям (зубная помада, тушь для ресниц, шампунь). Словарная статья автоматического словаря включает две зоны: зону грамматических сведений, зону семантических сведений. Зона грамматических сведений содержит информацию о части речи лексической единицы, а также набор ее морфологических признаков. Зона семантических сведений включает семантический признак лексической единицы, т. е. ее отнесенность к определенному семантическому подклассу. Для этого была произведена семантическая классификация всех слов исследуемых текстов с присвоением им соответствующих кодов. В качестве примера в работе приводится результат семантической классификации имен существительных исследуемых рекламных текстов предметной области «зубная помада».

Вторую часть базы данных составляют семантико-синтаксические формулы текстов на формальном языке СЕМСИНТ. В работе описываются составляющие языка СЕМСИНТ, а также рассматривается его сущность и правила его использования. Представлен пример семантико-синтаксической формулы текста, созданной средствами данного формального языка.

Ключевые слова: автоматическое порождение рекламного текста, лингвистическое обеспечение, автоматический словарь лексических единиц, формальный язык.

Введение

Несмотря на то, что автоматическим порождением текста занимаются уже на протяжении нескольких десятилетий, данная проблема все еще находится на стадии исследования и разработки [1, 2, 3, 4 и др.]. Связано это с тем, что текст представляет собой сложное, многоуровневое явление, результат взаимодействия большого числа факторов – лингвистических, психологических, логических, коммуникативных. На основе результатов исследований в общем виде можно выделить два принципиально различных подхода к порождению текста компьютером [5, 6]:

– системы автоматического порождения текста, основанные на использовании шаблонов, т. е. шаблонные технологии;

– системы автоматического порождения текста, основанные на использовании лингвистических знаний, т. е. лингвистически мотивированные технологии.

Первые предполагают использование при порождении текста готовых текстовых фрагментов, и потому имеют ряд ограничений, связанных с невозможностью менять формат и содержание порождаемого текста. Вторые работают с содержанием будущего текста, представленном в виде данных нетекстовой природы (базы данных, базы знаний, семантические и формальные языки) [6]. Они подраз-

умевают моделирование процесса порождения текста человеком, что требует использования широкого спектра лингвистических знаний. Данная работа посвящена разработке лингвистического обеспечения автоматической системы порождения англоязычного рекламного текста по косметике и парфюмерии.

База данных системы автоматического порождения англоязычного рекламного текста

Лингвистическая база данных системы автоматического порождения рекламного текста включает следующие компоненты: 1) автоматический словарь лексических единиц с указанием семантических и морфологических сведений; 2) семантико-синтаксические формулы текстов на формальном языке СЕМСИИТ.

Рассмотрим каждую составляющую описываемой базы данных подробнее.

Словарь лексических единиц разрабатываемой системы строится на основе анализа тридцати оригинальных англоязычных рекламных

текстов по косметике и парфюмерии, относящимся к трем предметным областям (губная помада, тушь для ресниц, шампунь). Тексты взяты с официальных сайтов косметических компаний сети Интернет. Словарная статья автоматического словаря включает две зоны:

- семантических сведений;
- грамматических сведений.

Зона семантических сведений содержит семантический признак лексической единицы, т. е. ее отнесенность к определенному семантическому подклассу. Разработанная в данном исследовании семантическая классификация лексических единиц основана на денотативно-сигнификативном принципе и отражает классификацию самих предметов и явлений, обозначенных данными словами. Семантические подклассы выделены в составе классов лексических единиц, имеющих общую категориальную сему предметности (имена существительные), признаковости (имена прилагательные, наречия), процессуальности (глаголы). В табл. 1 представлена общая схема семантической классификации

Таблица 1. Семантическая классификация имен существительных рекламных текстов по косметике и парфюмерии (губная помада)

Сегменты реальной действительности	Семантический подкласс существительного	Код подкласса
Человек и его мир	Понятия, обозначающие части тела человека (lip, pout)	N01
	Понятия, описывающие части тела человека (surface, finish)	N02
	Понятия, используемые для обозначения действия (application, coverage, wear)	N03, N04
	Понятия, связанные с состояниями, ощущениями, чувствами восприятия (feel, look)	N05, N06
	Понятия, используемые для положительной характеристики человека и неживой природы (beauty, sophistication, care, caress, indulgence)	N07
Природа	Состояния и процессы, протекающие в природе, имеющие положительный результат (moisture, comfort)	N08
	Состояния и процессы, протекающие в природе, имеющие негативный результат (fading, dulling, feathering, drying)	N09
	Вещества, материалы, природные элементы (Vitamin, oil, wax, pigment, Omega)	N10, N11, N12, N13
	Растения (argan)	N14
	Цвета, оттенки (color, shade, rose, red, coral, scarlet)	N15, N16, N17
	Абстрактные понятия, мыслимые образы (experience, effect, balance)	N18, N19
Производство	Косметические средства (lipstick, lipcolour, gel-color)	N20
	Понятия, характеризующие косметические средства по составу/структуре (system, formula, texture)	N21
Предметы	Предметы-артефакты и их части (applicator, tube)	N22
	Физические характеристики предметов (gloss, shine, luster, shimmer)	N23
	Качественные характеристики предметов (smoothness, creaminess)	N24
Время	Временные понятия (hour, day)	N25, N26
Имена собственные	Наименования (E)	N27

имен существительных исследуемых рекламных текстов, относящихся к предметной области «губная помада». С более подробной лексико-семантической классификацией исследованных текстов можно ознакомиться в работе [7].

Зона грамматических сведений содержит информацию о части речи лексической единицы, а также набор ее морфологических признаков. Для этого каждой лексической единице присваивается определенный код, обозначающий ее часть речи. Так, например, кодом N обозначаются имена существительные, А – прилагательные, V – глаголы, S – наречия, P – местоимения, M – числительные, и т. д.

Каждый класс знаменательных слов, составляющих словарь системы порождения, обладает собственными грамматическими признаками. Поэтому морфологическая информация, представленная в зоне грамматических сведений лексических единиц разных частей речи, различна. Так, например, в словарной статье имени существительного приводятся формы единственного и множественного числа. В зоне морфологических сведений для глагола указываются формы инфинитива, 3-го лица единственного числа настоящего времени, формы причастий. Указания более подробной информации в силу специфики употребления в английском языке требует глагол *to be*. Примеры словарных статей упомянутых частей речи представлены в табл. 2, 3, 4.

Таблица 2. Схема словарной статьи имени существительного

Основа	Форма множественного числа	Код семантического подкласса
1	2	3
color	colors	N15

Таблица 3. Схема словарной статьи глагола

Инфинитив	Форма 3-го лица ед. ч. настоящего времени	Причастие I	Причастие II	Код семантического подкласса
1	2	3	4	5
discover	discovers	discovering	discovered	V01

Таблица 4. Схема словарной статьи глагола *to be*

Инфинитив	Формы наст. времени			Причастие I	Причастие II	Код семантического подкласса
	1	2	3			
1	2			3	4	5
be	am	is	are	being	been	V18

Одной из задач, которую необходимо решить при разработке системы автоматического порождения текста, является представление содержания будущего текста на некотором формальном языке, понятном компьютеру. Семантико-синтаксический язык СЕМСИНТ позволяет формально описывать содержание текста с учётом семантико-синтаксических отношений и связей между его компонентами. Набор семантико-синтаксических формул исследуемых текстов на языке СЕМСИНТ представляет вторую составляющую базы данных рассматриваемой системы порождения текста.

1) В самом общем виде язык СЕМСИНТ включает следующие компоненты:

2) алфавит языка (все знаки основного набора клавиатуры современных персональных компьютеров, т. е. русские и латинские буквы, цифры, орфографические знаки, знаки арифметических и логических действий);

3) систему средств для записи семантических отношений между членами предложения;

4) систему средств для записи синтаксических отношений между членами предложения.

Для описания смысла предложения используется падежно-ролевой подход. Автор [8] исходит из идеи о том, что предложение (текст) отражает некоторую ситуацию действительности, а семантическая формула должна отражать семантико-синтаксические роли конкретных участников ситуации, описанной в тексте. В основе данного формального языка лежит идея о глубинных падежах Чарльза Филлмора. Как известно, суть идеи Ч. Филлмора заключается в том, что семантические падежи отображают глубинную семантическую структуру предложения, указывая на роли конкретных участников реальной ситуации или события, которые описываются в предложении (тексте) [9]. В работе [9] предлагается использовать семь глубинных падежей:

– агентив (действующее лицо, производитель действия);

– датив (адресат);

– инструменталис (инструмент);

– фактитив (неодушевленный предмет, возникающий в результате действия, означаемого глаголом);

– локатив (место);

– объектив (неодушевленный объект, подвергающийся воздействию);

- темпоратив (время).

В формальном языке СЕМСИИТ для фиксации семантических отношений между компонентами текста используется определенный набор семантических функций, подобных семантическим падежам Ч. Филлмора. Нами были использованы 19 семантических функций, описанных в работе [8]: AAG – субъект, AH1 – предмет, AEL – П-деятель, AP – объект, AB2 – адресат, AO – Н-объект, ALK – место, AMD – средство, AIN – инструмент, АКМ – состав, AD1 – определитель, АТМ – время, AAD – способ, CND – условие, PPS – цель, RST – результат, CAS – причина, PRP – свойство, SPC – уточнение. Данные функции выделены с учетом специфики исследуемых текстов.

Следует отметить, что семантические функции относятся не к отдельному слову предложения, а к аргументной группе – группе слов, включающих в себя существительное и все относящиеся к нему определители, выраженные прилагательными, причастиями, числительными, местоимениями. В семантико-синтаксической формуле предложения аргументная группа представлена цепочкой кодов семантических подклассов существительного и определителей, которые соединяются знаком «*». Слева и справа аргументная группа ограничивается знаками «<» и «>», соответственно. Перед каждой цепочкой ставится один из кодов семантических падежей. Для обозначения в семантической формуле глагола-сказуемого используется код R_n , где n – цифра, указывающая семантическую валентность глагола. Затем между знаками «<» и «>» указывается код семантического подкласса глагола. Все составные части семантической формулы предложения соединяются между собой знаком «+».

Создание семантико-синтаксических формул исследуемых текстов происходит на основе рассмотренного выше словаря лексических единиц и присвоенных им соответствующих кодов. Например, запись N01/2 означает, что данная лексическая единица является именем существительным, которое относится к семантическому подклассу «части тела человека» и употреблено в форме множественного числа. Для отображения синтаксических отношений между членами предложения соответствующие коды были присвоены предлогам и союзам.

Ниже приводится пример одного из исследованных рекламных текстов:

Color Rich Gloss

Extreme shine.

Supreme creaminess.

Ultra-hydrating argan oil & Omega 3.

Discover our rich shine indulgence for your lips.

New Color Rich Gloss is infused with ultra-hydrating Omega 3, protective vitamin E, and argan oil for our rich shine experience. Wear alone or over your favorite shade of lipcolour to customize your look. Available in 16 sensual shades.

Семантико-синтаксическая формула данного текста на формальном языке СЕМСИИТ была представлена следующим образом:

AH1<N15/1*A12*N23/1>

AD1<A12*N23/1>.

AD1<A12*N24/1>.

AKM<A11*N14/1*N11/1*C01*N13/1*3>.

R<V01/1>+AO<P09*A12*N23/1*N07/1>+AD1<J05*P10*N01/2>.

AH1<A05*N15/1*A12*N23/1>+R2<V18/2.2*V06/4>+AKM<J03*A11* N13/1*3,*A11*N10/1*N27/1*C01*N14/1*N11/1> + PPS<J05* P09*A12*N23/1*N18/1>.

R<V02/1> + AAD<A18*C03*J08*P10*A14*N16/1*J04*N20/1>+R<K01*V03/1>+AO<P10*N06/1>. AD1<A13*J06*16*A05*N16/2>.

Заключение

Важным этапом создания системы автоматического порождения текстов является разработка лингвистических ресурсов, которые описывают знания, необходимые для текстопорождения. В работе представлены результаты разработки лингвистического обеспечения для системы автоматического порождения англоязычных рекламных текстов по косметике и парфюмерии. Алгоритм работы компьютерной программы порождения рекламного текста основан на взаимодействии описанных блоков базы данных. Использование представленной лингвистической базы данных позволит автоматически создавать англоязычные рекламные тексты, максимально приближенные по своему содержанию и семантико-синтаксической структуре к текстам, порождаемым человеком.

Литература

1. Болдасов, М. В. Генерация текстов на естественном языке – теории, методы, технологии / М. В. Болдасов, Е. Г. Соколова // НТИ. Сер.2, Информац. процессы и системы. – 2006. – № 7. – С. 1–14.
2. Всеволодова, А. В. Компьютерная обработка лингвистических данных: учеб. пособие / А. В. Всеволодова. – 2-е изд. – М.: Флинта: Наука, 2007. – 96 с.
3. Пиотровский, Р. Г. Текст, машина, человек / Р. Г. Пиотровский. – Л.: Наука, 1975. – 327 с.
4. Mann, W. C. Computer generation of multiparagraph English text / W. C. Mann, J. A. Moore // American J. of Computational Linguistics. – 1981. – Vol. 7 (1). – pp. 17–29.
5. Бусел, Т. В. Лингвистические аспекты автоматического порождения англоязычных деловых электронных писем: дис. ...канд. филол. наук: 10.02.21 / Т. В. Бусел. – Минск, 2011. – 113 л.
6. Соколова, Е. Г. Автоматическая генерация текстов на ЕЯ / Е. Г. Соколова [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dialog-21.ru/archive/2004/sokolova.htm>. – Дата доступа: 08.04.2015.
7. Метлицкая, Н. А. Лексико-семантическая специфика англоязычных рекламных текстов по косметике и парфюмерии / Н. А. Метлицкая // Вестник МГЛУ. Сер. 1, Филология. – 2016. – № 3(82). – С. 109–116.
8. Зубов, А. В. Семантико-синтаксический язык для записи текстов в памяти ЭВМ / А. В. Зубов // Функционирование и развитие языковых систем. Сб. научных трудов. – Минск: Вышэйшая школа, 1990. – С. 110–117.
9. Филлмор, Ч. Дело о падеже / Ч. Филлмор // Лингвистика XX века: система и структура языка: хрестоматия в 2 ч., сост. Е. А. Красина. – М.: РУДН, 2004. – Ч. 2. – С. 75–96.

References

1. Boldasov, M. V. Text generation in natural language – theories, methods, technologies / M. V. Boldasov, E. G. Sokolova // NTI. Ser. 2, Inform. Processes and systems. – 2006. – № 7. – pp. 1–14.
2. Vsevolodova, A. V. Computer processing of linguistic data: Handbook / A. V. Vsevolodova. – 2nd ed. – Moscow: Flinta: Science, 2007. – 96 p.
3. Piotrovsky, R. G. Text, machine, human being / R. G. Piotrovsky. – L.: Science, 1975. – 327 p.
4. Mann, W. C. Computer generation of multiparagraph English text / W. C. Mann, J. A. Moore // American J. of Computational Linguistics. – 1981. – Vol. 7 (1). – pp. 17–29.
5. Busel, T. V. Linguistic aspects of automatic generation of English business correspondence texts: dissertation/PhD in Philology: 10.02.21 / T. V. Busel. – Minsk, 2011. – 113 p.
6. Sokolova, E. G. Automatic text generation in natural language [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.dialog-21.ru/archive/2004/sokolova.htm>. – Date of access: 08.04.2015.
7. Metlitskaya, N. A. Lexical-semantic specificity of English advertising texts on cosmetics and perfumery / N. A. Metlitskaya // Vestnik MSLU, Vol. 3(82). – 2016. – pp. 109–116.
8. Zubov, A. V. A semantic and syntactic language for text entry in computer memory / A. V. Zubov // Functioning and development of language systems: Collection of scientific papers. – Minsk: Vyshejschaya shkola, 1990. – pp. 110–117
9. Fillmore, Ch. The case for case / Ch. Fillmore // Linguistics of XX century: language system and structure: hrestomatija in 2 parts, sost. E. A. Krasina. – Moscow: RUDN, 2004. – Part 2. – pp. 75–96.

Поступила
28.03.2017

После доработки
05.04.2017

Принята к печати
10.06.2017

N. A. Metlitskaya

LINGUISTIC DATABASE FOR AUTOMATIC GENERATION SYSTEM OF ENGLISH ADVERTISING TEXTS

Minsk State Linguistic University

The article deals with the linguistic database for the system of automatic generation of English advertising texts on cosmetics and perfumery. The database for such a system includes two main blocks: automatic dictionary (that contains semantic and morphological information for each word), and semantic-syntactical formulas of the texts in a special formal language SEMSINT. The database is built on the result of the analysis of 30 English advertising texts on cosmetics and perfumery. First, each word was given a unique code. For example, N stands for nouns, A – for adjectives, V – for verbs, etc. Then all the lexicon of the analyzed texts was distributed into different semantic categories. According to this semantic classification each word was given a special semantic code. For example, the record N01 that is attributed to the word «lip» in the dictionary means that this word refers to nouns of the semantic category «part of a human's body».

The second block of the database includes the semantic-syntactical formulas of the analyzed advertising texts written in a special formal language SEMSINT. The author gives a brief description of this language, presenting its essence and structure. Also, an example of one formalized advertising text in SEMSINT is provided.

Keywords: automatic generation of English advertising texts, linguistic database, automatic dictionary, semantic-syntactical formal language.



Метлицкая Наталья Анатольевна, аспирант кафедры информатики и прикладной лингвистики Минского государственного лингвистического университета (специальность 10.02.21 – прикладная и математическая лингвистика). Окончила Минский государственный лингвистический университет (2007), магистратуру МГЛУ (2008). С 2007 по 2013гг. работала преподавателем английского языка на кафедре интенсивного обучения иностранным языкам факультета иностранных языков для руководящих работников и специалистов МГЛУ. Научные интересы: прикладная лингвистика, лингвистическое обеспечение информационных систем.

Адрес: г. Минск, ул. Есенина, 6/3, кв.81. Тел: (29) 502 88 91.

E-mail: magnatusik@gmail.com

Natalia Metlitskaya, postgraduate student of Minsk State Linguistic University, department of Informatics and Applied linguistics (specialization 10.02.21 – Applied and mathematical linguistics). Graduated from Minsk State Linguistic University (2007), Master of Philology (2008). From 2007 to 2013 worked as an English teacher at the Department of Intensive learning of foreign languages of MSLU. Scientific interests: Applied linguistics, lingware for automatic systems. E-mail: magnatusik@gmail.com tel.: (29) 502 88 91.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ

а) Примеры описания самостоятельных изданий

Характеристика источника	Пример оформления
Один, два или три автора	Котаў, А. І. Гісторыя Беларусі і сусветная цывілізацыя / А. І. Котаў. – 2-е выд. – Мінск: Энцыклапедыкс, 2003. – 168 с.
	Шотт, А. В. Курс лекций по частной хирургии / А. В. Шотт, В. А. Шотт. – Минск: Асар, 2004. – 525 с.
	Чикатуева Л. А. Маркетинг: учеб. пособие / Л. А. Чикатуева, Н. В. Третьякова; под ред. В. П. Федько. – Ростов н/Д: Феникс, 2004. – 413 с.
Четыре и более авторов	Дайнеко, А. Е. Экономика Беларуси в системе всемирной торговой организации / А. Е. Дайнеко, Г. В. Забавский, М. В. Василевская; под ред. А. Е. Дайнеко. – Минск: Ин-т аграр. экономики, 2004. – 323 с.
	Культурология: учеб. пособие для вузов / С. В. Лапина [и др.]; под общ. ред. С. В. Лапиной. – 2-е изд. – Минск: ТетраСистемс, 2004. – 495 с.
	Комментарий к Трудовому кодексу Республики Беларусь / И. С. Андреев [и др.]; под общ. ред. Г. А. Василевича. – Минск: Амалфея, 2000. – 1071 с.
Коллективный автор	Основы геологии Беларуси / А. С. Махнач [и др.]; НАН Беларуси, Ин-т геол. наук; под общ. ред. А. С. Махнача. – Минск, 2004. – 391 с.
	Сборник нормативно-технических материалов по энергосбережению / Ком. по энергоэффективности при Совете Министров Респ. Беларусь; сост. А. В. Филипович. – Минск: Лоранж-2, 2004. – 393 с.
	Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. / Нац. комис. по устойчивому развитию Респ. Беларусь; редкол.: Л. М. Александрович [и др.]. – Минск: Юнипак, 2004. – 202 с.
Многотомное издание	Военный энциклопедический словарь / М-во обороны Рос. Федерации, Ин-т воен. истории; редкол.: А. П. Горкин [и др.]. – М.: Большая рос. энцикл.: РИПОЛ классик, 2002. – 1663 с.
	Гісторыя Беларусі: у 6 т. / рэдкал.: М. Касцюк (гал. рэд.) [і інш.]. – Мінск: Экаперспектыва, 2000–2005. – 6 т.
	Гісторыя Беларусі: у 6 т. / рэдкал.: М. Касцюк (гал. рэд.) [і інш.]. – Мінск: Экаперспектыва, 2000–2005. – Т. 3: Беларусь у часы Рэчы Паспалітай (XVII–XVIII ст.) / Ю. Бохан [і інш.]. – 2004. – 343 с.; Т. 4: Беларусь у складзе Расійскай імперыі (канец XVIII–пачатак XX ст.) / М. Біч [і інш.]. – 2005. – 518 с.
Отдельный том в многотомном издании	Багдановіч, М. Поўны збор твораў: у 3 т. / М. Багдановіч. – 2-е выд. – Мінск: Беларус. навука, 2001. – 3 т.
	Гісторыя Беларусі: у 6 т. / рэдкал.: М. Касцюк (гал. рэд.) [і інш.]. – Мінск: Экаперспектыва, 2000–2005. – Т. 3: Беларусь у часы Рэчы Паспалітай (XVII–XVIII ст.) / Ю. Бохан [і інш.]. – 2004. – 343 с.
	Гісторыя Беларусі: у 6 т. / рэдкал.: М. Касцюк (гал. рэд.) [і інш.]. – Мінск: Экаперспектыва, 2000–2005. – Т. 4: Беларусь у складзе Расійскай імперыі (канец XVIII–пачатак XX ст.) / М. Біч [і інш.]. – 2005. – 518 с.
	Багдановіч, М. Поўны збор твораў: у 3 т. / М. Багдановіч. – 2-е выд. – Мінск: Беларус. навука, 2001. – Т. 1: Вершы, паэмы, пераклады, наследаванні, чарнавыя накіды. – 751 с.
Законы и законодательные материалы	Российский государственный архив древних актов: путеводитель: в 4 т. / сост.: М. В. Бабич, Ю. М. Эскин. – М.: Археогр. центр, 1997. – Т. 3, ч. 1. – 720 с.
	Конституция Республики Беларусь 1994 года (с изменениями и дополнениями, принятыми на республиканских референдумах 24 ноября 1996 г. и 17 октября 2004 г.). – Минск: Амалфея, 2005. – 48 с.
	Конституция Российской Федерации: принята всенар. голосованием 12 дек. 1993 г.: офиц. текст. – М.: Юрист, 2005. – 56 с.
	О нормативных правовых актах Республики Беларусь: Закон Респ. Беларусь от 10 янв. 2000 г. № 361-3: с изм. и доп.: текст по состоянию на 1 дек. 2004 г. – Минск: Дикта, 2004. – 59 с.
	Инвестиционный кодекс Республики Беларусь: принят Палатой представителей 30 мая 2001 г.: одобр. Советом Респ. 8 июня 2001 г.: текст Кодекса по состоянию на 10 февр. 2001 г. – Минск: Амалфея, 2005. – 83 с.

Продолжение таблицы

Характеристика источника	Пример оформления
Сборник статей, трудов	Информационное обеспечение науки Беларуси: к 80-летию со дня основания ЦНБ им. Я. Коласа НАН Беларуси: сб. науч. ст. / НАН Беларуси, Центр. науч. б-ка; редкол.: Н. Ю. Березкина (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2004. – 174 с.
	Современные аспекты изучения алкогольной и наркотической зависимости: сб. науч. ст. / НАН Беларуси, Ин-т биохимии; науч. ред. В. В. Лелевич. – Гродно, 2004. – 223 с.
Сборники без общего заглавия	Певзнер, Н. Английское в английском искусстве / Н. Певзнер; пер. О. Р. Демидовой. Идеологические источники радиатора «роллс-ройса» / Э. Панофский; пер. Л. Н. Житковой. – СПб.: Азбука-классика, 2004. – 318 с.
Материалы конференций	Глобализация, новая экономика и окружающая среда: проблемы общества и бизнеса на пути к устойчивому развитию: материалы 7 Междунар. конф. Рос. о-ва экол. экономики, Санкт-Петербург, 23–25 июня 2005 г. / С.-Петерб. гос. ун-т; под ред. И. П. Бойко [и др.]. – СПб., 2005. – 395 с.
	Правовая система Республики Беларусь: состояние, проблемы, перспективы развития: материалы V межвуз. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гродно, 21 апр. 2005 г. / Гродн. гос. ун-т; редкол.: О. Н. Толочко (отв. ред.) [и др.]. – Гродно, 2005. – 239 с.
Инструкция	Инструкция о порядке совершения операций с банковскими пластиковыми карточками: утв. Правлением Нац. банка Респ. Беларусь 30.04.04: текст по состоянию на 1 дек. 2004 г. – Минск: Дикта, 2004. – 23 с.
	Инструкция по исполнительному производству: утв. М-вом юстиции Респ. Беларусь 20.12.04. – Минск: Дикта, 2005. – 94 с.
Учебно-методические материалы	Горбатов, Н. А. Общая теория государства и права в вопросах и ответах: учеб. пособие / Н. А. Горбатов; М-во внутр. дел Респ. Беларусь, Акад. МВД. – Минск, 2005. – 183 с.
	Использование креативных методов в коррекционно-развивающей работе психологов системы образования: учеб.-метод. пособие: в 3 ч. / Акад. последиплом. образования; авт.-сост. Н. А. Сакович. – Минск, 2004. – Ч. 2: Сказкотерапевтические технологии. – 84 с.
	Корнеева, И. Л. Гражданское право: учеб. пособие: в 2 ч. / И. Л. Корнеева. – М.: РИОР, 2004. – Ч. 2. – 182 с.
	Философия и методология науки: учеб.-метод. комплекс для магистратуры / А. И. Зеленков [и др.]; под ред. А. И. Зеленкова. – Минск: Изд-во БГУ, 2004. – 108 с.
Информационные издания	Реклама на рубеже тысячелетий: ретросп. библиогр. указ. (1998–2003) / М-во образования и науки Рос. Федерации, Гос. публич. науч.-техн. б-ка России; сост.: В. В. Климова, О. М. Мещеркина. – М., 2004. – 288 с.
	Щадов, И. М. Технологическая оценка экологизации угледобывающего комплекса Восточной Сибири и Забайкалья / И. М. Щадов. – М.: ЦНИЭИуголь, 1992. – 48 с. – (Обзорная информация / Центр. науч.-исслед. ин-т экономики и науч.-техн. информ. угол. пром-сти).
Каталог	Каталог жесткокрылых (Coleoptera, Insecta) Беларуси / О. Р. Александрович [и др.]; Фонд фундам. исслед. Респ. Беларусь. – Минск, 1996. – 103 с.
	Памятные и инвестиционные монеты России из драгоценных металлов, 1921–2003: каталог-справочник / ред.-сост. Л. М. Пряжникова. – М.: ИнтерКрим-пресс, 2004. – 462 с.
Авторское свидетельство	Инерциальный волнограф: а. с. 1696865 СССР, МКИ5 G 01 C 13/00 / Ю. В. Дубинский, Н. Ю. Мордашова, А. В. Ференц; Казан. авиац. ин-т. – № 4497433; заявл. 24.10.88; опубл. 07.12.91 // Открытия. Изобрет. – 1991. – № 45. – С. 28.
Патент	Способ получения сульфокатионита: пат. 6210 Респ. Беларусь, МПК7 C 08 J 5/20, C 08 G 2/30 / Л. М. Ляхнович, С. В. Покровская, И. В. Волкова, С. М. Ткачев; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № а 0000011; заявл. 04.01.00; опубл. 30.06.04 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2004. – № 2. – С. 174.
Стандарт	Безопасность оборудования. Термины и определения: ГОСТ ЕН 1070–2003. – Введ. 01.09.04. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2004. – 21 с.
Нормативно-технические документы	Национальная система подтверждения соответствия Республики Беларусь. Порядок декларирования соответствия продукции. Основные положения = Нацыянальная сістэма пацвярджэння адпаведнасці Рэспублікі Беларусь. Парадак дэкларавання адпаведнасці прадукцыі. Асноўныя палажэнні: ТКП 5.1.03–2004. – Введ. 01.10.04. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2004. – 9 с.
	Государственная система стандартизации Республики Беларусь. Порядок проведения экспертизы стандартов: РД РБ 03180.53–2000. – Введ. 01.09.00. – Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2000. – 6 с.

Продолжение таблицы

Характеристика источника	Пример оформления
Препринт	Губич, Л. В. Подходы к автоматизации проектно-конструкторских работ в швейной промышленности / Л. В. Губич. – Минск, 1994. – 40 с. – (Препринт / Акад. наук Беларуси, Ин-т техн. кибернетики; № 3).
	Прогноз миграции радионуклидов в системе водосбор – речная сеть / В. В. Скурат [и др.]. – Минск, 2004. – 51 с. – (Препринт / НАН Беларуси, Объед. ин-т энергет. и ядер. исслед. – Со-сны; ОИЭЯИ–15).
Отчет о НИР	Разработка и внедрение диагностикума аденовирусной инфекции птиц: отчет о НИР (заключ.) / Всесоюз. науч.-исслед. ветеринар. ин-т птицеводства; рук. темы А. Ф. Прохоров. – М., 1989. – 14 с. – № ГР 01870082247.
	Комплексное (хирургическое) лечение послеоперационных и рецидивных вентральных грыж больших и огромных размеров: отчет о НИР / Гродн. гос. мед. ин-т; рук. В. М. Колтонюк. – Гродно, 1994. – 42 с. – № ГР 1993310.
Депонированные научные работы	Влияние деформации и больших световых потоков на люминесценцию монокристаллов сульфида цинка с микропорами / В. Г. Ключев [и др.]; Воронеж. ун-т. – Воронеж, 1993. – 14 с. – Деп. в ВИНТИ 10.06.93, № 1620-B93 // Журн. приклад. спектроскопии. – 1993. – Т. 59, № 3–4. – С. 368.
	Сагдиев, А. М. О тонкой структуре субарктического фронта в центральной части Тихого океана / А. М. Сагдиев; Рос. акад. наук, Ин-т океанологии. – М., 1992. – 17 с. – Деп. в ВИНТИ 08.06.92, № 1860–82 // РЖ: 09. Геофизика. – 1992. – № 11/12. – 11В68ДЕП. – С. 9.
	Широков, А. А. Исследование возможности контроля состава гальванических сред абсорбционно-спектроскопическим методом / А. А. Широков, Г. В. Титова; Рос. акад. наук, Ульян. фил. ин-та радиотехники и электроники. – Ульяновск, 1993. – 12 с. – Деп. в ВИНТИ 09.06.93, № 1561-B93 // Журн. приклад. спектроскопии. – 1993. – № 3–4. – С. 368.
Автореферат диссертации	Иволгина, Н. В. Оценка интеллектуальной собственности: на примере интеллектуальной промышленной собственности: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.10; 08.00.05 / Н. В. Иволгина; Рос. экон. акад. – М., 2005. – 26 с.
	Шакун, Н. С. Кірыла-Мяфодзіеўская традыцыя на Тураўшчыне: (да праблемы лакальных тыпаў старажытнаславянскай мовы): аўтарэф. дыс. ... канд. філал. навук: 10.02.03 / Н. С. Шакун; Беларус. дзярж. ун-т. – Мінск, 2005. – 16 с.
Диссертация	Анисимов, П. В. Теоретические проблемы правового регулирования защиты прав человека: дис. ... д-ра юрид. наук: 12.00.01 / П. В. Анисимов. – Н. Новгород, 2005. – 370 л.
	Лук'янюк, Ю. М. Сучасная беларуская філасофская тэрміналогія: (семантычныя і структурныя аспекты): дыс. ... канд. філал. навук: 10.02.01 / Ю. М. Лук'янюк. – Мінск, 2003. – 129 л.
Архивные материалы	1. Архив Гродненского областного суда за 1992 г. – Дело № 4/8117. 2. Архив суда Центрального района г. Могилева за 2001 г. – Уголовное дело № 2/1577.
	Центральный исторический архив Москвы (ЦИАМ). 1. Фонд 277. – Оп. 1. – Д. 1295–1734. Дела о выдаче ссуды под залог имений, находящихся в Могилевской губернии (имеются планы имений) 1884–1918 гг. 2. Фонд 277. – Оп. 1. – Д. 802–1294, 4974–4978, 4980–4990, 4994–5000, 5002–5013, 5015–5016. Дела о выдаче ссуды под залог имений, находящихся в Минской губернии (имеются планы имений) 1884–1918 гг. 3. Фонд 277. – Оп. 2, 5, 6, 7, 8.
Электронные ресурсы	Театр [Электронный ресурс]: энциклопедия: по материалам изд-ва «Большая российская энциклопедия»: в 3 т. – Электрон. дан. (486 Мб). – М.: Кордис & Медиа, 2003. – Электрон. опт. диски (CD-ROM): зв., цв. – Т. 1: Балет. – 1 диск; Т. 2: Опера. – 1 диск; Т. 3: Драма. – 1 диск.
	Регистр СНГ – 2005: промышленность, полиграфия, торговля, ремонт, транспорт, строительство, сельское хозяйство [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (14 Мб). – Минск: Комлев И. Н., 2005. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
Ресурсы удаленного доступа	Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2005. – Режим доступа: http://www.pravo.by . – Дата доступа: 25.01.2006.
	Proceeding of mini-symposium on biological nomenclature in the 21 st century [Electronic resource] / Ed. J. L. Reveal. – College Park M. D., 1996. – Mode of access: http://www.inform.ind.edu/PBIO/brum.html . – Date of access: 14.09.2005.

б) примеры описания составных частей изданий

Характеристика источника	Пример оформления
Составная часть книги	Михнюк, Т. Ф. Правовые и организационные вопросы охраны труда / Т. Ф. Михнюк // Безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие / Т. Ф. Михнюк. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск, 2004. – С. 90–101.
	Пивоваров, Ю. П. Организация мер по профилактике последствий радиоактивного загрязнения среды в случае радиационной аварии / Ю. П. Пивоваров, В. П. Михалев // Радиационная экология: учеб. пособие / Ю. П. Пивоваров, В. П. Михалев. – М., 2004. – С. 117–122.
	Ескина, Л. Б. Основы конституционного строя Российской Федерации / Л. Б. Ескина // Основы права: учебник / М. И. Абдулаев [и др.]; под ред. М. И. Абдулаева. – СПб., 2004. – С. 180–193.
Глава из книги	Бунакова, В. А. Формирование русской духовной культуры / В. А. Бунакова // Отечественная история: учеб. пособие / С. Н. Полторацк [и др.]; под ред. Р. В. Дегтяревой, С. Н. Полторака. – М., 2004. – Гл. 6. – С. 112–125.
	Николаевский, В. В. Проблемы функционирования систем социальной защиты в 1970–1980 годах / В. В. Николаевский // Система социальной защиты: теория, методика, практика / В. В. Николаевский. – Минск, 2004. – Гл. 3. – С. 119–142.
Часть из собрания сочинений, избранных произведений	Гілевіч, Н. Сон у бяссоніцу / Н. Гілевіч // Зб. тв.: у 23 т. – Мінск, 2003. – Т. 6. – С. 382–383.
	Сачанка, Б. І. Родны кут / Б. Сачанка // Выбр. тв.: у 3 т. – Мінск, 1995. – Т. 3: Аповесці. – С. 361–470.
	Пушкин, А. С. История Петра / А. С. Пушкин // Полн. собр. соч.: в 19 т. – М., 1995. – Т. 10. – С. 11–248.
	Шекспир, В. Сонеты / В. Шекспир // Избранное. – Минск, 1996. – С. 732–749.
Составная часть сборника	Коморовская, О. Готовность учителя-музыканта к реализации личностно-ориентированных технологий начального музыкального образования / О. Коморовская // Музыкальная наука и современность: взгляд молодых исследователей: сб. ст. аспирантов и магистрантов БГАМ / Белорус. гос. акад. музыки; сост. и науч. ред. Е. М. Гороховик. – Минск, 2004. – С. 173–180.
	Войтешенко, Б. С. Сущностные характеристики экономического роста / Б. С. Войтешенко, И. А. Соболенко // Беларусь и мировые экономические процессы: науч. тр. / Белорус. гос. ун-т; под ред. В. М. Руденкова. – Минск, 2003. – С. 132–144.
	Скуратов, В. Г. Отдельные аспекты правового режима закладных в постсоветских государствах / В. Г. Скуратов // Экономико-правовая парадигма хозяйствования при переходе к цивилизованному рынку в Беларуси: сб. науч. ст. / Ин-т экономики НАН Беларуси, Центр исслед. инфраструктуры рынка; под науч. ред. П. Г. Никитенко. – Минск, 2004. – С. 208–217.
	Якіменка, Т. С. Аб песенна-эпічнай традыцыі ў музычным фальклоры беларусаў / Т. С. Якіменка // Беларуская музыка: гісторыя і традыцыі: зб. навук. арт. / Беларус. дзярж. акад. музыкі; склад. і навук. рэд. В. А. Антаневіч. – Мінск, 2003. – С. 47–74.
Статьи из сборников тезисов докладов и материалов конференций	Пеньковская, Т. Н. Роль и место транспортного комплекса в экономике Республики Беларусь / Т. Н. Пеньковская // География в XXI веке: проблемы и перспективы: материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 70-летию геогр. фак. БГУ, Минск, 4–8 окт. 2004 г. / Белорус. гос. ун-т, Белорус. геогр. о-во; редкол.: Н. И. Пирожник [и др.]. – Минск, 2004. – С. 163–164.
	Ермакова, Л. Л. Полесский караванный обряд в пространстве культуры / Л. Л. Ермакова // Тураўскія чытанні: матэрыялы рэсп. навук.-практ. канф., Гомель, 4 верас. 2004 г. / НАН Беларусі, Гомел. дзярж. ун-т; рэдкал.: У. І. Коваль [і інш.]. – Гомель, 2005. – С. 173–178.
	Бочков, А. А. Единство правовых и моральных норм как условие построения правового государства и гражданского общества в Республике Беларусь / А. А. Бочков, Е. Ф. Ивашкевич // Право Беларуси: истоки, традиции, современность: материалы междунар. науч.-практ. конф., Полоцк, 21–22 мая 2004 г.: в 2 ч. / Полоц. гос. ун-т; редкол.: О. В. Мартышин [и др.]. – Новополоцк, 2004. – Ч. 1. – С. 74–76.
Статья из продолжающегося издания	Ипатьев, А. В. К вопросу о разработке средств защиты населения в случае возникновения глобальных природных пожаров / А. В. Ипатьев, А. В. Василевич // Сб. науч. тр. / Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 2004. – Вып. 60: Проблемы лесоведения и лесоводства на радиоактивно загрязненных землях. – С. 233–238.
Статья из журнала	Бандаровіч, В. У. Дзеясловы і іх дэрываты ў старабеларускай музычнай лексіцы / В. У. Бандаровіч // Весн. Беларус. дзярж. ун-та. Сер. 4, Філалогія. Журналістыка. Педагогіка. – 2004. – № 2. – С. 49–54.
	Влияние органических компонентов на состояние радиоактивного стронция в почвах / Г. А. Соколик [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2005. – № 1. – С. 74–81.
	Масляніцына, І. Жанчыны ў гісторыі Беларусі / І. Масляніцына, М. Багадзяж // Беларус. гіст. часоп. – 2005. – № 4. – С. 49–53.
	Boyle, A. E. Globalising environmental liability: the interplay of national and international law / A. E. Boyle // J. of environmental law. – 2005. – Vol. 17, № 1. – P. 3–26.
	Caesium-137 migration in Hungarian soils / P. Szerbin [et al.] // Science of the Total Environment. – 1999. – Vol. 227, № 2/3. – P. 215–227.

Продолжение таблицы

Характеристика источника	Пример оформления
Статья из газеты	Дубовик, В. Молодые леса зелены / В. Дубовик // Рэспубліка. – 2005. – 19 крас. – С. 8. Ушкоў, Я. 3 гісторыі лімаўскай крытыкі / Я. Ушкоў // ЛіМ. – 2005. – 5 жн. – С. 7.
Статья из энциклопедии, словаря	Аляхновіч, М. М. Электронны мікраскоп / М. М. Аляхновіч // Беларус. энцыкл.: у 18 т. – Мінск, 2004. – Т. 18, кн. 1. – С. 100. Витрувий // БСЭ. – 3-е изд. – М., 1971. – Т. 5. – С. 359–360. Дарашэвіч, Э. К. Храптовіч І. І. / Э. К. Дарашэвіч // Мысліцелі і асветнікі Беларусі (X–XIX стагоддзі): энцыкл. давед. / склад. Г. А. Маслыка; гал. рэд. Б. І. Сачанка. – Мінск, 1995. – С. 326–328. Мяснікова, Л. А. Природа человека / Л. А. Мяснікова // Современный философский словарь / под общ. ред. В. Е. Кемерова. – М., 2004. – С. 550–553.
Рецензии	Краўцэвіч, А. [Рэцэнзія] / А. Краўцэвіч // Беларус. гіст. зб. – 2001. – № 15. – С. 235–239. – Рэц. на кн.: Гісторыя Беларусі: у 6 т. / рэдкал.: М. Касцюк (гал. рэд.) [і інш.]. – Мінск: Экаперспектыва, 2000. – Т. 1: Старажытная Беларусь / В. Вяргей [і інш.]. – 351 с. Пазнякоў, В. Крыху пра нашыя нацыянальныя рысы / В. Пазнякоў // Arche = Пачатак. – 2001. – № 4. – С. 78–84. – Рэц. на кн.: Лакотка, А. І. Нацыянальныя рысы беларускай архітэктуры / А. І. Лакотка. – Мінск: Ураджай, 1999. – 366 с.
Законы и законодательные материалы	О размерах государственных стипендий учащейся молодежи: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 23 апр. 2004 г., № 468 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2004. – № 69. – 5/14142. Об оплате труда лиц, занимающих отдельные государственные должности Российской Федерации: Указ Президента Рос. Федерации, 15 нояб. 2005 г., № 1332 // Собр. законодательства Рос. Федерации. – 2005. – № 47. – Ст. 4882. О государственной пошлине: Закон Респ. Беларусь, 10 янв. 1992 г., № 1394–XII: в ред. Закона Респ. Беларусь от 19.07.2005 г. // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2006. О государственной службе российского казачества: федер. Закон Рос. Федерации, 5 дек. 2005 г., № 154–ФЗ // Консультант Плюс: Версия Проф. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр». – М., 2006. Об утверждении важнейших параметров прогноза социально-экономического развития Республики Беларусь на 2006 год: Указ Президента Респ. Беларусь, 12 дек. 2005 г., № 587 // Эталон – Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2006.
Архивные материалы	Описание синагоги в г. Минске (план части здания синагоги 1896 г.) // Центральный исторический архив Москвы (ЦИАМ). – Фонд 454. – Оп. 3. – Д. 21. – Л. 18–19. Дела о выдаче ссуды под залог имений, находящихся в Минской губернии (имеются планы имений) 1884–1918 гг. // Центральный исторический архив Москвы (ЦИАМ). – Фонд 255. – Оп. 1. – Д. 802–1294, 4974–4978, 4980–4990, 4994–5000, 5015–5016.
Составная часть CD-ROMа	Введенский, Л. И. Судьбы философии в России / Л. И. Введенский // История философии [Электронный ресурс]: собрание трудов крупнейших философов по истории философии. – Электрон. дан. и прогр. (196 Мб). – М., 2002. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM): зв., цв.
Ресурсы удаленного доступа	Козулько, Г. Беловежская пуца должна стать мировым наследием / Г. Козулько // Беловежская пуца – XXI век [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа: http://bp21.org.by/ru/art/a041031.html . – Дата доступа: 02.02.2006. Лойша, Д. Республика Беларусь после расширения Европейского Союза: шенгенский процесс и концепция соседства / Д. Лойша // Белорус. журн. междунар. права [Электронный ресурс]. – 2004. – № 2. – Режим доступа: http://www.cenunst.bsu.by/journal/2004.2/01.pdf . – Дата доступа: 16.07.2005. Статут Международного Суда // Организация Объединенных Наций [Электронный ресурс]. – 2005. – Режим доступа: http://www.un.org/russian/document/basicdoc/statut.htm . – Дата доступа: 10.05.2005. Cryer, R. Prosecuting international crimes: selectivity and the international criminal law regime / R. Cryer // Peace Palace Library [Electronic resource]. – The Hague, 2003–2005. – Mode of access: http://catalogue.ppl.nl/DB=1/SET=3/TTL=11/SHW?FRST=12 . – Date of access: 04.01.2006.