

ISSN 1727–6209

TERNOPIL NATIONAL ECONOMIC UNIVERSITY
RESEARCH INSTITUTE FOR INTELLIGENT COMPUTER SYSTEMS
IN COOPERATION WITH V.M. GLUSHKOV INSTITUTE FOR
CYBERNETICS, NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, UKRAINE



International Journal of

Computing

Published since 2002

June 2013, Volume 12, Issue 2

Ternopil
TNEU
2013

International Journal of Computing

June 2013, Vol. 12, Issue 2

Research Institute for Intelligent Computer Systems,
Ternopil National Economic University

Registered by the Ministry of Justice of Ukraine.

Registration certificate of printed mass media – KB #17050-5820PR, 15.07.2010.

It's published under resolution of the TNEU Scientific Council, protocol # 6, April 12, 2013

Editorial Board

EDITOR-IN-CHIEF

Anatoly Sachenko

Ternopil National Economic University,
Ukraine

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Volodymyr Turchenko

University of Tennessee, USA

ASSOCIATE EDITORS

Svetlana Antoshchuk

Odessa National Polytechnic University,
Ukraine

Plamenka Borovska

Technical University of Sofia, Bulgaria

Kent A. Chamberlin

University of New Hampshire, USA

Dominique Dallet

University of Bordeaux, France

Pasquale Daponte

University of Sannio, Italy

Mykola Dyvak

Ternopil National Economic University,
Ukraine

Richard J. Duro

University of La Coruña, Spain

Vladimir Golovko

Brest State Polytechnical University,
Belarus

Sergei Gorlatch

University of Muenster, Germany

Lucio Grandinetti

University of Calabria, Italy

Domenico Grimaldi

University of Calabria, Italy

Uwe Großmann

Dortmund University of Applied
Sciences and Arts, Germany

Halit Eren

Curtin University of Technology,
Australia

Vladimir Haasz

Czech Technical University, Czech
Republic

Robert Hiromoto

University of Idaho, USA

Orest Ivakhiv

Lviv Polytechnic National University,
Ukraine

Zdravko Karakehayov

Technical University of Sofia, Bulgaria

Mykola Karpinskyy

University of Bielsko-Biala, Poland

Volodymyr Kochan

Ternopil National Economic University,
Ukraine

Yury Kolokolov

UGRA State University, Russia

Gennady Krivoula

Kharkiv State Technical University of
Radioelectronics, Ukraine

Theodore Laopoulos

Thessaloniki Aristotle University, Greece

Fernando López Peña

University of La Coruña, Spain

Kurosh Madani

Paris XII University, France

George Markowsky

University of Maine, USA

Richard Messner

University of New Hampshire, USA

Yaroslav Nykolaiychuk

Ternopil National Economic University,
Ukraine

Vladimir Oleshchuk

University of Agder, Norway

Oleksandr Palahin

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics,
Ukraine

José Miguel Costa Dias Pereira

Polytechnic Institute of Setúbal, Portugal

Dana Petcu

Western University of Timisoara,
Romania

Vincenzo Piuri

University of Milan, Italy

Oksana Pomorova

Khmelnitsky National University,
Ukraine

Peter Reusch

University of Applied Sciences, Germany

Sergey Rippa

National University of State Tax Service
of Ukraine, Ukraine

Volodymyr Romanov

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics,
Kiev, Ukraine

Andrzej Rucinski

University of New Hampshire, USA

Bohdan Rusyn

Physical and Mechanical Institute of
Ukrainian NASU, Ukraine

Rauf Sadykhov

Byelorussian State University of
Informatics and Radioelectronics,
Belarus

Jürgen Sieck

HTW – University of Applied Sciences
Berlin, Germany

Axel Sikora

University of Applied Sciences
Offenburg, Germany

Rimvydas Simutis

Kaunas University of Technology,
Lithuania

Tarek M. Sobh

University of Bridgeport, USA

Volodymyr Tarasenko

National Technical University of Ukraine
“Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine

Wiesław Winięcki

Warsaw University of Technology,
Poland

Janusz Zalewski

Florida Gulf Coast University, USA

Address of the Editorial Board

Research Institute for Intelligent Computer Systems
Ternopil National Economic University
3, Peremoga Square
Ternopil, 46020, Ukraine

Phone: +380 (352) 47-5050 ext. 12234
Fax: +380 (352) 47-5053 (24 hours)
computing@computingonline.net
www.computingonline.net

**ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ
КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ
У СПІВПРАЦІ З ІНСТИТУТОМ КІБЕРНЕТИКИ ІМ. В.М. ГЛУШКОВА,
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ**



Міжнародний науково-технічний журнал

Комп'ютинг

Видається з 2002 року

Червень 2013, Том 12, Випуск 2

Постановою президії ВАК України № 1-05/3 від 14 квітня 2010 року науково-технічний журнал "Комп'ютинг" віднесено до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук

**Тернопіль
ТНЕУ
2013**

Міжнародний журнал "Комп'ютинг"

Червень 2013, том 12, випуск 2

Науково-дослідний інститут інтелектуальних комп'ютерних систем
Тернопільський національний економічний університет

Зареєстрований Міністерством юстиції України. Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу
масової інформації – серія KB №17050-5820ПР від 15.07.2010.

Друкується за постановою вченої ради ТНЕУ, протокол № 6 від 12 квітня 2013 року

Редакційна колегія

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

Анатолій Саченко
Тернопільський національний
економічний університет, Україна

ЗАСТУПНИК РЕДАКТОРА

Volodymyr Turchenko
University of Tennessee, USA

ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ

Світлана Антошук
Одеський національний політехнічний
університет, Україна

Микола Дивак
Тернопільський національний
економічний університет, Україна

Орест Івахів
Національний університет "Львівська
політехніка", Україна

Володимир Кочан
Тернопільський національний
економічний університет, Україна

Геннадій Кривуля
Харківський державний технічний
університет радіоелектроніки, Україна

Ярослав Николайчук
Тернопільський національний
економічний університет, Україна

Олександр Палагін
Інститут кібернетики ім.
В.М. Глушкова НАНУ, Україна

Оксана Поморова
Хмельницький національний
університет, Україна

Сергій Ріппа
Національний університет державної
податкової служби України, Україна

Володимир Романов
Інститут кібернетики ім.
В.М. Глушкова НАНУ, Україна

Богдан Русин
Фізико-механічний інститут НАНУ,
Україна

Володимир Тарасенко
Національний технічний університет
України "Київський політехнічний
інститут", Україна

Plamenka Borovska
Technical University of Sofia, Bulgaria

Kent A. Chamberlin
University of New Hampshire, USA

Dominique Dallet
University of Bordeaux, France

Pasquale Daponte
University of Sannio, Italy

Richard J. Duro
University of La Coruña, Spain

Vladimir Golovko
Brest State Polytechnical University,
Belarus

Sergei Gorlatch
University of Muenster, Germany

Lucio Grandinetti
University of Calabria, Italy

Domenico Grimaldi
University of Calabria, Italy

Uwe Großmann
Dortmund University of Applied
Sciences and Arts, Germany

Halit Eren
Curtin University of Technology,
Australia

Vladimir Haasz
Czech Technical University, Czech
Republic

Robert Hiromoto
University of Idaho, USA

Zdravko Karakehayov
Technical University of Sofia, Bulgaria

Mykola Karpinskyy
University of Bielsko-Biala, Poland

Yury Kolokolov
UGRA State University, Russia

Theodore Laopoulos
Thessaloniki Aristotle University, Greece

Fernando López Peña
University of La Coruña, Spain

Kurosh Madani
Paris XII University, France

George Markowsky
University of Maine, USA

Richard Messner
University of New Hampshire, USA

Vladimir Oleshchuk
University of Agder, Norway

José Miguel Costa Dias Pereira
Polytechnic Institute of Setúbal, Portugal

Dana Petcu
Western University of Timisoara,
Romania

Vincenzo Piuri
University of Milan, Italy

Peter Reusch
University of Applied Sciences, Germany

Andrzej Rucinski
University of New Hampshire, USA

Rauf Sadykhov
Byelorussian State University of
Informatics and Radioelectronics,
Belarus

Jürgen Sieck
HTW – University of Applied Sciences
Berlin, Germany

Axel Sikora
University of Applied Sciences
Offenburg, Germany

Rimvydas Simutis
Kaunas University of Technology,
Lithuania

Tarek M. Sobh
University of Bridgeport, USA

Wiesław Winiecki
Warsaw University of Technology,
Poland

Janusz Zalewski
Florida Gulf Coast University, USA

Адреса редакції :

НДІ інтелектуальних комп'ютерних систем
Тернопільський національний економічний університет
площа Перемоги, 3
Тернопіль, 46020, Україна

Тел.: 0 (352) 47-50-50 внутр. 12234
Факс: 0 (352) 47-50-53
computing@computingonline.net
www.computingonline.net

CONTENTS

V. Viegas, J.M. Dias Pereira Foundation Fieldbus: From Theory to Practice	115
L. Petryshyn About Phase Interdependence and Possibility of Walsh Functions System Reduction	125
Yu. Kolokolov, A. Monovskaya Fractal Approach to Forming of Modified Bifurcation Diagrams in Practical Applications	133
V. Zhikharevich, L. Shumylyak Use of Continuous Cellular Automata for Simulation of Thermal Conductivity in Systems with First Order Phase Transition	142
Asha T., S. Natarajan, K.N.B. Murthy Optimization of Association Rules for Tuberculosis Using Genetic Algorithm	151
S. Balovsyak, I. Fodchuk Objects Images Alignment with the Use of Genetic and Gradient Algorithms	160
V. Shut' Pedestrian Robot	170
Yu. Bobalo, B. Mandziy, P. Stakhiv, N. Shakhovska Algorithmic and Software Implementation of E-Textbook "Fundamentals of Theory of Electronic Circuits"	177
Abstracts	188
Information for Papers Submission to Journal	194

CONTENTS / ЗМІСТ / СОДЕРЖАНИЕ

V. Viegas, J.M. Dias Pereira Foundation Fieldbus: From Theory to Practice	115
Л. Петришин Про фазову взаємозалежність і можливість редукції системи функцій Уолша	125
Yu. Kolokolov, A. Monovskaya Fractal Approach to Forming of Modified Bifurcation Diagrams in Practical Applications	133
В. Жихаревич, Л. Шумиляк Использование непрерывных клеточных автоматов для моделирования процессов теплопроводности в системах с фазовыми переходами первого рода	142
Asha T., S. Natarajan, K.N.B. Murthy Optimization of Association Rules for Tuberculosis Using Genetic Algorithm	151
С. Баловсяк, І. Фодчук Суміщення зображень об'єктів з використанням генетичних та градієнтних алгоритмів	160
В. Шуть Пешеходный робот	170
Ю. Бобало, Б. Мандзій, П. Стахів, Н. Шаховська Алгоритмічна та програмна реалізація електронного підручника “Основи теорії електронних кіл”	177
Abstracts / Резюме	188
Information for Papers Submission to Journal / Інформація для оформлення статей до журналу / Информация для оформления статей в журнал	194

FOUNDATION FIELDBUS: FROM THEORY TO PRACTICE

Vitor Viegas^{1,2)}, J. M. Dias Pereira^{1,2)}

¹⁾Instituto Politécnico de Setúbal, ESTSetúbal/LabIM, 2910-761 Setúbal, Portugal (vitor.viegas@estsetubal.ips.pt)

²⁾Instituto de Telecomunicações, DEEC/IST/UTL, 1049-001 Lisboa, Portugal

Abstract: This paper describes the main characteristics of the Foundation Fieldbus (FF) technology considering both communication levels, namely H1 and H2, which have bit rates of 31.25 K and 100 Mbit/s, respectively. Several details about the physical layer, communication stack and user layer will be highlighted. Topics related with the configuration of instruments, as well as the design and implementation of supervision software, based on a LabVIEW interface, will be presented. A pilot plant that includes temperature, pressure, level and flow variables will be used to test and validate the capabilities of FF systems. Experimental results will be analyzed, their meaning discussed and the overall performance evaluated.

Keywords: Foundation Fieldbus, industrial networks, fieldbus control systems, Open Process Control, supervision, data acquisition.

1. INTRODUCTION

The Foundation Fieldbus (FF) [1-3] is a communication technology intended to connect instruments in a process automation environment. At the physical level, communications are supported by a two-wire, multidrop bus that supplies power and ensures the flow of digital data. At the logic level, communications are supported by a protocol that guarantees message delivery in real-time [4]. On the top of the protocol layers, functional blocks hide communication details and make easier the development of control applications. FF is a broad technology that covers topics such as power over bus, real-time networking, visual programming, and information management.

The FF technology is supervised by the Fieldbus Foundation [5], a non-profit corporation composed by end-users, manufacturers and research organizations. The foundation promotes and regulates the use of the technology and provides guidelines for the future. The regulation work includes rigorous certification programs that guarantee interoperability between equipment from different manufacturers. The goal is to give end-users the ability to choose the best hardware and software at any time without being stuck to a specific vendor.

The FF technology distinguishes between low-speed communications (H1 level) and high-speed communications (H2 level) (see figure 1). The H1 level acts as a digital replacement for 4-20 mA

current loops widely used in common industrial plants. The H2 level aggregates data from H1 segments and adds support for discrete control. Together, H1 and H2 levels satisfy the automation needs of most systems whether they are continuous or discrete.

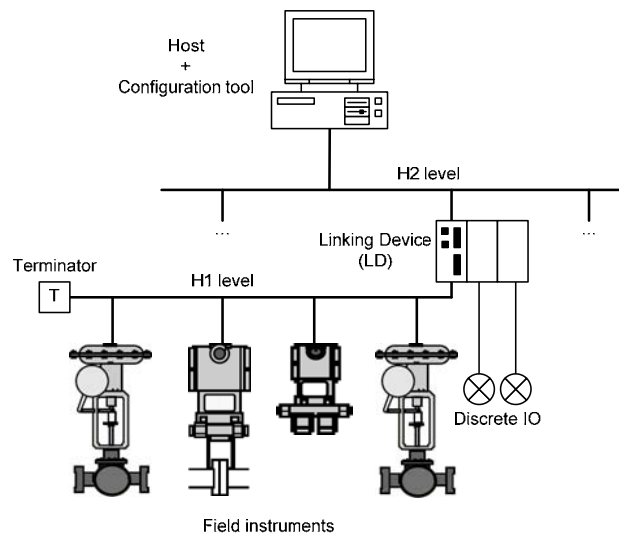


Fig. 1 – FF overview

1.1. H1 LEVEL

The H1 level is a digital bus that implements a subset of the OSI (Open Systems Interconnection) model. The physical layer is fully implemented, while layers 2 to 7 are compressed in the so-called

“communication stack”. The user layer (extra OSI) defines a library of functional blocks intended to build control applications. These three components (physical layer, communication stack and functional blocks) must all reside in every FF instrument.

The physical layer has the following characteristics:

- Power over bus: The bus is powered with 24 VDC and a current capability above 100 mA (typical). Each instrument can draw up to 20 mA from the bus.
- Data rate of 31.25 Kbit/s: The data is transmitted together with the clock, in base band, using Manchester coding. The digital signal is superimposed over the DC level. The relatively low data rate allows the reuse of 4-20 mA wiring.
- Free topology: Spurs are allowed anywhere along the bus. The maximum cable length (including spurs and considering high-quality wiring) is about 1900 m. This value can be extended to 7600 m by adding up to four repeaters. The bus must have a proper RC terminator to avoid signal reflections.
- 6, 12 or 32 instruments: The maximum number of instruments is six if bus powered with Intrinsic Safety (IS), 12 if bus powered without IS, and 32 if neither bus powered nor IS. These values are merely indicative since they depend on the actual power specifications of the devices.

The communication stack implements a master-slave protocol that guarantees message delivery in real-time. The master is called “Link Active Scheduler” (LAS) because it distributes “permissions to talk” (tokens) according a deterministic schedule. When a device receives the token, it publishes messages on the bus that are picked up and consumed by one or more subscribers. The LAS supports the following dialogues:

- Programmed dialogues: Periodically, according a programmed control strategy, the LAS sends tokens of type CD (Compel Data). The device owning the CD token publishes data immediately without waiting for the subscriber(s) to confirm the reception. If a data point is lost, the system relies on the previous value until a new one is transmitted. This dialogue is used to transfer output variables and status information between functional blocks.
- Unprogrammed dialogues: After executing the control strategy, the LAS reserves some time to send tokens of type PT (Pass Token). The device owning the PT token has a limited amount time to send messages by its own initiative. All messages have to be confirmed otherwise are repeated. This dialogue is used to report events (such as alarms and trends) and to perform

configuration tasks (such as set-point and tuning adjustments, program downloading, and remote diagnostics).

- Live list dialogue: The LAS maintains a list of active devices by sequentially sending tokens of type PN (Probe Node) to all possible addresses (0 to 255). The target device responds by returning its unique IDentifier (ID) and tag number. If a new device is found it is added to the list; if a device fails to respond three consecutive times it is removed from the list.
- Time distribution dialogue: The LAS distributes time by sending tokens of type TD (Time Distribution) to all devices. Each device compares its internal clock against the timestamp received and resets it to maintain accuracy within 1 ms.

Each H1 bus has one primary master. Other devices can be configured as redundant masters provided they have LAS capabilities. The master with lowest address takes control automatically and transparently.

As said before, the programming interface of FF devices is based on functional blocks. Each device contains:

- One Resource Block (RB) that describes the general characteristics of the device (such as ID, tag number, manufacturer, model, serial number, firmware version and available features). This data, which is stored in a non-volatile memory, is very useful for maintenance and inventory purposes.
- One or more Transducer Blocks (TB) that describe the characteristics of primary transducers (such as transducer type, connection, compensation, and calibration data).
- One or more Function Blocks (FB) that implement data processing algorithms. There are dozens of predefined FBs covering the most common functionalities. Some examples are:
 - Analog Input (AI): Takes the data from the analog input signal and makes it available to other FBs. It implements scaling conversion, filtering, square root extraction, and alarm processing.
 - Analog Output (AO): Provides a real value to generate an analog output signal. It implements value limiting, scaling conversion, and fault-state handling.
 - Digital Input (DI): Takes the data from the discrete input signal and makes it available to other FBs. It implements value inversion, filtering and alarm processing.
 - Digital Output (DO): Provides an integer value to generate a discrete output signal. It implements value inversion and fault

- state handling.
- Proportional, Integral, Derivative (PID): Implements the PID algorithm with a lot of valuable features such as set-point treatment (value and rate limiting), filtering, feed forward, anti-wind-up and alarm processing.
- Arithmetic (ARTH): Provides some predefined, ready-to-use equations such as flow compensation, hydrostatic tank gauging, ratio control and others.
- Integrator(INTG): Integrates a variable in function of the time.
- Set-Point Generator(SPG): Generates a set-point following a profile in function of the time.
- TIMER and logic(TIME): Implements combinational logic and timers.

The control strategy is defined by a FB diagram (see figure 2). The arrows establish data relations between FBs: if two interdependent FBs reside on the same device data is transferred internally; if they reside in different devices data is transferred across the bus. By dissecting the diagram it is possible to know who talks to whom and when; in other words, it is possible to schedule programmed dialogues. Each FB can also be configured individually to determine its behavior in terms of processing and event reporting. It should be noted that by enabling the transmission of alarms and trends the bus gets loaded with unprogrammed dialogues.

The use of predefined FBs promotes interoperability because devices can be replaced while the program maintains the same structure.

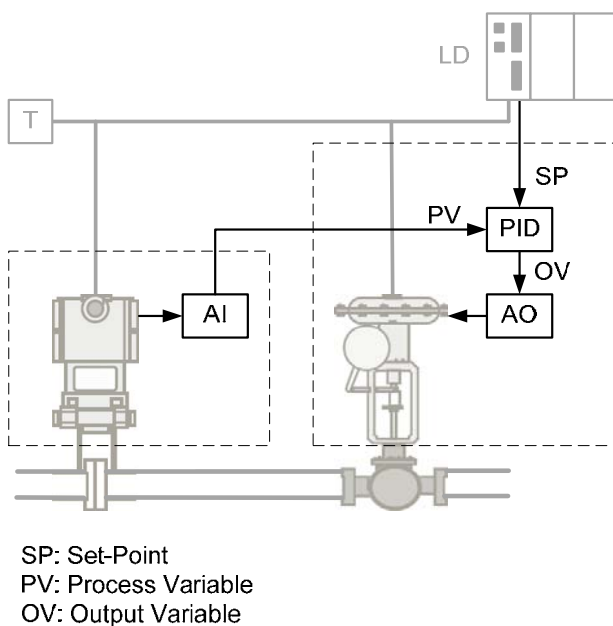


Fig. 2 – Flow control loop (instruments and FB diagram)

1.2. H2 LEVEL

The H2 level aggregates data from the field including H1 segments, Programmable Logic Controllers (PLC), and sensor buses. Over the last years there has been an effort to apply internet technologies at this level: Ethernet for data transmission, Internet Protocol (IP) for data routing, and Transport Control Protocol (TCP) and User Datagram Protocol (UDP) for data transport. This approach provides high baud rates (100 Mbit/s typical) and allows the use of inexpensive, commercial off-the-shelf equipment. In return, it does not provide native support for real-time, power over bus or redundancy.

Each H1 segment is connected through a gateway called “Linking Device” (LD), which, most of the times, acts as the primary master and provides support for discrete control. When the host needs to access a particular H1 device, it sends TCP messages to the corresponding linking device which translates them into H1 dialogues. The reverse happens when the H1 device reports data to the host. UDP messages are used when the host needs to contact several linking devices simultaneously (to distribute time, for example). The process of translation is absolutely transparent so that configuration tools (residing on the host) can configure, diagnose and monitor H1 devices as if they were locally connected.

1.3. FIELDBUS CONTROL SYSTEMS

FF instruments are considered to be “smart” because they have processing power and can communicate with each other. This allows them to perform self-identification, self-diagnostics and self-calibration routines, and, more important, to collaborate in the execution of distributed control algorithms. The result is a “Fieldbus Control System” (FCS), so-called because the control strategy is decentralized across the bus. Compared to more conventional architectures, such as Distributed Control Systems (DCS) or Direct Digital Control (DDC) systems [6], the FF technology provides the following advantages:

- Common to FCS systems:
 - Extended visibility and smartness: Visibility goes down to primary transducers as opposite to traditional systems where visibility is limited to input/output cards of PLCs and DCSs. Self-describing information and online diagnostics facilitate asset management and maintenance. Robust protocols allow the hot swapping of devices.
 - Reduction of cabling costs: The bus topology reduces cable length significantly. Analog

- wiring can be reused in most cases.
- Improved robustness: If the primary master fails the secondary master takes control of the bus immediately.
- Specific to the FF technology:
 - Interoperability: Rigorous certification programs, supported by a strong community, guarantee interoperability between equipment from different manufacturers.
 - Productivity: The programming model based on standard functional blocks promotes software productivity and interoperability.

On the other hand, FF systems are generally more complex and difficult to configure and debug.

The paper describes the implementation of a FF pilot plant, covering aspects like the configuration of instruments, supervision software, and system operation. The text shall be interpreted as guide that explains the practical aspects of a concrete application. The goal is to share our experience with the community to help others in the implementation of their own projects. The paper is organized as follows: section 2 presents the physical process used as test bench, section 3 explains how FF instruments were configured, section 4 presents a proposal of supervision software, section 5 reports system operation, and section 6 extracts conclusions.

2. PHYSICAL PROCESS

The physical process was built to train undergraduate students in the principles of process control and FF instrumentation. The process contains all the equipment needed to run the following control loops (see figures 3 and 4):

- Level control loop: The water level inside the closed tank is measured by the transmitter LT1 and is controlled by operating the control valve FCV1. Information about water inflow, water temperature at the bottom of the tank, and air pressure at the top of the tank is provided by transmitters FT1, TT1 and PT1, respectively. The tank is equipped with an exhaust valve to prevent pressures above 3 bar.
- Flow control loop: The flow of water leaving the tank is measured by the transmitter FT2 and is controlled by operating the control valve FCV2.

The level control loop can be replaced by a pressure control loop by considering the signal from transmitter PT1 as the process variable. This was not the case in the current study.

Table 1 summarizes the main characteristics of the instruments installed on the physical process. The interface with analog transmitters (FT1, LT1 and FT2) was done using IF1, a triple channel current/FF converter. All converters, transmitters and control valves were properly verified and

calibrated before experiments took place.

FF instruments were tied in a single H1 segment powered with 24 VDC and terminated by a 100 Ω resistor in series with a 100 nF capacitor. The H1 bus was connected directly to a computer (overcoming the H2 level) by means of an interface board that acts as linking device (model USB-8486 from National Instruments (NI) [7]). Finally, on the computer, it was installed all the software needed to configure and supervise the pilot plant, namely NI-FBUS Configurator version 4.0.1, and LabVIEW version 2009 SP1 plus Datalogging and Supervisory Control (DSC) module.



Fig. 3 – Picture of the physical process

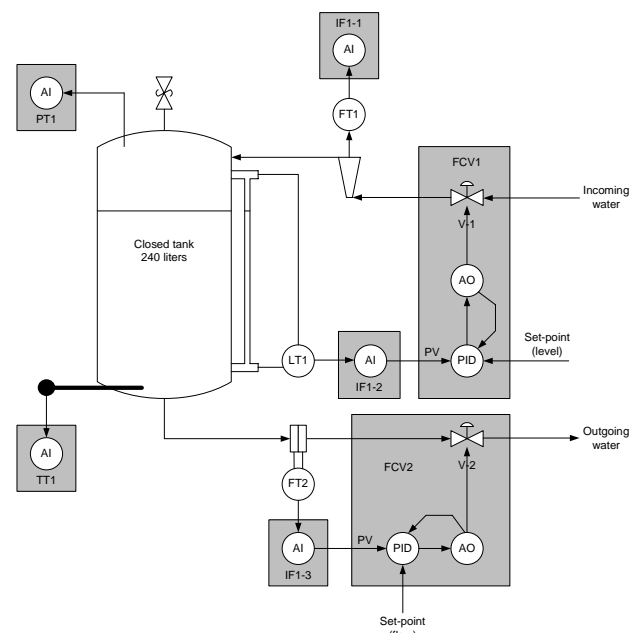


Fig. 4 – P&I diagram of the physical process

Table 1. Field instruments.

Tag	Manufacturer	Reference	Range	Signal	Brief description
FT1	Gebr. Muller	GEMU 830 + 1270 + 1275 (a)	5 to 50 l/min	4 to 20 mA	Variable area flowmeter.
LT1	Rosemount	D2A12A2S1B4	0 to 100% (b)	4 to 20 mA	Differential pressure transmitter.
FT2	Fischer Porter	F50DPF110-3	0 to 47.7 l/min	4 to 20 mA	Differential pressure transmitter coupled to a Venturi tube.
TT1	Smar	TT302	-200 to +850 °C	FF	Temperature transmitter.
PT1	Smar	LD302	0 to 25400 mmH ₂ O (c)	FF	Pressure transmitter.
IF1	Smar	IF302	4 to 20 mA	FF	Triple channel current/FF converter.
FCV1	Smar + Sart von Rohr	FY302 + MA821E63SP0 (d)	0 to 100%	FF	Fieldbus positioner coupled to a pneumatic valve.
FCV2	Smar + Sart von Rohr	FY302 + MA821E63SP0	0 to 100%	FF	Fieldbus positioner coupled to a pneumatic valve.

Notes:

a) GEMU 830 refers to the variable area flowmeter, GEMU 1270 refers to the displacement/voltage converter, and GEMU 1275 refers to the voltage/current converter with local indicator.

b) The range in meters depends on the dimensions of the tank.

c) Gauge pressure.

d) FY302 refers to positioner from Smar, and MA821E63SP0 refers to the pneumatic valve from Sart von Rohr.

3. CONFIGURATION OF FF INSTRUMENTS

The configuration of FF instruments is very challenging because it takes into account the dynamics of the physical process and the multitude of options offered by functional blocks. The only way to deal with this level of complexity is by using powerful software configuration tools, as is the case of NI-FBUS Configurator [8].

The configuration was done online having all FF instruments powered up and remotely visible. This requires patience (because the H1 bus is slow) but gives the chance to fix errors incrementally. The job was done instrument by instrument walking through the following steps:

1. The instrument was reset to its factory defaults.
2. A unique address from 17 to 247 was assigned to the instrument (address 16 is automatically reserved by the interface board). This range is indicated for permanent instruments.
3. One or more FBs were instantiated to provide processing power for the instrument (according application needs).
4. Unique tags were assigned to the instrument and its functional blocks.
5. Each functional block was configured by editing its parameters according the desired behavior (see table 2). For this purpose it was essential to study the meaning of each parameter and the options it offers [9]. Helpful information was found in the operation manuals of the instruments [10-13].

The interface board was configured as the primary master by resetting all its parameters to the default values. No other (redundant) masters were implemented.

Having configured the H1 bus, it was time to build a control application for the pilot plant. The application, shown in figure 5, is composed by three main sections:

1. The top section instructs the instruments TT1, PT1 and IF1 (channel 1) to log their input values and pass them to the interface board. The log has a fixed capacity of 15 values. This data is non-critical, has low priority, and is passed through unprogrammed dialogues.
2. The middle section implements the level loop control. The loop is closed by a PID controller that receives the process variable from the level transmitter LT1 (via channel 2 of the converter IF1), and writes the output variable to the positioner of the control valve FCV1. The AO function block feeds back its state to increase the loop consistency: if the AO function block breaks the loop (by passing to Manual mode, for example) the controller stops working and follows the valve opening; if the loop is restored the controller resumes its operation automatically.
3. The bottom section is similar to the middle one, with the difference that it applies to the flow control loop. The process variable comes from the flow transmitter FT2 (via channel 3 of converter IF1), and the output variable goes to the positioner of the control valve FCV2.

The schedule of the control application is shown in figure 6. The configurator gives time for instruments to do internal processing (blue bars), as well as to exchange data across the H1 bus (red bars). The flow control loop has a period of 400 ms, while the (slower) level control loop allows a more “relaxed” period of about 800 ms.

Table 2. Configuration of FF instruments.

Temperature transmitter TT1, address = 20 (a)				
Block	Category	Parameter	Value	Comment
TT1_RB (Resource Block)	Process	MODE_BLK.TARGET	Auto	Activates the block.
TT1_TB1 (Transducer Block)	I/O Config	SENSOR_CONNECTION	Three wires	A three-wire PT100 IEC was used as the primary sensor.
	Others	TWO_WIRES_COMPENSATION	Disable	The three-wire connection compensates cable resistance.
		SENSOR_TRANSDUCER_NUM	1	Sensor index.
	Process	MODE_BLK.TARGET	Auto	Activates the block.
TT1_TB2 (Transducer Block)	Others	SENSOR_TRANSDUCER_NUM	2	Sensor index.
TT1_AI1 (Analog Input FB)	Scaling	L_TYPE	Direct	Values from the transducer block are used directly (in °C).
	Trends	OUT	Trend☑	Enables trending for parameter OUT.
	Process	CHANNEL	1	Links to the transducer block TT1_TB1.
		MODE_BLK.TARGET	Auto	Activates the block.
Pressure transmitter PT1, address = 21(a)				
Block	Category	Parameter	Value	Comment
PT1_RB (Resource Block)	Process	MODE_BLK.TARGET	Auto	Activates the block.
PT1_TB1 (Transducer Block)	Process	MODE_BLK.TARGET	Auto	Activates the block.
PT1_AI1 (Analog Input FB)	Scaling	XD_SCALE.EU_100	25400	Transducer's input range (between 0 and 25400 mmH2O).
		XD_SCALE.EU_0	0	
		XD_SCALE.UNITS_INDEX	mmH2O (68°F)	
		OUT_SCALE.EU_100	36.1263	Output range (between 0 and 36.1263 psig).
		OUT_SCALE.EU_0	0	
		L_TYPE	Indirect	The input range is linearly converted to the output range (in psig).
	Trends	OUT	Trend☑	Enables trending for parameter OUT.
	Process	CHANNEL	1	Links to the transducer block PT2_TB1.
MODE_BLK.TARGET		Auto	Activates the block.	
Current to FF converter IF1, address = 23(a)				
Block	Category	Parameter	Value	Comment
IF1_RB (Resource block)	Process	MODE_BLK.TARGET	Auto	Activates the block.
IF1_TB1 (Transducer Block)	Process	MODE_BLK.TARGET	Auto	Activates the block.
IF1_TB2 (Transducer Block)	Process	MODE_BLK.TARGET	Auto	Activates the block.
IF1_TB3 (Transducer Block)	Process	MODE_BLK.TARGET	Auto	Activates the block.
IF1_AI1 (Analog Input FB)	Scaling	XD_SCALE.EU_100	20	Transducer's input range (4 to 20 mA).
		XD_SCALE.EU_0	4	
		XD_SCALE.UNITS_INDEX	mA	
		OUT_SCALE.EU_100	50	Output range (0 to 50 l/min). This range applies to the incoming water flow.
		OUT_SCALE.EU_0	0	
		L_TYPE	Indirect	The input range is linearly converted to the output range.
	Trends	OUT	Trend☑	Enables trending for parameter OUT.
Process	CHANNEL	1	Links to the transducer block IF1_TB1.	
	MODE_BLK.TARGET	Auto	Activates the block.	
IF1_AI2 (Analog Input FB)	Scaling	XD_SCALE.EU_100	20	Transducer's input range (4 to 20 mA).
		XD_SCALE.EU_0	4	
		XD_SCALE.UNITS_INDEX	mA	
		OUT_SCALE.EU_100	100	Output range (0 to 100%). This range applies to the water level inside the tank.
		OUT_SCALE.EU_0	0	
		L_TYPE	Indirect	The input range is linearly converted to the output range.
Process	CHANNEL	2	Links to the transducer block IF1_TB2.	
	MODE_BLK.TARGET	Auto	Activates the block.	
IF1_AI3 (Analog Input FB)	Scaling	XD_SCALE.EU_100	20	Transducer's input range (4 to 20 mA).
		XD_SCALE.EU_0	4	
		XD_SCALE.UNITS_INDEX	mA	
		OUT_SCALE.EU_100	47.7	Output range (0 to 47.7 l/min). This range applies to the outgoing water flow.
		OUT_SCALE.EU_0	0	
		L_TYPE	Indirect Sq Root	The input range is converted to the output range by applying the square root operation. Useful for flow meters based on differential pressure.
	Process	CHANNEL	3	Links to the transducer block IF1_TB3.
MODE_BLK.TARGET		Auto	Activates the block.	

Table 2 (continued) Configuration of FF instruments.

Control valve FCV1, address = 25(a)				
Block	Category	Parameter	Value	Comment
FCV1_RB (Resource Block)	Process	MODE_BLK.TARGET	Auto	Activates the block.
FCV1_TB1 (Transducer Block)	Process	MODE_BLK.TARGET	Auto	Activates the block.
FCV1_PID1 (PID FB)	Scaling	PV_SCALE.EU_100	100	Range of the Process Variable (PV) (0 to 100%). In the present case, the PV is the water level inside the tank.
		PV_SCALE.EU_0	0	
		PV_SCALE.UNITS_INDEX	%	
		OUT_SCALE.EU_100	100	Range of the Output Variable (OV) (0 to 100%). In the present case, the OVsets the valve opening.
		OUT_SCALE.EU_0	0	
	OUT_SCALE.UNITS_INDEX	%		
	Tuning	GAIN	6	Proportional gain (Kp) of the PID controller.
		RESET	4 Sec	Reset time (Ti) of the PID controller.
		RATE	4 Sec	Derivative time (Td) of the PID controller.
	Options	STATUS_OPTS	IFS if bad IN	If the block input goes bad (due to a communications failure, for example), initiate fault state in the cascaded block.
Process	SP.VALUE	xxx	Level set-point.	
	MODE_BLK.TARGET	Auto	Activates the block.	
FCV1_AO1 (Analog Output FB)	Scaling	PV_SCALE.EU_100	100	Input range (0 to 100%).
		PV_SCALE.EU_0	0	
		PV_SCALE.UNITS_INDEX	%	
		XD_SCALE.EU_100	100	Actuator's output range (0 to 100%). The input range is linearly converted to the output range.
		XD_SCALE.EU_0	0	
		XD_SCALE.UNITS_INDEX	%	
	Options	IO_OPTS	Fault state to value	The fault state is activated if the block input has a status of BAD for more than two seconds. If this happens, the valve is closed (output value = 0) for safety reasons.
		FSTATE_TIME	2 Sec	
		FSTATE_VAL	0	
	Process	CHANNEL	1	Links to the transducer block FCV1_TB1.
MODE_BLK.TARGET		Cascade	The block follows the set-point given by the upstream controller (block FCV1_PID1 in this case). Meanwhile, it applies scaling and checks the fault state condition.	
Control valve FCV2, address = 26(a)				
Block	Category	Parameter	Value	Comment
FCV2_RB (Resource Block)	Process	MODE_BLK.TARGET	Auto	Activates the block.
FCV2_TB1 (Transducer Block)	Process	MODE_BLK.TARGET	Auto	Activates the block.
FCV2_PID1 (PID FB)	Scaling	PV_SCALE.EU_100	47.7	Range of the Process Variable (PV) (0 to 47.7 l/min). In the present case, the PV is the outgoing water flow.
		PV_SCALE.EU_0	0	
		PV_SCALE.UNITS_INDEX	L/min	
		OUT_SCALE.EU_100	100	Range of the Output Variable (OV) (0 to 100%). In the present case, the OVsets the valve opening.
		OUT_SCALE.EU_0	0	
	OUT_SCALE.UNITS_INDEX	%		
	Tuning	GAIN	0.5	Proportional gain (Kp) of the PID controller.
		RESET	5 Sec	Reset time (Ti) of the PID controller.
		RATE	1 Sec	Derivative time (Td) of the PID controller.
	Options	STATUS_OPTS	IFS if bad IN	If the block input goes bad (due to a communications failure, for example), initiate fault state in the cascaded block.
Process	SP.VALUE	xxx	Flow set-point.	
	MODE_BLK.TARGET	Auto	Activates the block.	
FCV2_AO1 (Analog Output FB)	Scaling	PV_SCALE.EU_100	100	Input range (0 to 100%).
		PV_SCALE.EU_0	0	
		PV_SCALE.UNITS_INDEX	%	
		XD_SCALE.EU_100	100	Actuator's output range (0 to 100%). The input range is linearly converted to the output range.
		XD_SCALE.EU_0	0	
		XD_SCALE.UNITS_INDEX	%	
	Options	IO_OPTS	Fault state to value	If the fault state persists for more than two seconds, close the valve (output value = 0) for safety reasons.
		FSTATE_TIME	2 Sec	
		FSTATE_VAL	0	
	Process	CHANNEL	1	Links to the transducer block FCV2_TB1.
MODE_BLK.TARGET		Cascade	The block follows the set-point given by the upstream controller (block FCV2_PID1 in this case). Meanwhile, it applies scaling and checks the fault state condition.	

Notes:

a) For sake of simplicity the configuration of the display transducer block was omitted.

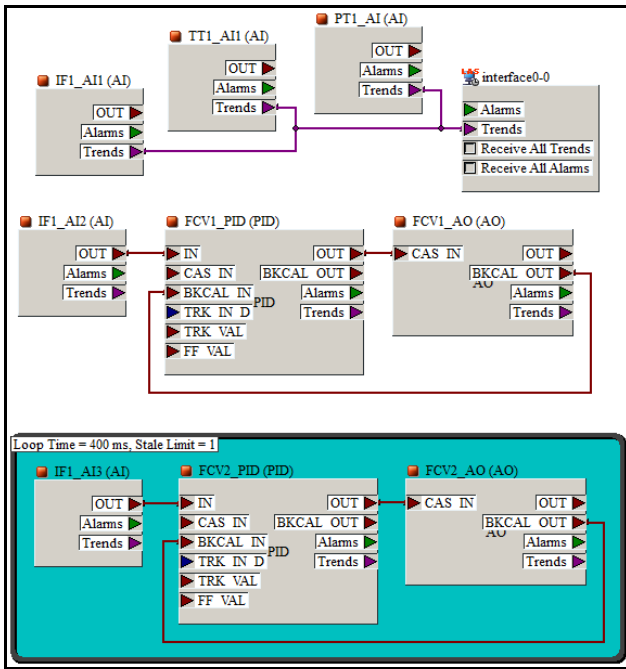


Fig. 5 – Control application

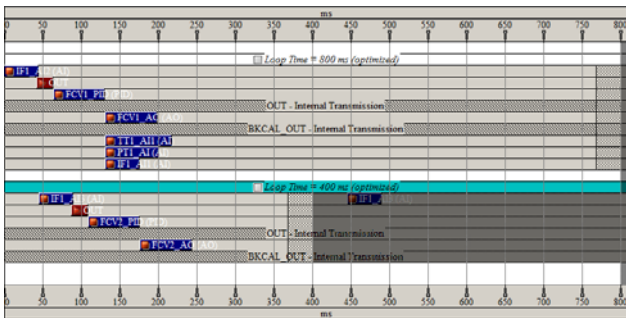


Fig. 6 – Schedule of the control application

4. SUPERVISION SOFTWARE

The supervision software allows the pilot plant to be operated by people that are not experts on the FF technology. It hides low level configuration details and exposes system variables as numeric quantities.

The supervision software was developed in LabVIEW using the facilities provided by the DSCmodule [14]. The communication with FF infrastructure was done using the OPC-DA (Open Process Control Data Access) server [15-16] that comes with the NI-FBUS Configurator. The development went through the following stages:

1. An OPC client was created and connected to the OPC-DA server. The server exposes data items representing the parameters of all online functional blocks.
2. The data items of interest (those related with IN, OUT, SP, tuning and state parameters) were bound to shared variables created expressly for that purpose.
3. Each shared variable was configured in terms of

data type, access type (read only or read/write), alarming (HiHi, Hi, Lo and LoLo alarms), update dead band, alarm and data logging, and security (remote access permissions).

4. A virtual instrument was built to provide a rich graphical interface for the operator (see figure 7). The controls and indicators were bound to the shared variables to make the front panel synchronized with the system. The operator can read process variables, adjust set-points and tune controllers. No alarm support was implemented (that was left to future work).

It should be noted that stages 1, 2 and 3 were done following the procedures described in [17].

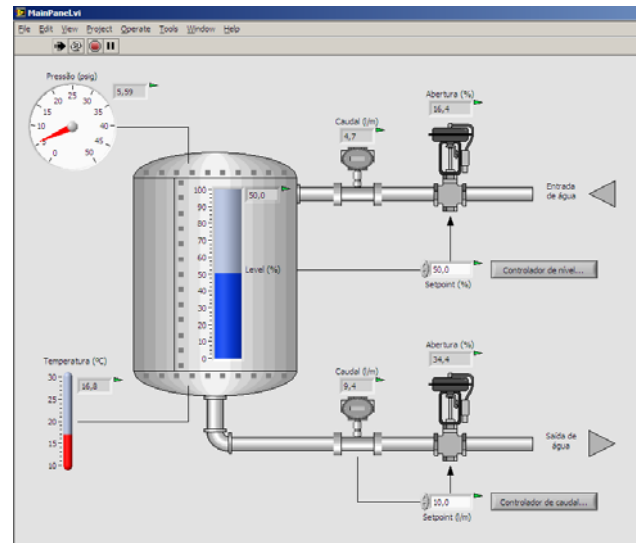


Fig. 7 – Supervision program

5. EXPERIMENTAL RESULTS

Both control loops were tested over their dynamic ranges. For each controller, the set-point, process and output variables were remotely monitored and recorded. The experiments were carried out according the following methodology:

1. The PID controllers were tuned in advance using the trial and error method. The level controller was configured with proportional gain $K_p = 6$, reset time $T_i = 4$ s and derivative time $T_d = 4$ s. The flow controller was configured with $K_p = 0.5$, $T_i = 5$ s and $T_d = 1$ s.
2. The system was started with level and flow set-points of 50% and 10 l/min, respectively. Time was given for all variables to stabilize.
3. Data recording was started at $t = 0$ min.
4. At $t = 1$ min the level set-point was changed to 80%.
5. At $t = 5$ min the level set-point was changed to 20%.
6. At $t = 14$ min the level set-point returned to 50%.
7. At $t = 18$ min the flow set-point was changed to

- 15 l/min.
- 8. At $t=21$ min the flow set-point was changed to 5 l/min.
- 9. At $t=24$ min the flow set-point returned to 10 l/min.
- 10. Data recording was stopped at $t = 28$ min.

Regarding the level control loop (see figure 8), the collected data can be analyzed as follows:

- At $t = 1$ min and $t = 14$ min the controller opens valve FCV1 to increase the level. The process response has a small overshoot and stabilizes after 1 min (approximately).
- At $t = 5$ min the controller closes valve FCV1 to decrease the level. The process response has negligible overshoot and stabilizes almost immediately.
- The level controller is insensitive to flow variations due to the large capacity of the tank.
- The level controller is characterized by good tracking capability, small overshoot, short settling time, and good immunity to external disturbances (in particular those related with flow variations). Nevertheless, the oscillations observed in the output variable suggest that the controller should be less “nervous” by reducing the gain or increasing the reset time. The derivative time could also be increased to add more capacity of anticipation.

With respect to the flow control loop (see figure 9), the comments are similar:

- At $t = 1$ min and $t = 14$ min the flow has a slight increase (caused by the increment of the level) that is quickly canceled by the controller.
- From $t = 5$ min to $t = 11$ min the controller struggles to compensate the loss of flow caused by the continuous decline of the level.
- At $t = 18$ min and $t = 24$ the controller opens valve FCV2 to increase the flow. The process response has no overshoot and stabilizes after 1 min (approximately).
- At $t = 21$ min the controller closes valve FCV2 to decrease the flow. The process response has no overshoot and stabilizes after 1 min (approximately).
- The flow controller is characterized by good tracking capability, no overshoot, short settling time and good immunity to external disturbances (in particular those related with level variations).

The system was also tested in terms of safety by shutting down the LAS during a limited amount of time. With the system working normally, the interface board was disconnected from the bus and then reconnected one minute later. The response of the system was as follows:

- At the beginning the system seemed “frozen”

with all variables retaining their value.

- Two seconds after (the value of parameter $FSTATE_TIME$) the control valves got into the fault state and closed their opening ($FSTATE_VAL = 0$). The tank was isolated from the exterior and the level and pressure on its interior were kept constant. Thus, thanks to the fault state mechanism implemented by AO function blocks, the system became safe.
- Two seconds after the reconnection (the value of parameter $FSTATE_TIME$) the control valves got out of the fault state and the system resumed its normal operation. This demonstrates that the H1 bus has self-recovery capability.

During all experimental tests the supervision software worked as expected demonstrating good robustness, performance and ergonomics.

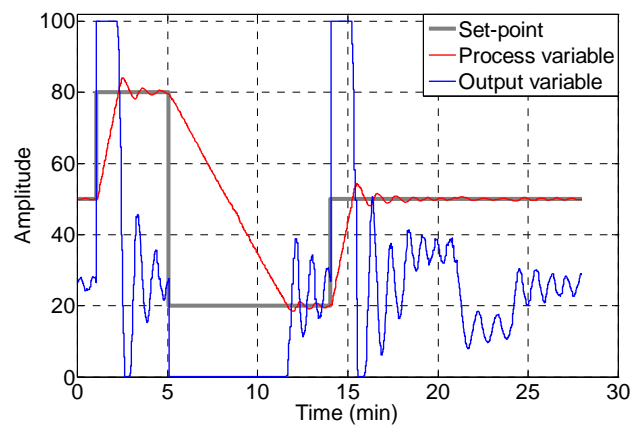


Fig. 8 – Behavior of the level controller

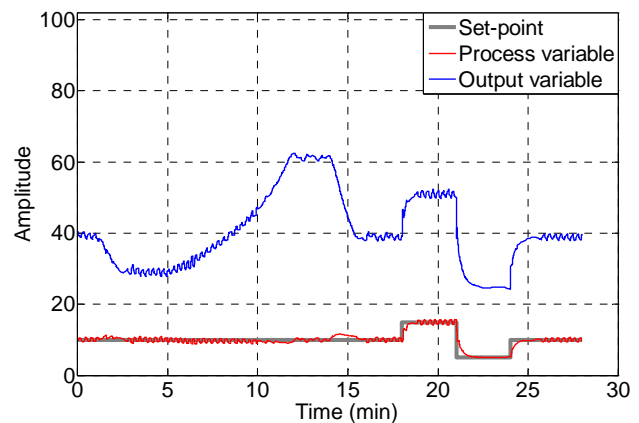


Fig. 9 – Behavior of the flow controller

6. CONCLUSION

The main topics of the FF technology were presented and a real application was implemented on a pilot plant. Two different control loops, involving level and flow, were tested to validate the safety mechanisms and the real-time capabilities of the FF system. The dynamic behavior of each control loop and the mutual effects caused by set-point changes were investigated. Everything worked as expected,

with the system showing good performance even when large changes in set-points occurred.

7. REFERENCES

- [1] *Foundation Technical Specifications*, Fieldbus Foundation, 1994-1998.
- [2] David A. Glanzer, *Foundation Fieldbus Technical Overview*, Fieldbus Foundation, 2003.
- [3] Ian Verhappen, Augusto Pereira, *Foundation Fieldbus, 4th Edition*, ISA – The International Society of Automation, 2012.
- [4] Kim R. Fowler, *Electronic Instrument Design: Architecture for the Life Cycle*, Oxford University Press, 1996.
- [5] [Online] www.fieldbus.org
- [6] Jonas Berge, *Fieldbuses for Process Control: Engineering, Operation and Maintenance*, ISA – The International Society of Automation, 2004.
- [7] [Online] <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/207760>
- [8] [Online] www.natinst.com/fieldbus
- [9] *Function Blocks Instruction Manual*, Smar, 2007.
- [10] *TT302 – Fieldbus Temperature Transmitter – Operation and Maintenance Instructions Manual*, Smar, 2011.
- [12] *LD302 – Fieldbus Pressure Transmitter – Operation and Maintenance Instructions Manual*, Smar, 2012.
- [12] *IF302 – Triple Channel Current to Fieldbus Converter – Operation and Maintenance Instructions Manual*, Smar, 2011.
- [13] *FY302 – Fieldbus Valve Positioner – Operation and Maintenance Instructions Manual*, Smar, 2012.
- [14] [Online] www.ni.com/labview/labviewdsc
- [15] Jurgen Lange, Frank Iwanitz, Thomas J. Burke, *OPC – From Data Access to Unified Architec-*

ture, 4th Edition, Verlag GmbH, 2010.

- [16] *OPC Data Access Specification version 3.00*, OPC Foundation, 2003.
- [17] *LabVIEW Datalogging and Supervisory Control Module Developer's Manual*, National Instruments, 2000.



Vítor Viegas was born in Portugal in 1976. He received his degree in Electrical Engineering and Computer Science from the Instituto Superior Técnico (IST) of the Universidade Técnica de Lisboa (UTL) in 1999. After pursuing

studies, he received the MSc and PhD degrees from the same school in 2003 and 2012, respectively. He works as Assistant Professor at the Instituto Politécnico de Setúbal (IPS). His main research activities concern smart transducers, fieldbus/distributed control systems, and industrial informatics.



J. M. Dias Pereira (M'00 – SM'04) was born in Portugal in 1959. He received his degree in Electrical Engineering from the Instituto Superior Técnico (IST) of the Universidade Técnica de Lisboa (UTL) in 1982. During almost eight years he worked for Portugal Telecom in digital switching and trans-

mission systems. In 1992, he returned to teaching as Assistant Professor at the Instituto Politécnico de Setúbal (IPS), where he is, at present, as Coordinator Professor. In 1995 he received the MSc degree and in 1999 the PhD degree in Electrical Engineering and Computer Science from IST. His main research interests are included in the Instrumentation and Measurement areas.



ПРО ФАЗОВУ ВЗАЄМОЗАЛЕЖНІСТЬ І МОЖЛИВІСТЬ РЕДУКЦІЇ СИСТЕМИ ФУНКЦІЙ УОЛША

Любомир Петришин ^{1), 2)}

¹⁾ AGH University of Science and Technology, 30 Mickiewicza Av., Cracov, 30-059, Poland,
L.B.Petryshyn@gmail.com

²⁾ Прикарпатський національний університет, вул. Шевченка 57, м. Івано-Франківськ, 76-025

Резюме: Система функцій Уолша є мультиплікативною групою систем функцій Радемахера і Грея. В своєму складі вміщує дискретно-гармонічні *sin*-складові функції Радемахера, *cos*-складові функції Грея, а також дискретно-негармонічні складові функції Уолша. Встановлено попарну фазову взаємозалежність повної системи функцій Уолша. Побудовано підсистеми непарних (*sin*-складових) та парних (*cos*-складових) функцій Уолша як базиси теоретико-числових перетворень. Визначено перспективу наступних досліджень ефективності перетворень цифрової обробки сигналів у запропонованих системах функцій.

Ключові слова: цифрова обробка, функції, Радемахера, Грея, Уолша, парні, непарні.

ABOUT PHASE INTERDEPENDENCE AND POSSIBILITY OF WALSH FUNCTIONS SYSTEM REDUCTION

Lubomyr Petryshyn ^{1), 2)}

¹⁾ AGH University of Science and Technology, 30 Mickiewicza Av., Cracov, 30-067, Poland,

²⁾ Precarpathian National University, str. Shevchenko 57, Ivano-Frankivsk, 76-025, L.B.Petryshyn@gmail.com

Abstract: The system of Walsh functions is the multiplicative group of Rademacher- and Gray-function systems. The system contains discrete-harmonic *sin*-components of Rademacher functions, *cos*-components of Gray functions, and also discrete-nonharmonic components of Walsh functions. Pair phase interdependence of complete Walsh system functions is established. Subsystems of odd (*sin*-components) and even (*cos*-components) of Walsh functions as bases of theoretic-number transformations are constructed. The perspective of the future researches of transformations efficiency for digital signal processing in the proposed function systems is defined.

Keywords: Digital processing, function, Rademacher, Gray, Walsh, even, odd.

ВСТУП

Цифрова обробка повідомлень є однією із найбільш важливих системних функцій, вимагає основних затрат обчислювальної потужності компютеризованих систем, тому ефективність її здійснення є вирішальним чинником техніко-економічної оцінки систем обробки даних [1-3]. Історично в якості базисних в основному застосовувались гармонічні та дискретно-гармонічні функції, які є похідними *sin*- та *cos*-гармонічних коливань, що було зумовлено простотою технічної реалізації якісних гармонічних генераторів базисних функцій цифрової обробки сигналів [4-9]. З розвитком

цифрової техніки стала можливою проста реалізація і інших систем залежностей, зокрема дискретно-негармонічних функцій Уолша та Галуа [3, 10-13], які володіють розширеними функціональними можливостями в порівнянні з дискретно-гармонічними системами функцій [12-16]. Можливості технічної реалізації спричинили швидкий розвиток математичних основ теоретико-числових перетворень, ґрунтуючись на яких були реалізовані цифрові засоби формування, зв'язку, фільтрації, обробки, зберігання повідомлень, що володіють покращеними техніко-економічними характеристиками [2, 3, 10-16].

Характер джерела інформації визначає властивості формованого інформаційного потоку, який може бути проаналізований чи синтезований за допомогою тільки парних, тільки непарних, чи обидвох типів систем базисних функцій [2, 4, 13, 14]. З іншого боку, діапазон теоретико-числових перетворень може бути додатково штучно адаптований під характер тільки парних чи тільки непарних систем функцій [3, 14, 16]. Таким чином, при цифровій обробці вхідного потоку даних можливо застосовувати виключно системи парних (наприклад, функції Грея) чи непарних функцій (наприклад, система Радемахера) із необхідністю задання параметру фази складових функцій, або ж можна застосувати системи, що вміщують як парні так і непарні складові функції (наприклад, дискретно-фазову, Уолша, Галуа і т.п.) без можливої необхідності задання нульових фаз вхідних сигналів, внаслідок чого зменшується кількість операцій на обробку нульової фази вхідного сигналу. Проте виникає завдання визначення оптимального співвідношення обчислювальних затрат на обробку більшої чи меншої кількості складових базисних систем функцій та, відповідно, необхідність здійснення обчислень, зумовлених заданням початкової фази сигналів вхідного потоку даних.

Вперше встановлено, що повна система функцій Уолша вміщує попарно ідентичні парні та непарні функції із взаємним фазовим зсувом $\pm\pi/2$ періоду визначення кожного порядкового складу. Така властивість дозволяє застосовувати систему функцій для теоретико-числових перетворень та цифрової обробки сигналів в повному наборі парних та непарних складових, а також додатково в двох часткових варіантах – системі тільки парних чи тільки непарних функцій. З метою подальшого дослідження встановленої властивості проаналізуємо як будується система функцій Уолша і якими є їх фазові взаємозалежності.

1. ДИСКРЕТНО-ГАРМОНІЧНІ СИСТЕМИ ФУНКЦІЙ

При теоретико-числових перетвореннях, що ґрунтуються на функціональному аналізі та синтезі, враховують цілий ряд параметрів, із яких, згідно сформульованого завдання у вступі, проаналізуємо кількість функцій в базисному наборі Уолша та їх характер щодо парності чи непарності. Як показує практика, при цифровій обробці сигналів, можна заощадити на виконанні певних операцій, враховуючи характер сигналу, який підлягає аналізу чи синтезу. Зокрема, проаналізуємо специфіку побудови базисних

систем для теоретико-числових перетворень функцій парного та непарного типів, що вимагає необхідності та достатності застосування відповідно базисних систем парних та непарних функцій без необхідності виконання операцій фазових зсувів.

Одним із класичних базисів функціонального аналізу є базис Радемахера [1-6], який становить ортонормовану систему дискретних функцій

$$Rad(n, \theta) = \text{sign} [\sin 2^n \pi, \theta], \quad (1)$$

де $i = 0, 1, 2, \dots, n$ – порядковий номер функції, θ – параметр часу, тобто час, нормований до інтервалу T : $\theta = t/T$, де t – поточне значення часу, $n = \log_2 N$ – порядок набору базисних функцій теоретико-числових перетворень, N – модуль цілочислених значень базису.

$$\text{sign}x(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } x(t) > 0 \\ -1 & \text{при } x(t) < 0 \\ 0 & \text{при } x(t) = 0 \end{cases}$$

Для пояснення характеру системи Радемахера на рис. 1 зображено перші чотири функції 0 – 3-го порядків.

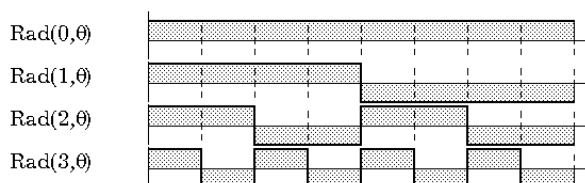


Рис. 1 – Система функцій Радемахера

Із формули (1) та рис. 1 слід звернути увагу, що функції Радемахера є так званими “чистими” \sin -складовими, які змінюють своє значення у точці $t=0$. Іншими словами, базис Радемахера становлять непарні функції, що характеризуються залежністю

$$F(-t) = -F(t).$$

За допомогою такого складу без додаткових операцій фазового зсуву можна аналізувати чи синтезувати функції непарного типу.

З іншого боку, відомий базис Грея [12, 13, 16], який утворений залежністю

$$Gry(n, \theta) = \text{sign} [\cos 2^n \pi, \theta],$$

перші чотири функції 0 – 3-го порядків якого зображено на рисунку 2.

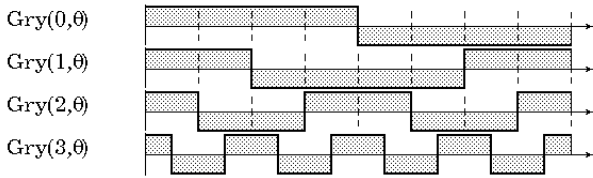


Рис. 2 – Система функцій Грея

На відміну від базису Радемахера, базис Грея є системою функцій так званих “чистих” *cos*-складових, що мають характер парних функцій, тобто

$$F(-t) = F(t).$$

Тому за допомогою функцій Грея без додаткових операцій фазового зсуву можна здійснювати аналіз функцій типу парних.

Проте, якщо на практиці підлягають функціональному розкладу як парні, так і непарні функції, необхідно здійснити вибір одного із наступних рішень.

Відомо, що непарні, чи *sin*-складові, а також парні, чи *cos*-складові, володіють взаємозалежністю фазового зсуву для кожного із порядків на значення $\pm\pi/2$. Тому перше рішення полягає у виборі одного довільного із парних чи непарних базисів та здійсненні операції фазового зсуву.

Інше рішення полягає у виборі єдиного сумішеного базису із парних та непарних функцій без необхідності погодження їх нульової фази на значення $\pm\pi/2$. Автором вперше запропонований базис дискретно-фазових функцій [15, 16], що синтезований із базисів парних функцій Грея та непарних функцій Радемахера наступним чином:

$$DF(n, \theta, i) = \begin{cases} Rad(n, \theta) = \text{sign}[\sin 2^n \pi, \theta] \\ Gry(n, \theta) = \text{sign}[\cos 2^n \pi, \theta] \end{cases}$$

Тому для прикладу $n = 3$:

$$\begin{aligned} DF(0, \theta, 0) &= Rad(0, \theta) = \text{sign}[\sin \pi, \theta], \\ DF(0, \theta, 0) &= Gry(0, \theta) = \text{sign}[\cos \pi, \theta], \\ DF(1, \theta, 0) &= Rad(1, \theta) = \text{sign}[\sin 2\pi, \theta], \\ DF(1, \theta, 2) &= Gry(1, \theta) = \text{sign}[\cos 2\pi, \theta], \\ DF(2, \theta, 0) &= Rad(2, \theta) = \text{sign}[\sin 4\pi, \theta], \\ DF(2, \theta, 1) &= Gry(2, \theta) = \text{sign}[\cos 4\pi, \theta], \\ DF(3, \theta, 0) &= Rad(3, \theta) = \text{sign}[\sin 8\pi, \theta], \\ DF(3, \theta, i) &= Gry(3, \theta) = \text{sign}[\cos 8\pi, \theta]. \end{aligned}$$

На рис. 3 зображено приклад перших функцій 0 – 3-го порядків дискретно-фазового базису.

Дослідження ефективності застосування вище окреслених двох рішень виходять за рамки даного матеріалу, що визначає перспективу

подальших досліджень і буде опубліковано в майбутньому.

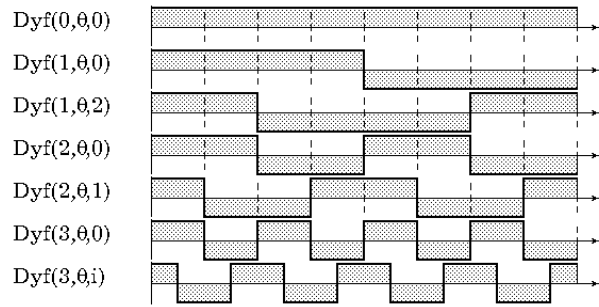


Рис. 3 – Система дискретно-фазових функцій

Матеріал попередніх розділів щодо класичних базисів Радемахера та Грея, а також щодо запропонованого базису дискретно-фазових функцій дозволяє перейти до функціональних властивостей та аналізу ефективності застосування базису Уолша.

2. СИНТЕЗ СИСТЕМИ ФУНКЦІЙ УОЛША

Базис Уолша був розроблений у 1923 році [7, 11, 12] та в наступному набув широкого застосування завдяки потужному функціональному складу [11-13, 16]. Розроблені та широко застосовують також системи функцій Уолша, впорядковані за Уолшем, Пелі, Адамаром, чи іншим чином, кожен із них вміщує інваріантний повний набір функцій [12, 13, 16], тобто є повною мультиплікативною групою складових систем функцій Радемахера та Грея [16]. Нижче наведено процедуру дискретного тригонометричного синтезу функцій базису Уолша $Wal(n, \theta, i)$, впорядкованого за Уолшем, за базисами Радемахера $Rad(n, \theta)$ та Грея $Gry(n, \theta)$.

$$\begin{aligned} Wal(0, \theta) &= Rad(0, \theta) = \text{sign}[\sin \pi] = \\ &= Gry(-1, \theta) = \text{sign}[\cos \pi/2], \\ Wal(1, \theta, 1) &= Rad(1, \theta) = \text{sign}[\sin 2\pi] = \\ &= Gry(0, \theta) = \text{sign}[\cos \pi], \\ Wal(1, \theta, 2) &= Rad(1, \theta) Rad(2, \theta) = \\ &= \text{sign}[\sin 2\pi] \text{sign}[\sin 4\pi] = Gry(1, \theta) = \text{sign}[\cos 2\pi], \\ Wal(2, \theta, 1) &= Rad(2, \theta) = \text{sign}[\sin 4\pi] = \\ &= Gry(0, \theta) Gry(1, \theta) = \text{sign}[\cos \pi] \text{sign}[\cos 2\pi], \\ Wal(2, \theta, 2) &= Rad(2, \theta) Rad(3, \theta) = \\ &= \text{sign}[\sin 4\pi] \text{sign}[\sin 8\pi] = Gry(2, \theta) = \text{sign}[\cos 4\pi], \\ Wal(3, \theta, 1) &= Rad(1, \theta) Rad(2, \theta) Rad(3, \theta) = \\ &= \text{sign}[\sin 2\pi] \text{sign}[\sin 4\pi] \text{sign}[\sin 8\pi] = \\ &= Gry(0, \theta) Gry(2, \theta) = \text{sign}[\cos \pi] \text{sign}[\cos 4\pi], \\ Wal(3, \theta, 2) &= Rad(1, \theta) Rad(3, \theta) = \\ &= \text{sign}[\sin 2\pi] \text{sign}[\sin 8\pi] = \\ &= Gry(1, \theta) Gry(2, \theta) = \text{sign}[\cos 2\pi] \text{sign}[\cos 4\pi], \\ Wal(3, \theta, 3) &= Rad(3, \theta) = \text{sign}[\sin 8\pi] = \\ &= Gry(0, \theta) Gry(1, \theta) Gry(2, \theta) = \\ &= \text{sign}[\cos \pi] \text{sign}[\cos 2\pi] \text{sign}[\cos 4\pi], \\ Wal(3, \theta, 4) &= Rad(3, \theta) Rad(4, \theta) = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \text{sign}[\sin 8\pi] \text{sign}[\sin 16\pi] = \text{Gry}(3, \theta) = \text{sign}[\cos 8\pi], \\
 \text{Wal}(4, 0, 1) &= \text{Rad}(1, \theta) \text{Rad}(3, \theta) \text{Rad}(4, \theta) = \\
 &= \text{sign}[\sin 2\pi] \text{sign}[\sin 8\pi] \text{sign}[\sin 16\pi] = \\
 &= \text{Gry}(0, \theta) \text{Gry}(3, \theta) = \text{sign}[\cos \pi] \text{sign}[\cos 8\pi], \\
 \text{Wal}(4, 0, 2) &= \text{Rad}(1, \theta) \text{Rad}(2, \theta) \text{Rad}(3, \theta) \text{Rad}(4, \theta) = \\
 &= \text{sign}[\sin 2\pi] \text{sign}[\sin 4\pi] \text{sign}[\sin 8\pi] \text{sign}[\sin 16\pi] = \\
 &= \text{Gry}(1, \theta) \text{Gry}(3, \theta) = \text{sign}[\cos 2\pi] \text{sign}[\cos 8\pi], \\
 \text{Wal}(4, 0, 3) &= \text{Rad}(2, \theta) \text{Rad}(3, \theta) \text{Rad}(4, \theta) = \\
 &= \text{sign}[\sin 4\pi] \text{sign}[\sin 8\pi] \text{sign}[\sin 16\pi] = \\
 &= \text{Gry}(0, \theta) \text{Gry}(1, \theta) \text{Gry}(3, \theta) = \\
 &= \text{sign}[\cos \pi] \text{sign}[\cos 2\pi] \text{sign}[\cos 8\pi], \\
 \text{Wal}(4, 0, 4) &= \text{Rad}(2, \theta) \text{Rad}(4, \theta) = \\
 &= \text{sign}[\sin 4\pi] \text{sign}[\sin 16\pi] = \\
 &= \text{Gry}(2, \theta) \text{Gry}(3, \theta) = \text{sign}[\cos 4\pi] \text{sign}[\cos 8\pi], \\
 \text{Wal}(4, 0, 5) &= \text{Rad}(1, \theta) \text{Rad}(2, \theta) \text{Rad}(4, \theta) = \\
 &= \text{sign}[\sin 2\pi] \text{sign}[\sin 4\pi] \text{sign}[\sin 16\pi] = \\
 &= \text{Gry}(0, \theta) \text{Gry}(2, \theta) \text{Gry}(3, \theta) = \\
 &= \text{sign}[\cos \pi] \text{sign}[\cos 4\pi] \text{sign}[\cos 8\pi]. \\
 \text{Wal}(4, 0, 6) &= \text{Rad}(1, \theta) \text{Rad}(4, \theta) = \\
 &= \text{sign}[\sin 2\pi] \text{sign}[\sin 16\pi] = \\
 &= \text{Gry}(1, \theta) \text{Gry}(2, \theta) \text{Gry}(3, \theta) = \\
 &= \text{sign}[\cos 2\pi] \text{sign}[\cos 4\pi] \text{sign}[\cos 8\pi], \\
 \text{Wal}(4, 0, 7) &= \text{Rad}(4, \theta) = \text{sign}[\sin 16\pi] = \\
 &= \text{Gry}(0, \theta) \text{Gry}(1, \theta) \text{Gry}(2, \theta) \text{Gry}(3, \theta) = \\
 &= \text{sign}[\cos \pi] \text{sign}[\cos 2\pi] \text{sign}[\cos 4\pi] \text{sign}[\cos 8\pi].
 \end{aligned}$$

Функції Уолша, впорядковані за Уолшем, або частоті, що зображені на рис. 4, вміщують в своєму складі дискретно-гармонічні функції систем Радемахера та Грея, а також оригінальний набір мультиплікованих дискретно-нерегулярних функцій Уолша $\text{Wal}(n, \theta, i)$.

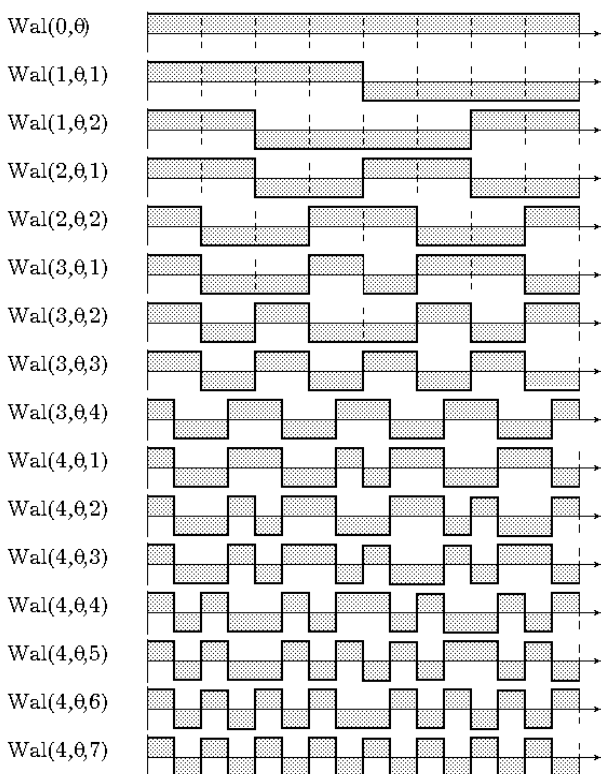


Рис. 4 – Система функцій Уолша

3. ВЛАСТИВІСТЬ ФАЗОВОЇ ВЗАЄМО-ЗАЛЕЖНОСТІ СИСТЕМИ УОЛША

Якщо функції Радемахера і Грея в складі базису Уолша утворюють повні системи дискретно-гармонічних функцій, то вибіркові дискретно-нерегулярні функції теж утворюють відповідно парні та непарні складові базису. Для прикладу системи функцій Уолша четвертого порядку (рис. 5) визначена наступна фазова взаємозалежність:

$$\begin{aligned}
 \text{Wal}(0, \theta) &= \text{sign}[\sin \pi] = \text{sign}[\cos \pi / 2] \\
 \text{Wal}(1, \theta, 1) &= \text{Wal}(1, \theta, 2) + \pi / 2, \\
 \text{Wal}(1, \theta, 2) &= \text{Wal}(1, \theta, 1) - \pi / 2, \\
 \text{Wal}(2, \theta, 1) &= \text{Wal}(2, \theta, 2) + \pi / 4, \\
 \text{Wal}(2, \theta, 2) &= \text{Wal}(2, \theta, 1) - \pi / 4, \\
 \text{Wal}(3, \theta, 1) &= \text{Wal}(3, \theta, 2) - \pi / 2, \\
 \text{Wal}(3, \theta, 2) &= \text{Wal}(3, \theta, 1) + \pi / 2, \\
 \text{Wal}(3, \theta, 3) &= \text{Wal}(3, \theta, 4) + \pi / 8, \\
 \text{Wal}(3, \theta, 4) &= \text{Wal}(3, \theta, 3) - \pi / 8, \\
 \text{Wal}(4, \theta, 1) &= \text{Wal}(4, \theta, 2) + \pi / 2, \\
 \text{Wal}(4, \theta, 2) &= \text{Wal}(4, \theta, 1) - \pi / 2, \\
 \text{Wal}(4, \theta, 3) &= \text{Wal}(4, \theta, 4) - \pi / 4, \\
 \text{Wal}(4, \theta, 4) &= \text{Wal}(4, \theta, 3) + \pi / 4, \\
 \text{Wal}(4, \theta, 5) &= \text{Wal}(4, \theta, 6) - \pi / 2, \\
 \text{Wal}(4, \theta, 6) &= \text{Wal}(4, \theta, 5) + \pi / 2, \\
 \text{Wal}(4, \theta, 7) &= \text{Wal}(5, \theta, 1) + \pi / 16, \\
 \text{Wal}(5, \theta, 1) &= \text{Wal}(4, \theta, 7) - \pi / 16.
 \end{aligned}$$

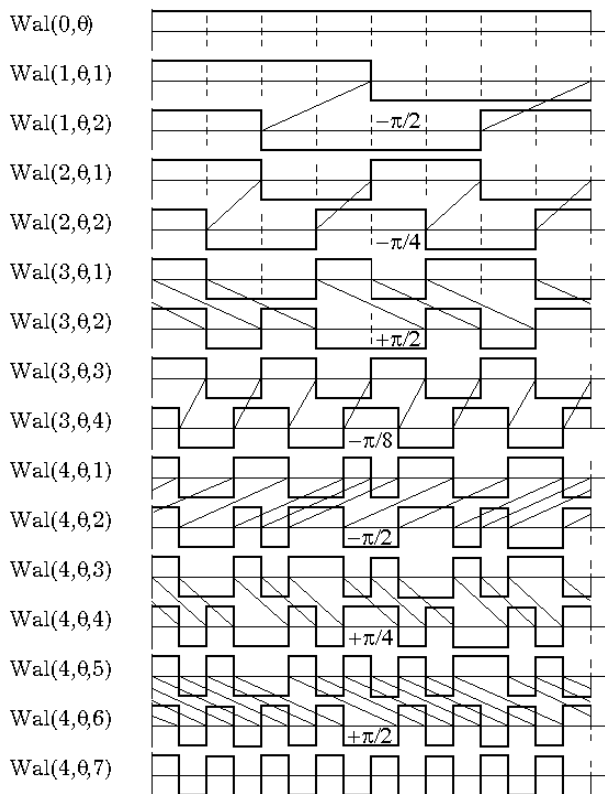


Рис. 5 – Фазова взаємозалежність функцій Уолша

4. ПАРНІ ТА НЕПАРНІ ПІДСИСТЕМИ СИСТЕМИ ФУНКЦІЙ УОЛША

Із наведеного складу функцій шляхом екстракції *sin*-складових можна побудувати підсистему функцій Уолша за непарними функціями

$$\begin{aligned}Wal(0,0) &= Rad(0,0), \\Wal(1,0,1) &= Rad(1,0), \\Wal(2,0,1) &= Rad(2,0), \\Wal(3,0,1) &= Rad(1,0) Rad(2,0) Rad(3,0), \\Wal(3,0,3) &= Rad(3,0), \\Wal(4,0,1) &= Rad(1,0) Rad(3,0) Rad(4,0), \\Wal(4,0,3) &= Rad(2,0) Rad(3,0) Rad(4,0), \\Wal(4,0,5) &= Rad(1,0) Rad(2,0) Rad(4,0), \\Wal(4,0,7) &= Rad(4,0),\end{aligned}$$

Графічне зображення такої підсистеми функцій Уолша зображено на рис. 6.

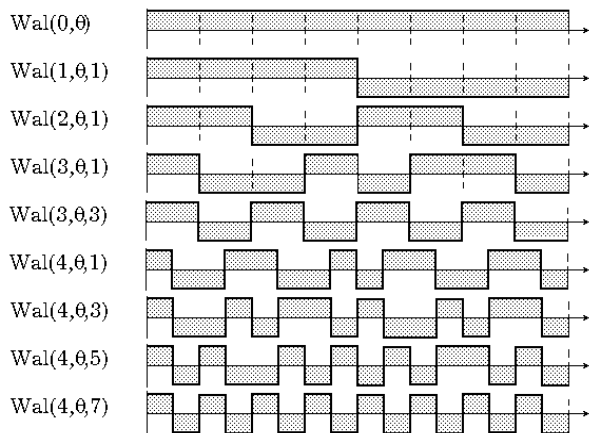


Рис. 6 – Система *sin*-складових функцій Уолша

Нижче здійснено екстракцію *cos*-складових системи функцій Уолша за парними функціями.

$$\begin{aligned}Wal(0,0,1) &= Gry(-1,0), \\Wal(1,0,1) &= Gry(0,0), \\Wal(1,0,2) &= Gry(1,0), \\Wal(2,0,2) &= Gry(2,0), \\Wal(3,0,2) &= Gry(1,0) Gry(2,0), \\Wal(3,0,4) &= Gry(3,0), \\Wal(4,0,2) &= Gry(1,0) Gry(3,0), \\Wal(4,0,4) &= Gry(2,0) Gry(3,0), \\Wal(4,0,6) &= Gry(1,0) Gry(2,0) Gry(3,0), \\Wal(5,0,1) &= Gry(4,0),\end{aligned}$$

Графічне зображення системи *cos*-складових функцій Уолша наведено на рис. 7.

У всякому довільному повному базисному наборі функцій Уолша для кожного із порядкових по n значень максимальний ступінь дискретизації за часом або мінімальний крок θ

становить $\Delta\theta_n = \pi/2^{n-1}$ із всіма значеннями $n\Delta\theta_n = n\pi/2^{n-1}$, для порядків $n = n, n-1, \dots, 1, 0$, а також із повним доповненням базису набором функцій молодших порядків i із відповідними дискретними заповненнями $\Delta\theta_i = \pi/2^{i-1}$, де для кожного n $i = n-1, \dots, 1, 0$.

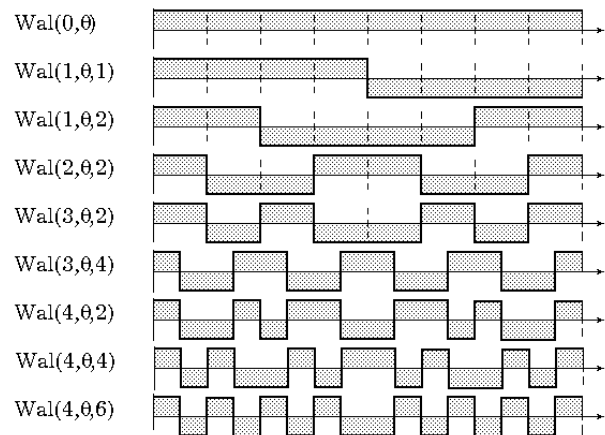


Рис. 7 – Система *cos*-складових функцій Уолша

Екстракцією власне *sin*- та *cos*-складових із повного набору функцій Уолша вилучаємо системи функцій Радемахера та Грея, на основі чого можна твердити, що базис Уолша вміщує повні дискретно-гармонічні базиси Радемахера та Грея, а також набір дискретно-нерегулярних функцій, які є повною мультиплікативною системою функцій Радемахера чи Грея.

Внаслідок вищевказаних викладок можна твердити, що базис Уолша є потужною системою функцій і дозволяє ефективно здійснювати аналіз досліджуваних залежностей. Проте, базис Уолша володіє значною функціональною базисною надлишковістю, зумовленою тим, що потужність базису становить $P = N^2$ [17]. На сьогоднішній день як більш ефективні відомі базисні впорядкування Галуа [12, 13, 16], перехід до яких і побудова систем функцій здійснюється з базису Уолша за допомогою теоретико-числових перетворень. Як перспективу досліджень слід визначити, що, аналогічно до впорядкування функцій Уолша згідно відомих правил Уолша, Пелі, Адамара [6, 7, 11, 12, 16], вперше вводиться алгоритм рекурсивного впорядкування функцій Уолша, які утворюють кілька нових базисних впорядкувань, на основі чого синтезуються системи функцій Галуа.

5. ВИСНОВКИ

Визначено, що система функцій Уолша є повною мультиплікативною групою систем функцій Радемахера та Грея. Встановлено

властивість фазової взаємозалежності складових функцій по парах однакових порядків, що дозволило здійснити їх групування на підсистеми функцій парного (*sin*-складові) та непарного (*cos*-складові) типів. Визначено в складах кожного з типів дискретно-гармонічні та дискретно-негармонічні набори системи функцій. Кожна із підсистем функцій парного чи непарного типів може бути використана в якості системи базисних функцій в цифровій обробці сигналів. Стаття має постановочний характер, визначає властивість фазової взаємозалежності впорядкувань функцій Уолша, яка, в свою чергу, визначає напрямок подальшого дослідження ефективності та специфіки застосування запропонованих систем функцій парного чи непарного типів, та повного базису Уолша в цифровій обробці сигналів на основі теоретико-числових перетворень.

6. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] J.G. Proakis, *Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications*, Pearson Education, 2007, 1156 p.
- [2] S.W. Smith, *Digital Signal Processing: A Practical Guide for Engineers and Scientist*, Newnes, 2003, 650 p.
- [3] R.E. Blahut, *Fast algorithms for digital signal processing*, Addison-Wesley Pub. Co., 1985, 441 p.
- [4] M.G. Karpovskii, E.S. Moskalev, *Spectral Methods for Analysis and Synthesis of Discrete Tools*, Leningrad, Energiya, 1973, 144 p. (in Russian)
- [5] H. Rademacher, Einige Satze von allgemeine Orthogonalfunktionen, *Math. Annalen*, N 87, 1922, pp. 122-138.
- [6] R.E.A.C. Paley, A Remarkable Series of Orthogonal Funktions, *Proc. London Math. Soc.*, 1932, (2)34, pp. 241-279.
- [7] J.L. Walsh, A closed set of ortogonal functions, *American Journal of Mathematics*, 1923, Vol. 45, pp. 5-24.
- [8] A. Haar, Zur Theorie der ortogonalen Funktionsysteme, *Math. Ann.*, Vol. 69, 1910, pp. 331-371, Vol. 71, 1912, pp. 38-53.
- [9] B. Gold, C.M. Rader, *Digital processing of signals*, McGraw-Hill, 1969, 269 p.
- [10] A.V. Oppenheim, *Discrete-Time Signal Processing*, Pearson Education, 2006, 864 p.
- [11] B.I. Golubov, A.V. Efimov, V.A. Skvorcov, *Walsh series and transformations: Theory and applications*, Moscow, Nauka, 1987, 343 p. (in Russian).
- [12] L.A. Zalmanzon, *Fourier, Walsh and Haar transformations and their application in management, communications and other areas*, Moscow, Nauka, 1989, 496 p. (in Russian).
- [13] L.V. Varichenko, V.G. Labunec, M.A. Rakov, *Abstract algebraic systems and digital signal processing*, Kiev, Naukova Dumka, 1986, 248 p. (in Russian).
- [14] L.R. Rabiner, B. Gold, *Theory and Application of Digital Signal Processing*, Prentice Hall, 1975, p. 762.
- [15] L.B. Petryshyn, *Digital messages processing in Galois basis*, Ivano-Frankivsk State Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 1996, 89 p. (in Ukrainian).
- [16] L.B. Petryshyn, *Theoretical bases for form transformation and information digital processing in Galois basis*, Kyiv, IZiMN MON, 1997, 237 p. (in Ukrainian).
- [17] V.M. Mutter, *Bases of noise stable information telecast*, Moscow, Energoatomizdat, 1990, 288 p. (in Russian).



Любомир Петришин, доктор технічних наук, професор кафедри прикладної інформатики технічного університету "AGH University of Science and Technology in Cracov", завідувач кафедри інформатики Прикарпатського національного університету ім. В. Стефаника. Вищу освіту отримав в Івано-Франківському технічному університеті нафти і газу за спеціальністю автоматизація та електрифікація гірничих робіт. Наукові ступені отримано в галузі розробки компонентів обчислювальних систем та мереж. Напрямок наукових досліджень полягає у розробці теоретичних основ, методів і засобів перетворення форми інформації та цифрової обробки повідомлень.



ABOUT PHASE INTERDEPENDENCE AND REDUCTION OF WALSH FUNCTIONS SYSTEM

Lubomyr Petryshyn ^{1), 2)}

¹⁾ AGH University of Science and Technology, 30 Mickiewicza Av., Cracov, 30-067, Poland,

²⁾ Precarpathian National University, str. Shevchenko 57, Ivano-Frankivsk, 76-025, L.B.Petryshyn@gmail.com

Abstract: *The system of Walsh functions is the multiplicative group of Rademacher- and Gray-function systems. The system contains discrete-harmonic sin-components of Rademacher functions, cos-components of Gray functions, and also discrete-nonharmonic components of Walsh functions. Pair phase interdependence of complete Walsh system functions is established. Subsystems of odd (sin-components) and even (cos-components) of Walsh functions as bases of theoretic-number transformations are constructed. The perspective of the future researches of transformations efficiency for digital signal processing in the proposed function systems is defined.*

Keywords: *Digital processing, function, Rademacher, Gray, Walsh, even, odd.*

Digital data processing is one of the basic IT systemic functions, which requires the allocation of the most computing power, so the effectiveness of its implementation is the key factor in the technical and economic evaluation of data processing systems. The development of digital technology also enabled an easy implementation of the system functions, including discrete-non-harmonic Walsh and Galois functions, which have an extended functionality, compared to discrete-harmonic function systems. The possibility of technical implementation led to a rapid development of mathematical, theoretical and numerical processing, on the basis of which systems were developed, including digital formation, transmission, filtering, processing, compression and storage of data with expanded or improved technical and economic parameters.

The nature of an information source determines the properties of the formed information stream, which can be then analyzed, using only even functions, only odd ones or both types. On the other hand, the range of the theoretical and numerical processing may be artificially matched with the nature of only even or odd function systems. Thus, when digital processing of input stream data takes place, only even function systems may be used (e.g. the Gray function system) or odd ones (e.g., the Rademacher function system), with the necessity to preset the phase parameter of component functions, or one can use a system containing both even and odd function components (e.g., a discrete-phase, Walsh, Galois ones, etc.) without having to preset

any zero input signal phases, which leads a reduction in the number of operations in the processing of an input signal zero phase.

For the first time, studies showed that a Walsh function complete system contains the same pairs of odd and even functions, with mutual phase shift of $\pm\pi/2$, in the period of component pair definition for each function order. This feature allows the use of a function system to carry out theoretical and numerical processing, as well as digital signal processing in a full set of odd and even components, and additionally in two partial options – a system containing only even or odd functions. In order to determine the direction of further research, we will examine how Walsh functions are formed and what their mutual phase interactions are.

With theoretical and numerical processing that is based on functional analysis and synthesis, one should take into account a number of parameters, of which, according to the problem formulated in the introduction, we shall analyze the number of functions in a basic Walsh set, and their nature, concerning their evenness or odd parity. In the practice of digital signal processing, one can save on some operations due to the nature of the signal that is subject to analysis and synthesis. In particular, we shall examine the structural specificity of basis function systems that are even and odd, for theoretical and numerical processing, which requires the necessity and sufficiency to use respectively systems of even and odd functions, without having to perform phase shifts.

Walsh functions arranged according to Walsh, or according to frequency (Figure 4) include discrete harmonic Rademacher and Gray functions, and the original set of discrete-irregular, multiplied Walsh functions $Wal(n, \theta, i)$. For example, for a fourth-order Walsh function system (Figure 5) the following phase interdependency was defined:

$$\begin{aligned}Wal(0, \theta) &= \text{sign}[\sin \pi] = \text{sign}[\cos \pi/2] \\Wal(1, \theta, 1) &= Wal(1, \theta, 2) + \pi/2, \\Wal(1, \theta, 2) &= Wal(1, \theta, 1) - \pi/2, \\Wal(2, \theta, 1) &= Wal(2, \theta, 2) + \pi/4, \\Wal(2, \theta, 2) &= Wal(2, \theta, 1) - \pi/4, \\Wal(3, \theta, 1) &= Wal(3, \theta, 2) - \pi/2, \\Wal(3, \theta, 2) &= Wal(3, \theta, 1) + \pi/2, \\Wal(3, \theta, 3) &= Wal(3, \theta, 4) + \pi/8, \\Wal(3, \theta, 4) &= Wal(3, \theta, 3) - \pi/8,\end{aligned}$$

In the above analyzed, complete function system, due to *sin*-component extraction, we may obtain a subsystem of odd Walsh functions. Figure 6 shows time diagram charts for the odd Walsh function subsystem. Figure 7 shows graphs of *cos*-subsystem of even Walsh function.

Based on the above results, it can be stated that the Walsh function base is an advanced function system that allows the effective implementation of a functional analysis. However, the Walsh system is characterized by a relatively high functional redundancy due to the fact that the IT power of the function base is $P = N^2$. Today, more efficient systems are known as the Galois function, the transition to which and the creation of whose basic function systems is carried out by theoretical and numerical transformation of the Walsh base. A research perspective should be that after the analogy of Walsh function systems, arranged by well-known principles of by Walsh, Paley, and Hadamard, a new principle will be introduced for the first time, i.e. recursive ordering of the Walsh function, on whose basis several new basic Walsh function systems will be created, which in turn are the basis for the synthesis of Galois function systems.

For the first time, the property of phase correlation of function components in pairs of the same order was established, which allowed their grouping in sub-systems of even type (*sin*-components) and odd (*cos*-component) functions. In systems of each type, we defined discrete-harmonic and discrete-irregular sub-functions. The study topic has an analytical character, explaining the new tested property of the phase correlation in the Walsh function system, and Gray and Rademacher functions in it, which in turn determines the direction of further research on the effectiveness in the application of these systems in functional analysis of IT processes and digital signal processing.

REFERENCES

- [1] J.G. Proakis, *Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications*, Pearson Education, 2007, 1156 p.
- [2] S.W. Smith, *Digital Signal Processing: A Practical Guide for Engineers and Scientist*, Newnes, 2003, 650 p.
- [3] R.E. Blahut, *Fast algorithms for digital signal processing*, Addison-Wesley Pub. Co., 1985, 441 p.
- [4] M.G. Karpovskii, E.S. Moskalev, *Spectral Methods for Analysis and Synthesis of Discrete Tools*, Leningrad, Energiya, 1973, 144 p. (in Russian)
- [5] H. Rademacher, Einige Satze von allgemeine Ortoogonalfunktionen, *Math. Annalen*, N 87, 1922, pp. 122-138.
- [6] R.E.A.C. Paley, A Remarkable Series of Ortoogonal Funktionen, *Proc. London Math. Soc.*, 1932, (2)34, pp. 241-279.
- [7] J.L. Walsh, A closed set of orotogonal functions, *American Journal of Mathematics*, 1923, Vol. 45, pp. 5-24.
- [8] A. Haar, Zur Theorie der orotogonalen Funktionsysteme, *Math. Ann.*, Vol. 69, 1910, pp. 331-371, Vol. 71, 1912, pp. 38-53.
- [9] B. Gold, C.M. Rader, *Digital processing of signals*, McGraw-Hill, 1969, 269 p.
- [10] A.V. Oppenheim, *Discrete-Time Signal Processing*, Pearson Education, 2006, 864 p.
- [11] B.I. Golubov, A.V. Efimov, V.A. Skvorcov, *Walsh series and transformations: Theory and applications*, Moscow, Nauka, 1987, 343 p. (in Russian).
- [12] L.A. Zalmanzon, *Fourier, Walsh and Haar transformations and their application in management, communications and other areas*, Moscow, Nauka, 1989, 496 p. (in Russian).
- [13] L.V. Varichenko, V.G. Labunec, M.A. Rakov, *Abstract algebraic systems and digital signal processing*, Kiev, Naukova Dumka, 1986, 248 p. (in Russian).
- [14] L.R. Rabiner, B. Gold, *Theory and Application of Digital Signal Processing*, Prentice Hall, 1975, p. 762.
- [15] L.B. Petryshyn, *Digital messages processing in Galois basis*, Ivano-Frankivsk State Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 1996, 89 p. (in Ukrainian).
- [16] L.B. Petryshyn, *Theoretical bases for form transformation and information digital processing in Galois basis*, Kyiv, IZiMN MON, 1997, 237 p. (in Ukrainian).
- [17] V.M. Mutter, *Bases of noise stable information telecast*, Moscow, Energoatomizdat, 1990, 288 p. (in Russian).



FRACTAL APPROACH TO FORMING OF MODIFIED BIFURCATION DIAGRAMS IN PRACTICAL APPLICATIONS

Yury Kolokolov, Anna Monovskaya

Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center,
6, Korolev str., 249035, Obninsk, Russia
2kolo@mail.ru, www.meteo.ru

Abstract: *The points connected with both improving the methods based on the use of the bifurcation analysis and opening new possibilities to use the bifurcation analysis in practical applications are discussed in the paper. So, the fractal approach to form modified bifurcation diagrams is developed. The approach is directed towards extending knowledge about the nonlinear dynamics state-of-the-art by means of the growth in the capacity and adequacy of information about nonlinear dynamics regularities and uncertainties. In particular, it is summarized the peculiarities of the fractal approach; it is signed the main ways to practical applications of the fractal approach – forecasting nonlinear dynamics, estimating the stability margin and risk.*

Keywords: *Bifurcation analysis, Uncertainties, Regularities, Practical applications, Forecasting, Stability margin, Risk estimating.*

1. INTRODUCTION

The great importance of a bifurcation diagram is caused by the fundamental idea – to represent the inhere property of Nature connected with the regularities during the evolution of a nonlinear system. Taking into account this idea, the bifurcation analysis is widely used for scientific researches of nonlinear dynamics regarding different kinds of systems, for example: researching into dynamical processes keeping under observation in power [1, 2], control [2, 3] and information [4,5] parts of technical systems; researching into dynamical processes keeping under observation in biological [6] and natural [7, 8] systems; revealing the evolution processes in social systems [9]; and so on. However, the restrictions concerning the use of bifurcation analysis results for practical applications remain yet quite hard. Such restrictions can be conditionally divided in two groups.

The first group of the restrictions follows from unavoidable uncertainties, which appear in the nonlinear system dynamics during intricate interrelations between several nonlinear phenomena under noise effects. As a result, there is the problem of building the mathematical model characterized by the both properties: the adequacy regarding the completeness of nonlinear phenomena variety; the adequacy regarding the accuracy of determining the bifurcation boundary allocations. The first group

restrictions are mainly softened by adjusting the parameters of a system by the trial-and-error method [2, 10]. In this case, at first, computer calculations are carried out for a simplified mathematical model of the system with the purpose to determine a preliminary solution. Then, experimental researches are carried out to make more precise the computer solution. But, the difference between a computer simulated bifurcation diagram and an experimental bifurcation diagram can remain essential even after mathematical model complications [2]. It leads to the necessity to provide for great stability margins while design a control system using in a responsible technological process.

The second group of the restrictions follows from both multidimensional phase and multidimensional parametrical spaces, which are involved in imaging the evolution of nonlinear dynamics. As a result, there is the problem of informational visualization, because a bifurcation diagram is either not originally designed to show or can partly show some phenomena and some characteristics which are necessary to analyse. For example, the intermittency is shown with distortions, both the ripple amplitude and the average value of an analyzed phase variable are partly shown, a symbolic characteristic of a periodical process is not shown, and so on [11]. The second group restrictions are mainly softened by using the modifications of bifurcation diagrams. The simplest variant of such modification is to exhibit

the evolution of some necessary characteristic of a periodic process (for example, the symbolic characteristic) similar to the evolution of a phase variable [11, 12]. Other example, it can be forming of the fractal structures, which allow to connect uniquely in a special 2D-projection about five or six coordinates of phase and parametrical spaces [13].

The mentioned problems of the mathematical model adequacy and the informational visualization have a deep interrelation. The interrelation is stipulated not only by uncertainties and regularities of nonlinear dynamics evolution, but also by possibilities and restrictions of the search tools used. This problem statement is considered in the fractal approach to forming of modified bifurcation diagrams. The basic idea of the fractal approach is to pick up such viewpoint on nonlinear dynamics evolution that this viewpoint is the most proper for solving the certain scientific or practical task. As a result, it becomes possible to improve the methods based on use of the bifurcation analysis and to open new possibilities to use the bifurcation analysis in practical applications. In the paper the peculiarities of the fractal approach to forming of modified bifurcation diagrams are summarized. Also it signs the main ways to practical applications of the fractal approach – forecasting of nonlinear dynamics, estimating the stability margin and risk. The results presented in the paper are got by experimental researches.

2. EXPERIMENTAL SETUP

Aspiration to practical applications of the bifurcation analysis leads to focus attention on experimental researches. The benefit of the experimental way is connected with the presentation of nonlinear dynamics evolution without destructions and distortions owing to the intricate interrelations between nonlinear phenomena and noise in contrast to the computational way based on use of mathematical models with unavoidable simplifications. The results of the experimental researches presented in the paper were made on the experimental setup “DC-DC buck converter” (60 W), the functional diagram of which is presented in Fig. 1a. The experimental setup was desined by the modular approach taking into account the widely-used schematic circuits (a PWM-regulator, a buck converter, a power supply, and so on). The information-measuring system was desined by analogy with the experimental setup “DC-DC drive” (1kW) [2, 11, 14]. In particular, the digital oscilloscope Tektronix TDS3014B is used for interactive signal imaging (channel “1”), first of all, for the synchronized imaging of the current (i) and

voltage in the buck converter power circuit, and also the synchronizing function voltage (U_{CF}) and the switching function voltage (U_{KF}). Time series is acquired by the data acquisition system E20-10 produced by L-Card company (Moscow, Russia), which is physically the extension board connected to the PC via USB port [11, 14]. The system consists of a 14-bit analog-to-digital converter (ADC) and a direct memory access controller providing the continuous data piping to the PC for posterior processing (channel “2”). Additionally, the specialized real-time channel (channel “3”) is realized through the data processing and data transferring subsystems. The data processing subsystem includes the RISC-microcontroller (ARM7, NXP/Philips). The data transferring subsystem includes the erasable programmable logic device (Cyclone I, ALTERA) and the interface translator (FT245RL, FTDI). The channel “3” is used for realization and investigation of real-time identification, forecasting and adaptation algorithms based on time series fragmentation [11, 14].

The algorithm of bifurcation diagram building is well-known and is based on the use of Poincaré’s periodicity condition. Its data acquisition cycle consists of the following procedures: setting the actual parameters; waiting the running transient completion; acquiring the phase variable samples with the synchronizing frequency ($1/T$); data saving. The cycle is repeated with variation of each parameter with the specified step and direction within the specified range. Certainly, an experimental setup can not guaranty any initial condition for each phase variable, any range and any step for each variable parameter, any disturbance at each moment, and so on. Nevertheless, if it is known both regularities and uncertainties of the considered system nonlinear dynamics, then it can be proposed variants “to detour” such experimental limits. The more regularities and uncertainties are known, the less limits there are. Taking into account this rule, it is accepted the following peculiarity of data acquisition in relation to the abovementioned algorithm of bifurcation diagram building: the sampling frequency is higher in several tens; the sampling duration is longer in several times. For example, an experimental bifurcation diagram presented in Fig.1b exhibits the evolution of nonlinear dynamics through the period doubling 1-2-4-.. scenario. The fragments of time series around Fig. 1b illustrate the periodic processes mapped by the bifurcation diagram branches (from left to right: the 1-process; the 2-process; intermittency of the 1- and 2-processes).

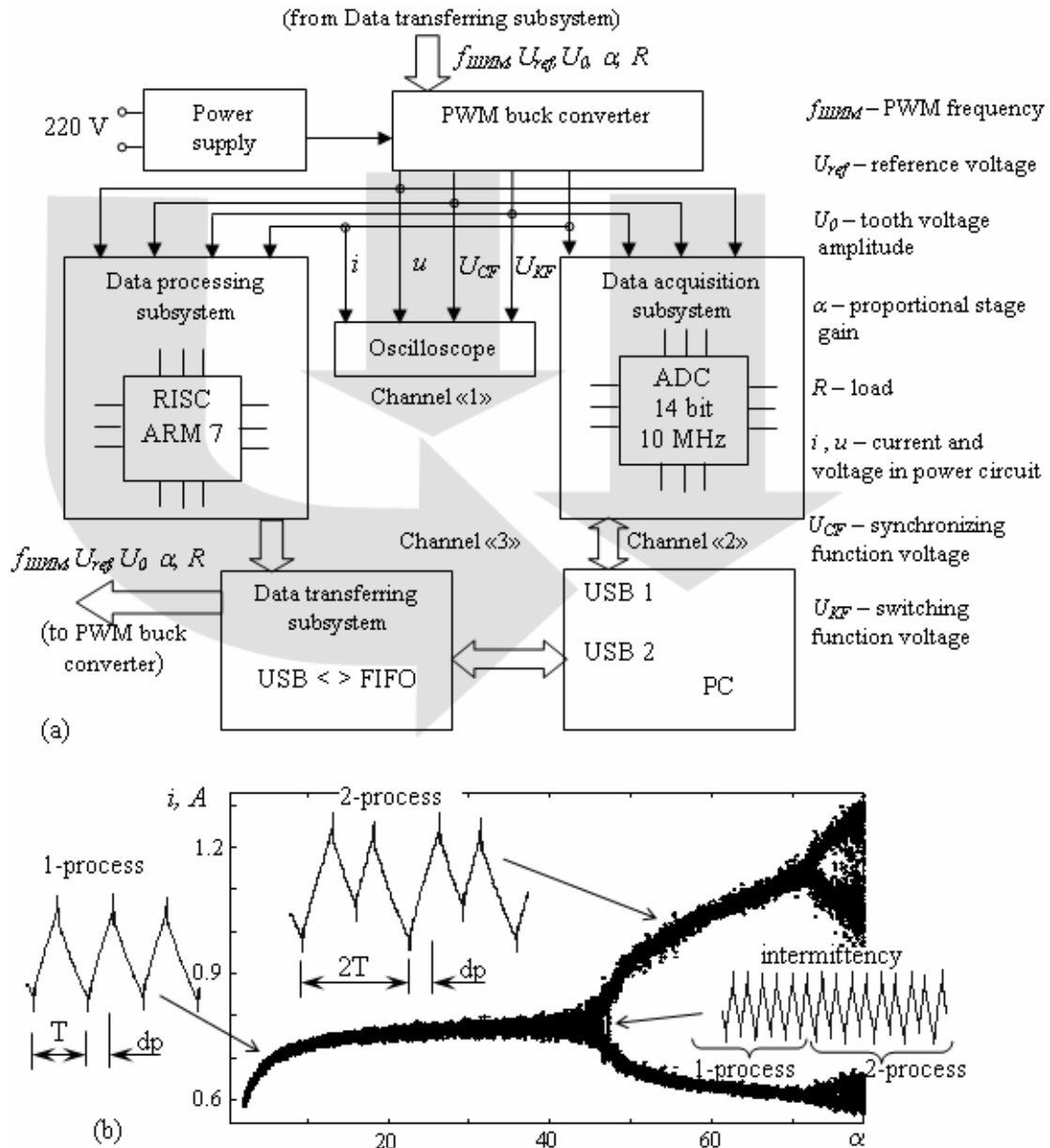


Fig. 1 – The functional diagram of the experimental setup (a); an example of the bifurcation diagram, R-value is equal to 10Ω (b)

3. MODIFICATIONS OF BIFURCATION DIAGRAMS AND REGULARITIES

The modified bifurcation diagram represents a projection that can be built by use of the same set of time series. Modifications exhibit the possibility of different shapes in the case of the same bifurcation diagram. The shape depends on the choice of the moment of i -sampling regarding the T -period beginning (in other words, the choice of Poincare's mapping) and on potentialities of special operator transformations. All the modifications are regular. Let's build the dependence of dm/dm_{max} on dp within the limits of periodic process existence, where dm is the averaged distance between the 2-process branches, dm_{max} is the maximum dm -value, dp is the relative duration from the T -period beginning to the

moment of i -sampling in relation to the T -period duration (Fig. 1b). The range of the dp -values can be divided into two parts (Fig. 2a): from $dp=40\%$ to $dp=71\%$ there is dm -increasing; from $dp=71\%$ to $dp=40\%$ there is dm -decreasing with two bends – near $dp=100\%$ (T -period beginning) and near $dp=20\%$. This regularity remains similar with variation of parameters. Also, the fractal regularities of shifting the fixed points of mapping in the phase space will be observed [13]. For example, bifurcation diagrams will be regularly shifted downward along i -axis with R -value increasing (Fig. 2b). So, both the shape of the same bifurcation diagram and the disposition of a set of bifurcation diagrams in the phase space can be modified by the choice of Poincare's mapping.

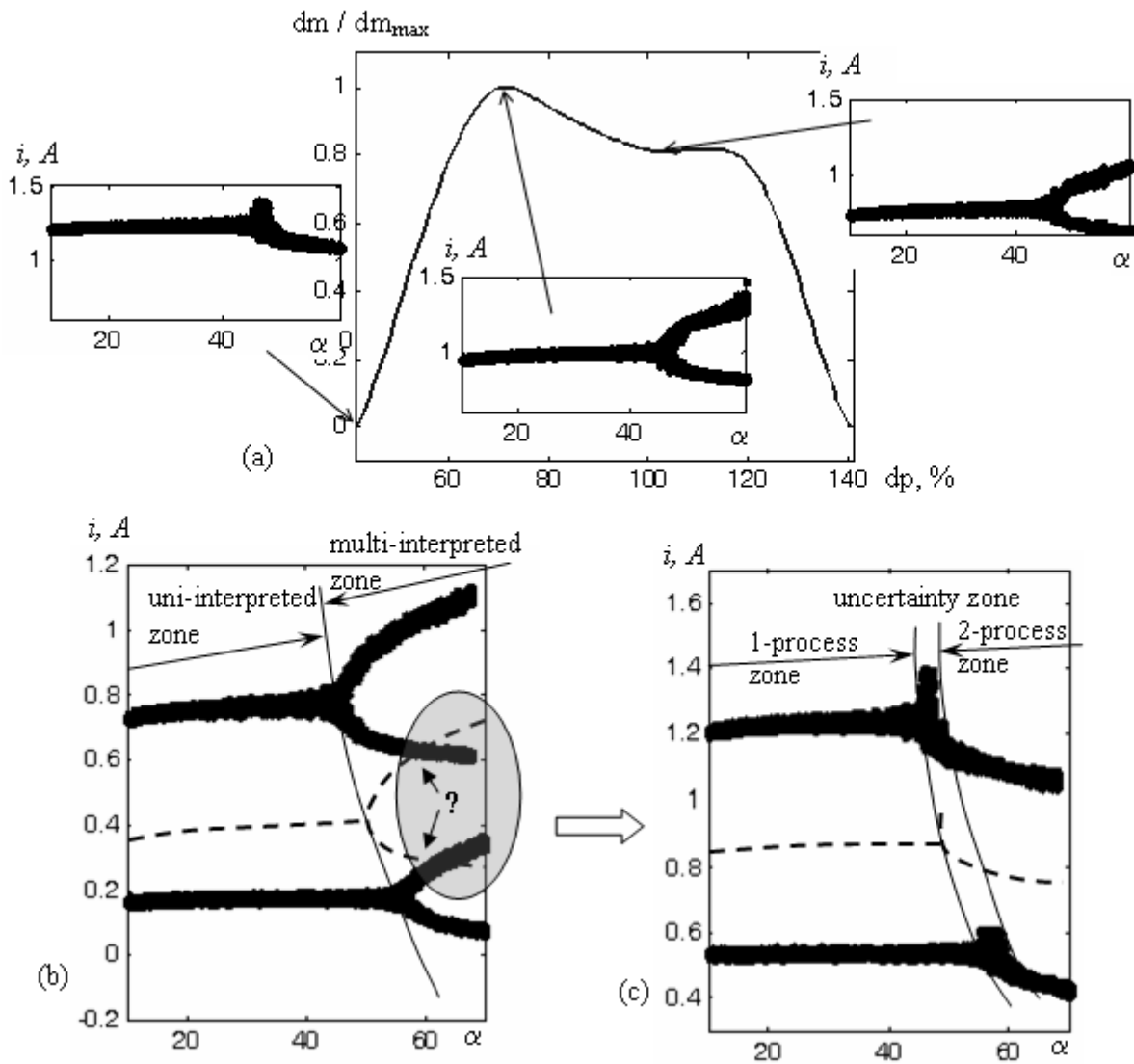


Fig. 2 – The dependence dm/dm_{max} on dp (a); B_{71} -bifurcation diagrams (b) and B_{40} -bifurcation diagrams (c) with R-value equal to 10Ω and 30Ω

This possibility is very important for the realization the fractal methods of real-time forecasting of nonlinear dynamics [13]. The main idea of the method is connected with forming of secondary, tertiary and so on fractal structures, which allow to connect uniquely in a special 2D-projection about five or six coordinates of phase and parametrical spaces. To realize this connection a special operator transformation is used:

$$X \xrightarrow{F_V} V \quad (1)$$

where X is a vector of phase variables in a multidimensional phase space, F_V is a piece-wise operator, V is a vector of images in a special 2D-projection. The physical meaning of the transformation (1) is to eliminate the overlapping of branches of several bifurcation diagrams in the phase space. For example, from the Fig. 2b it is necessary to eliminate either all the upper or all the

bottom branches of the 2-process. Otherwise, the bifurcation diagram added between the uppermost and bottommost bifurcation diagrams will overlap one or several neighbour bifurcation diagrams (the dotted diagram in Fig. 2b).

The transformation by F_V -operator can be quite laborious for realization. At the same time, it turns out that the same result can be got by using the dm/dm_{max} -dependence on dp as the choice of the dp -value with which $dm=0$. The bifurcation realization with the certain dp -value will be hereafter called the B_{dp} -bifurcation diagram («Branch»-bifurcation diagram), where the dp -index denotes conditions under which the diagram was built. The result of the corresponding modifications the bifurcation diagrams Fig. 2b is presented in Fig. 2c. The figure illustrates the existence of three zones: the 1-process zone; the 2-process zone; the narrow streak of an

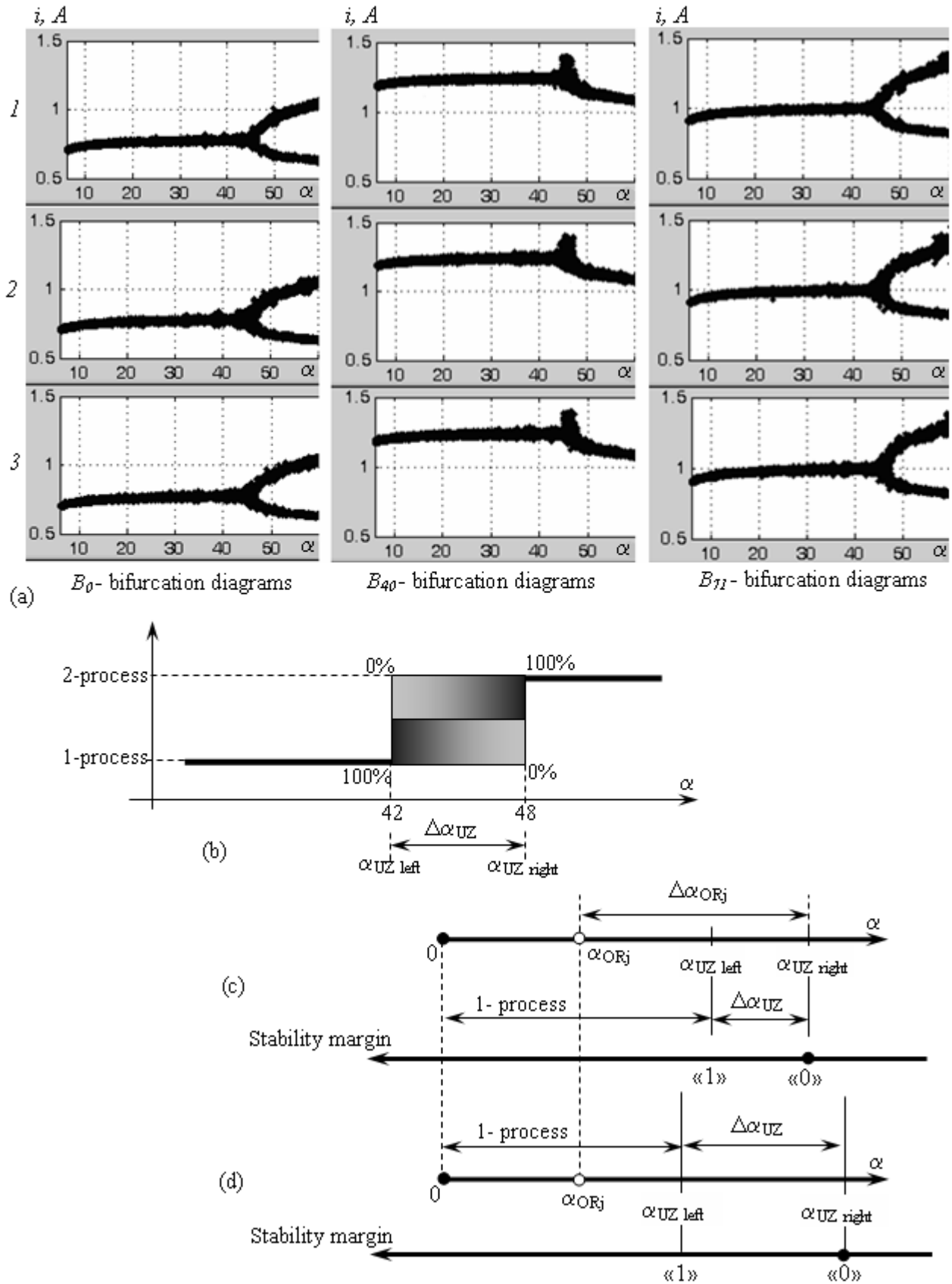


Fig. 3 – Three lines of the bifurcation realizations with R-value equal to 10 Ω , where three columns of B_0 , B_{40} , B_{71} - bifurcation diagrams are correspond to each bifurcation realization (a); an example of J-bifurcation diagram (b); illustrations to the stability margin (c,d)

uncertainty zone ($\Delta\alpha_{UZ}$). Experimental researches show that the $\Delta\alpha_{UZ}$ -zone can not be eliminated because it is the particular property of any scenario of nonlinear dynamics evolution [11, 15]. Since the transformation (1) is not originally designed to reveal the $\Delta\alpha_{UZ}$ -zone then using the B -bifurcation diagrams allows to increase in adequacy of the preliminary information for the fractal methods of real-time forecasting of nonlinear dynamics.

4. REALIZATIONS OF BIFURCATION DIAGRAMS AND STABILITY MARGIN

The unavoidable influence of “delicate” nonlinear phenomena (similar to a hysteresis, an intermittency and so on), noise and unknown parameters on a bifurcation point location leads to the conception of the bifurcation realization [11] – the experimental bifurcation diagram built with the particular combination of internal and external parameters, and also with the particular direction and the particular step of the bifurcation parameter quasi-static variation. Processing a set of bifurcation realizations allows to get the generalized and averaged information. So called the J -bifurcation diagram (“Joint”- bifurcation diagram) is used to show this information [11]. In general case J -bifurcation diagrams allow to analyze either several kinds of the modifications for one bifurcation realization or the same kind of the modification for several bifurcation realizations. For example, let’s consider three bifurcation realizations (three lines 1, 2, 3 in Fig. 3a) with three kinds of the B -bifurcation diagrams (three columns from left to right, accordingly: $dp=0\%$, $dp=40\%$, $dp=71\%$). The figure shows the possibility of some differences while the bifurcation boundary is exhibited in nine variants. The $\Delta\alpha_{UZ}$ -zone appears by combining these variants. In particular, here the $\Delta\alpha_{UZ}$ -zone range is equal about 15% of the 1-process range that can be illustrated by one of the J -bifurcation diagrams (Fig. 3b). The 1-process probability is equal to 100% at left of the $\Delta\alpha_{UZ}$ -zone left limit (α_{UZleft}), the 1-process probability is equal to 0% at right of the $\Delta\alpha_{UZ}$ -zone right limit ($\alpha_{UZright}$), a system behavior within the $\Delta\alpha_{UZ}$ -zone is uncertain. So it becomes possible to propose both the physical meaning and the principle of the quantitative assessment for the stability margin based on the nonlinear dynamics nature.

The commonly accepted meaning of the stability margin is connected with some nonzero distance between the actual (α_{ORj}) and crucial values of a control system parameter, where the crucial value means the loss of the operating process stability. For example, if the 1-process is the operating and the 2-

process is the abnormal, then it is necessary to answer two questions. First, where the bifurcation point locates? But taking into account system behavior within the $\Delta\alpha_{UZ}$ -zone, the answer this question cannot be unique. Second, how long the distance between actual and crucial values should be? At present, this distance is determined in a wide range and is validated on the basis of the empirical considerations, for example [16, 17, 18]. Moreover, the operating process stability margin should correspond to the «worst combination» of parameters. But it is difficult to determine because of the changes over time in internal and external parameters in wide ranges, for example, [1, 2, 10]. Let’s demonstrate that a physical meaning of the stability margin can approach the reality by the following assumption: the $\Delta\alpha_{UZ}$ -zone is the unit of measurement to estimate the stability margin.

In this case the stability margin (S_{ORj}) is calculated by the way (Fig. 3c):

$$S_{ORj} = \Delta\alpha_{ORj} / \Delta\alpha_{UZ}. \quad (2)$$

If α_{ORj} belongs to the 1-process range, then $S_{ORj} > 1$. By analogy, if α_{ORj} belongs to the 2-process range, then $S_{ORj} < 0$. The complication of operational conditions leads to widening the $\Delta\alpha_{UZ}$ -zone. For example, let the $\Delta\alpha_{UZ}$ -zone in Fig. 3d is wider in comparison with the $\Delta\alpha_{UZ}$ -zone in Fig. 3c, and let the α_{ORj} -value is the same for the both cases. Then the S_{ORj} -value in Fig. 3c is greater than the S_{ORj} -value in Fig. 3d. The consequence from this property is concordant with the practical experience: the more various operating regimes there are, the more narrow the 1-process range is. Next, the minimal stability margin guaranteeing the 100% probability of the 1-process stability takes place with the left limit of the $\Delta\alpha_{UZ}$ -zone, where $S_{ORj}=1$. The decrease in this probability occurs from α_{UZleft} to $\alpha_{UZright}$. Correspondingly, the farther α_{ORj} from the bifurcation boundary is, the greater S_{ORj} -value is. The probability of the 1-process stability disappears completely to $\alpha_{UZright}$, so, the stability margin becomes equal to zero.

5. PIECE-WISE BIFURCATION DIAGRAMS AND RISK ESTIMATING

At present, the risk estimating is based on the use of statistic methods. If one has in mind the risk estimating in the cases of qualitative leaps of system states, then it seems to be more valid to take into account the risk of bifurcation phenomena. Correspondingly, the use of only statistic methods becomes insufficiently complete owing to essential

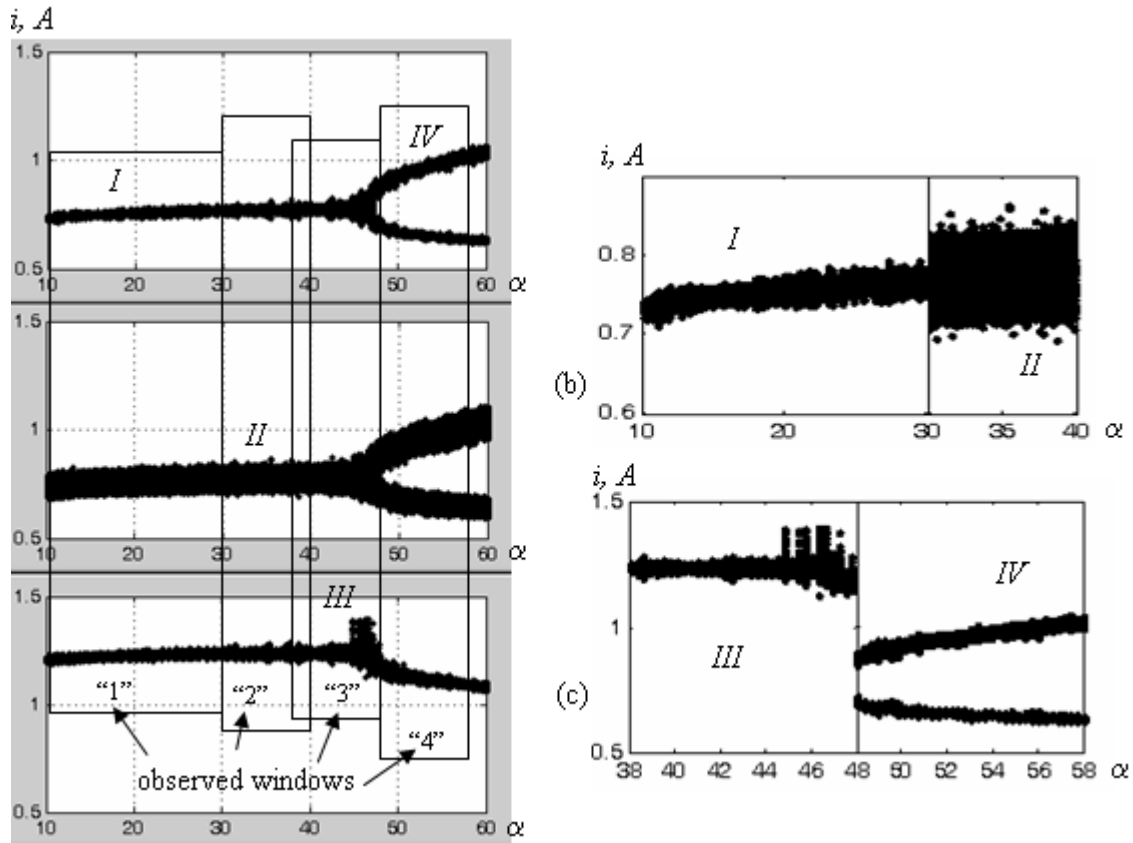


Fig. 4 – Three lines of B_0 , B_{40} , B_{71} bifurcation diagrams for the same bifurcation realization with R-value equal to 10Ω (a); zoom-in combination of the fragments I and II, the observed windows “1” and “2” accordingly (b); zoom-in combination of the fragments III and IV, the observed windows “3” and “4” accordingly (c)

distinctions between the physical nature of uncertainty in accordance with statistic models and the physical nature of uncertainty in accordance with nonlinear models. Let’s consider two examples to illustrate the problem statement (Fig. 4). In the left part of the Fig. 4 three modifications of the same bifurcation realization are presented (from up to bottom, accordingly: B_0 -bifurcation diagram; B_2 -bifurcation diagram; B_{40} -bifurcation diagram). All the diagrams are characterized by the blur of branches, where the range of noise is limited by the standard deviation $\pm 4\sigma$ in relation to the preliminary calculated mathematical expectations for each branch. Let’s assume that the prehistory of the system behavior is known within the range of α -variation from 10 to 30 (the observable window “1” in Fig. 4a). Then the prospective system behavior within the range of α -variation from 30 to 40 (the observable window “2” in Fig. 4a, the upper figure) will be concordant with the limits of statistical risk. But, let’s assume that the system behavior will be shown with the dp -value equal to 2% in comparison with the observable window “1” (the observable window “2” in Fig. 4a, the middle figure). Then the

acting system behavior will exit beyond of the limits for the prospective system behavior. In this example the excess of the potential limits will be about two times (Fig. 4b, combination of the fragments I and II).

Let’ consider the second example. Let the prehistory of the system behavior is known within the range of α -variation from 38 to 48 (the observable window “3” in Fig. 4a, the bottom figure). In this case it is necessary to note that the peculiarity of the B_{40} -bifurcation diagram: the branches of the 2-process actually coincide with each other that does not allow to identify formally the 2-process based on Poincaré’s periodicity condition in contrast to the previous cases (Fig. 4a, the upper and middle figures). In other words, after the realized bifurcation the image of the bifurcation diagram is distorted too much, that the number of branches remains equal to one and looks like the 1-process. So, a qualitative leap of system state can be indistinguishable by experimental way [11]. Let’s assume that the system behavior will be shown with the dp -value equal to 40% in comparison with the observable window “3” (the observable window “4”

in Fig. 4a, the upper figure). Then the acting system behavior not only will exit essentially beyond of the limits for the prospective system behavior, but also unpredictable dual features will be observed. (Fig. 4c, combination of the fragments III and IV).

The diagrams sewing together pieces of several *B*-bifurcation diagrams are used in the both examples to illustrate the variants of potential limits of the risk. The similar bifurcation diagrams will be hereafter called the *PW*-bifurcation diagram (“*Piece-Wise*”-bifurcation diagram). These diagrams can be built for one or several bifurcation realizations. The *PW*-bifurcation diagram allows to show up and to classify the potential combinations of risk phenomena with the purpose to estimate more valid the variety of prospective system behavior. So, it becomes possible to discern the system behavior beyond the limits known under the conditions, when nonlinear dynamics is excluded from consideration.

6. CONCLUSION

Three modified bifurcation diagrams (*B*-, *J*-, *PW*-bifurcation diagrams) are considered through developing the fractal approach to forming of modified bifurcation diagrams. The “*Branch*”-bifurcation diagrams (*B*-bifurcation diagram) are intended for the growth in the capacity and adequacy of the preliminary information about nonlinear dynamics regularities. It seems to be important in applications to the methods of real-time nonlinear dynamics identification and forecasting. The “*Joint*”-bifurcation diagrams (*J*-bifurcation diagram) are intended to show up and to analyse the uncertainty zones near bifurcation boundaries. It can be used for more valid estimating a stability margin that seems to be important in applications to methods of control system design and methods of adaptation. The “*Piece-wise*”-bifurcation diagrams (*PW*-bifurcation diagram) are intended to show up and to classify the potential combinations of risk phenomena taking into account nonlinear behavior. It seems to be important in applications to more valid estimate the ranges of prospective dynamics of the considered system.

7. REFERENCES

- [1] G.M. Buiatti, J.A. Martin-Ramos, C.H. Rojas Garsia, A.M.R. Amaral, A.J. Marques Cardoso, An online and noninvasive technique for the condition monitoring of capacitors in boost converters, *IEEE Trans. on Instrum. and Measur.*, (59) (2010), pp. 2134-2143.
- [2] Yu.V. Kolokolov, S.L. Koschinsky, V.V. Bagrov, Experimental dynamics of electromechanical pulse energy conversion system, *IEEE Trans. on Instrum. and Measur.*, (55) (2006), pp. 35-43.
- [3] M.I. Feigin, M.A. Kagan, Emergencies as a manifestation of the effect of bifurcation memory in controlled unstable systems, *Int. J. of Bifurcation and Chaos*, (14), (2004), pp.2439-2447.
- [4] W. Wang-Kit Thong, J. Chen, Complex dynamical behaviors of deflection routing on grid networks, *Int. J. of Bifurcation and Chaos*, (22) 7 (2012), pp.1250169-1 – 1250169-9.
- [5] H. Wang, K. He, B. Li, J. Leu, On some recent advances in complex software networks: modeling, analysis, evolution and applications. *Int. J. of Bifurcation and Chaos*, (22) 2 (2012), pp.1250024-1 – 1250024-15.
- [6] N. Marwan, G. Beller, D. Felsenberg, P. Sapanin, J. Kurths, Quantifying changes in the spatial structure of trabecular bone, *Int. J. of Bifurcation and Chaos*, (22) 2 (2012), pp. 1250027-1 – 1250027-12.
- [7] A. Vidal, J.-P. Francoise, Canard cycles in global dynamics, *Int. J. of Bifurcation and Chaos*, (22) 2 (2012), pp.1250026-1 – 1250026-13.
- [8] A. Trevisan, L. Palatella, Chaos and weather forecasting: The role of the unstable subspace in predictability and state estimation problems, *Reviews. Int. J. of Bifurcation and Chaos*, (2) 12 (2011), pp. 3389-3415.
- [9] J. Demongeot, J. Gaudart, A. Lontos, J. Mintsas, E. Promayon, M. Rachdi, Zero-diffusion domains in reaction-diffusion morphogenetic and epidemiologic processes, *Int. J. of Bifurcation and Chaos*, (22) 2 (2012), pp. 1250028-1 – 1250028-23.
- [10] M. Jelali, An overview of control performance assessment technology and industrial applications, *Control Engineering Practice*, (14) (2006), pp. 441-466.
- [11] Yu.V. Kolokolov, A.V. Monovskaya, Estimating the uncertainty of the behavior of a PWM power converter by analyzing a set of experimental bifurcation diagrams, *Int. J. of Bifurcation and Chaos*, (23) 4 (2013), pp. 1350063-1- 135006314.
- [12] M.H. Jensen, P. Bak, T. Bohr, Transition to chaos by interaction of resonances in dissipative systems, *I. Circle maps, Physical Rev. A*, (30), 1984, pp. 1960-1969.
- [13] Yu.V. Kolokolov, A.V. Monovskaya, Fractal principles of multidimensional data structurization for real-time pulse system dynamics forecasting and identification, *Chaos, Solitons & Fractals*, (25) 5 (2005), pp. 991-1006.
- [14] Yu.V. Kolokolov, A.V. Monovskaya,

Detection of incipient bifurcation phenomenon in pulse converter dynamics, *Russian electrical engineering*, (84) 1 (2013), pp. 38-43.

- [15] Yu.V. Kolokolov, A.V. Monovskaya, To stability margin tuning based on trial actions in relation to PWM converters, *Russian electrical engineering*, (84) 3 (2013), pp. 15-21.
- [16] S. Banerjee, G. Verghese, *Nonlinear phenomena in power electronics: attractors, bifurcations, chaos and nonlinear control*, IEEE Press, New York, 2001, 441 p.
- [17] B. Lehman, R.M. Bass, Switching frequency dependent averaged models for PWM DC-DC converters, *IEEE Trans. on Power Electron.*, (11) (1996), pp. 89-98.
- [18] J. Sun, Small-signal methods for AC distributed power systems – a review, *IEEE Trans. on Power Electron.*, (24) (2009), pp. 2545-2554.



Yury Kolokolov received the M.S. degree in 1972 (Tomsk Politechnical Institute, Russia), PhD degree in 1978 (Tomsk Politechnical Institute, Russia), Russian academic degree of Senior Doctor in 1990 (Tomsk University of Control and Radioelectronics, Russia). From 1993 to 2007 he worked as a Professor and Head of the Dept. of Design and

technology of electronic systems (State Technical University of Orel, Russia), from 2007 to 2012 he worked as a Professor and Director of Institute of Control Systems and Information Technologies (UGRA State University, Khanty-Mansiysk, Russia), from 2012 he is a chief researcher (Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center, Obinsk, Russia). His research interests include theories and practice of control and stability, nonlinear dynamics and catastrophes regarding complex technical, natural and social systems.



Anna Monovskaya received the M.S. degree in 2001 (State Technical University of Orel, Russia), PhD degree in 2005 (State Technical University of Orel, Russia and University of Technology of Troyes, France), Russian academic degree of Senior Doctor in 2010 (UGRA State University, Khanty-Mansiysk, Russia). From 2007 to 2012 she worked as a Head of the Dept. of Automated systems of data processing and control (UGRA State University, Khanty-Mansiysk, Russia). She is currently a chief researcher (Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center, Obinsk, Russia). Her research interests include theories and practice of control and stability, nonlinear dynamics and catastrophes regarding complex technical, natural and social systems.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В СИСТЕМАХ С ФАЗОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ ПЕРВОГО РОДА

Владимир Жихаревич, Лилия Шумиляк

Черновицкий факультет Национального технического университета
“Харьковский политехнический институт”, Украина, 58032,
г. Черновцы, ул. Главная, 203а
e-mail: vzhikhar@mail.ru, nizhnik@mail.ru

Резюме: Работа посвящена вопросам использования клеточно-автоматной модели для исследования некоторых базовых физических процессов. На примере моделирования процессов переноса тепла рассмотрены основные подходы и общая методология разработки клеточно-автоматных моделей. Показано, что данные модели могут стать альтернативой использованию классических дифференциальных уравнений. Доказано, что модель в виде системы клеточных автоматов является достаточно удобным инструментальным средством для исследования нелинейных задач теплопереноса и может описывать весьма сложное поведение системы, несмотря на простоту ее описания.

Ключевые слова: фазовый переход первого рода, клеточный автомат, теплопроводность.

USE OF CONTINUOUS CELLULAR AUTOMATA FOR SIMULATION OF THERMAL CONDUCTIVITY IN SYSTEMS WITH FIRST ORDER PHASE TRANSITION

Vladimir Zhikharevich, Liliya Shumylyak

Chernivtsi Faculty of National Technical University
“Kharkiv Polytechnic Institute”,
Golovna Str., 203a, Chernivtsi, 58032, Ukraine
vzhikhar@mail.ru, nizhnik@mail.ru

Abstract: This paper is devoted to the use of cellular automata model for the study of some underlying physical processes. The basic approach and general methodology for the development of cellular automata models are examined through the example of heat transfer processes. It is shown that these models can be an alternative to the use of classical differential equations. It is proven that the model as a system of cellular automata is a good tool for the study of nonlinear problems of heat transfer and can describe a very complex behaviour of a system, despite the simplicity of its description.

Keywords: first order phase transition, cellular automata, thermal conductivity.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема решения задач теплопроводности, особенно для случаев с нелинейными параметрами материалов, является достаточно актуальной. В большинстве таких задач общепринятым подходом является численное решение. Но когда речь идет о системах со сложными граничными условиями или фазовыми

переходами вещества, то вычислительная сложность подталкивает к поиску альтернативных методов. Клеточно-автоматный алгоритм легко справляется с описанием сложных систем.

В последние годы активно используются альтернативные подходы относительно численных методов в задачах теплопроводности и диффузии. При этом клеточно-автоматные

алгоритмы применяются достаточно успешно [1, 2]. Следует отметить, что при расчетах диффузионных процессов в большинстве случаев используют дискретные модели [3], а процессы теплопереноса аппроксимируются непрерывными моделями клеточных автоматов [4, 5].

Большое внимание исследователей в области физики твердого тела привлекает проблема изучения структурных параметров реальных материалов, имеющих различную физическую природу и различные пространственные масштабы. В таких случаях есть смысл использовать такие методы моделирования, которые легко описывают сложность геометрии системы [1]. Таким свойством обладает клеточно-автоматное моделирование. Целью данной работы является разработка модели непрерывных клеточных автоматов и использование ее для описания процессов теплопроводности, усложненных наличием фазового перехода первого рода.

Тема клеточных автоматов очень актуальна, так как область их применения практически безгранична, что может привести к разгадкам многих вопросов в окружающем мире.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задача расчетов температурных полей системы, в которой имеют место фазовые переходы первого рода, относится к классу так называемой задачи Стефана.

Математическая формулировка задачи Стефана для трехмерного случая имеет вид:

$$\frac{\partial T_S(x, y, z, t)}{\partial t} = a_S \Delta T_S(x, y, z, t), \quad a_S = \frac{k_S}{c_S \rho_S}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial T_L(x, y, z, t)}{\partial t} = a_L \Delta T_L(x, y, z, t), \quad a_L = \frac{k_L}{c_L \rho_L}, \quad (2)$$

$$|k_S \nabla T_S(x, y, z, t) - k_L \nabla T_L(x, y, z, t)| = \left| H_{\text{пл}} \rho_{(L/S)} \frac{d\xi}{dt} \right|, \quad (3)$$

где $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа;

$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}$ – оператор Гамильтона; T_S и

T_L , a_S и a_L , k_S и k_L , c_S и c_L , ρ_S и ρ_L – соответственно: температура, коэффициент теплопроводности, коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость, удельная плотность твердой и жидкой фаз; $H_{\text{пл}}$ – скрытая теплота плавления; ξ – координата границы раздела двух фаз. В правой части

уравнения (3) обозначение удельной плотности $\rho_{(L/S)}$ означает, что выбирается соответствующее значение жидкой/твердой фазы в зависимости от направления процесса фазового перехода – кристаллизация/плавления.

Процессы теплопроводности, которые описывают уравнения (1)-(3) возможно смоделировать с помощью клеточно-автоматного метода. Но для организации количественных расчетов необходимо дать ответ на вопрос, сколько следует провести клеточно-автоматных взаимодействий, чтобы полученное температурное распределение можно было бы считать решением задачи в момент времени t .

2. ОПИСАНИЕ КЛЕТОЧНО-АВТОМАТНОЙ МОДЕЛИ

Суть моделирования процессов теплопроводности с помощью клеточных автоматов заключается в следующем. Разобьем образец на совокупность одинаковых клеток, одинаковым образом соединенных между собой. Все клетки образуют, так называемую, решетку клеточного автомата. Решетки могут быть разной размерности (одно-, двух- или трехмерный массив) в зависимости от размерности моделируемой системы.

В случаях моделирования сложных явлений, сопровождающихся фазовыми переходами или другими преобразованиями, содержимое ячеек клеточно-автоматного поля может представлять собой отдельный линейный массив некоторых характеристик, ячейки которого, в свою очередь, кроме температуры (для моделирования теплопроводности) и концентрации (для процессов диффузии), могут содержать ряд других параметров, например, индекс состояния вещества, внутреннюю энергию и тому подобное.

Рассмотрим для наглядности двумерное поле КА (рис. 1), которое содержит три слоя: 1 – температура клетки T ; 2 – внутренняя теплота H , которая учитывается при моделировании фазовых переходов; 3 – индекс вещества I (или состояния вещества, например: монокристалл, поликристалл, расплав), который учитывается при выборе значений коэффициентов теплопроводности, теплоемкости и плотности в соответствующей точке системы. Содержимое ячеек поля может принимать действительные непрерывные значения.

Площадь ячейки определяется размерностью клеточно-автоматного поля в соответствии с геометрическими размерами фрагмента моделируемой системы.

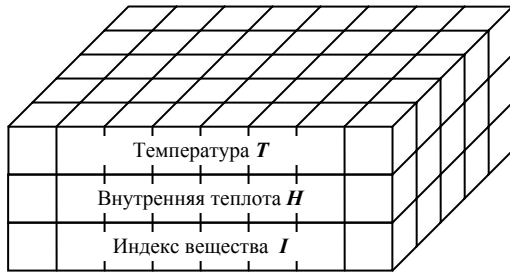


Рис. 1 – Структура клеточно-автоматного поля для двухмерной модели

Клеточные автоматы можно реализовать разными способами. В настоящей работе используется асинхронная схема взаимодействий клеточных автоматов. Данная схема предусматривает циклическое выполнение трех типичных шагов:

1. На клеточно-автоматном поле случайным образом выбирается некоторая клетка $i=1$ с целочисленными координатами x_1, y_1 . При этом все клетки являются равновероятными относительно их выбора.

2. Случайным равновероятным образом выбирается некоторая соседняя клетка $i=2$ с целочисленными координатами x_2, y_2 . В качестве схемы соседства в нашем случае принята окрестность Неймана, т.е. у клетки есть только четыре соседа.

3. Происходит клеточно-автоматное взаимодействие между двумя клетками.

Описанный метод непрерывных асинхронных клеточных автоматов может быть применен для решения задач теплопроводности. В частности это показано в работе [6].

Суть клеточно-автоматных взаимодействий заключается в модификации непрерывных значений соответствующих слоев клеток согласно следующей системе уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} T^{i'} = T^i + (T_{cp} - T^i) a_{cp} / a_{max}; \\ \text{если } (T^{i'} > T_{пл}) \text{ и } (H^i < H_{пл}), \\ \text{то } \{ H^{i'} = H^i + c_s^i (T^{i'} - T_{пл}); T^{i'} = T_{пл}; \} \\ \text{если } (H^{i'} > H_{пл}), \\ \text{то } \{ T^{i'} = T^i + (H^{i'} - H_{пл}) / c_L^i; H^{i'} = H_{пл}; \} \\ \text{если } (T^{i'} < T_{пл}) \text{ и } (H^i > 0), \\ \text{то } \{ H^{i'} = H^i + c_L^i (T^{i'} - T_{пл}); T^{i'} = T_{пл}; \} \\ \text{если } (H^{i'} < 0), \text{ то } \{ T^{i'} = T^i + H^{i'} / c_S^i; H^{i'} = 0; \} \end{array} \right. \quad (4)$$

$$a_{cp} = (a^1 + a^2) / 2; \quad a^i = k^i / \rho^i c^i;$$

$$T_{cp} = \frac{w^1 T^1 + w^2 T^2}{w^1 + w^2}; \quad w^i = \rho^i c^i,$$

где $i=1, 2$ – значение индекса, который соответствует выбранной и соседней клетке с координатами (x^1, y^1) и (x^2, y^2) соответственно; штрихом отмечены значения в следующий момент времени.

Первое уравнение системы (4) представляет собой клеточно-автоматный аналог уравнения теплопроводности (1) и (2), который был исследован в работе [7], остальные уравнения системы (4) – аппроксимация уравнения (3), причем второе и третье уравнения системы (4) описывают процесс плавления, а четвертое и пятое – процесс кристаллизации.

Система уравнений (4) описывает изменение значений температуры и скрытой теплоты плавления соответствующих ячеек за время одного элементарного взаимодействия клеточных автоматов и является своеобразной аппроксимацией численного решения задачи Стефана (1–3).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ И ИХ АНАЛИЗ

Для подтверждения целесообразности моделирования процессов теплопроводности методом клеточных автоматов необходимо определить параметры, от которых зависит точность аппроксимации и их влияние на нее.

Для простоты рассмотрим одномерный однородный образец [7]. При этом коэффициент температуропроводности примем равным константе. В этом случае уравнение (1) примет вид:

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2}, \quad a = \frac{k}{c\rho}. \quad (5)$$

Из решения уравнения теплопроводности (5), на участке вещества длиной d выплывает некоторая величина – характерное время установления температуры в системе:

$$t_{сст} = \frac{d^2}{a}. \quad (6)$$

Попробуем оценить время одного клеточно-автоматного взаимодействия для описанного выше асинхронного подхода. Примем $d=1$, $a=1$. Тогда характерный размер одной клетки $d \sim 1/N$, где N – количество ячеек клеточно-автоматного поля. С другой стороны, вероятность выбора клетки для осуществления

акта взаимодействия также равняется $1/N$. То есть, для обеспечения выбора заданной клетки следует осуществить в среднем N выборов из общей совокупности. По аналогии с процессом массопереноса при диффузии, где коэффициент диффузии прямопропорционален количеству элементарных актов массопереноса на единицу времени, получим $a \sim N$. Учитывая формулу (6), получим:

$$t_{1KA} \sim \frac{1}{N^3}. \quad (7)$$

Подтвердить утверждение (7) можно при помощи вычислительного эксперимента, который заключается в сравнении клеточно-автоматной динамики при разном количестве ячеек клеточно-автоматного поля с конкретным решением уравнения (5). На основе данного эксперимента было построено семейство распределений температуры $T(x,t)$ в диапазоне $x \in [0,1]$ в разные моменты времени. Параллельно с расчетами проводилось клеточно-автоматное моделирование процесса теплопереноса. В случаях максимального подобия, которое анализировалось методом наименьших квадратов на наборе контрольных точек, фиксировалось количество клеточно-автоматных взаимодействий.

Анализируя результаты вычислительного эксперимента можно подтвердить справедливость зависимости (7), а также получить коэффициент пропорциональности.

Таким образом, время одного клеточно-автоматного взаимодействия для описанного метода составляет

– для одномерной модели, поле которой имеет N_x клеток:

$$t_{1KA} = \frac{d_x^2}{a_{\max}} \frac{1}{2N_x^3}, \quad (8)$$

– для двухмерной модели с размерностью $N_x \times N_y$:

$$t_{1KA} = \frac{d_x^2}{a_{\max}} \frac{1}{4N_x^3 N_y} = \frac{d_y^2}{a_{\max}} \frac{1}{4N_y^3 N_x}, \quad (9)$$

– для трехмерной модели ($N_x \times N_y \times N_z$):

$$t_{1KA} = \frac{d_x^2}{a_{\max}} \frac{1}{6N_x^3 N_y N_z} = \frac{d_y^2}{a_{\max}} \frac{1}{6N_y^3 N_x N_z} = \frac{d_z^2}{a_{\max}} \frac{1}{6N_z^3 N_y N_x}, \quad (10)$$

где d_x , d_y и d_z – размеры образца вдоль координаты x , y и z соответственно.

На рисунке 2 показана высокая степень совпадения решений, что подтверждает адекватность использования клеточно-автоматного подхода для аппроксимации решения нестационарного уравнения теплопроводности.

Из вышеизложенного можно сделать вывод о том, что для обеспечения адекватности процесса моделирования размерность клеточно-автоматного поля должна быть как можно большей. С другой стороны, это обязательно приведет к долговременному процессу моделирования. Следовательно, для решения этой проблемы нужен поиск компромисса между точностью решения и временем, необходимым для его получения. С этим недостатком предложенного метода можно справиться, используя параллельные вычисления [8], так как их принципы применимы к клеточным автоматам и позволяют существенно увеличить размеры модели.

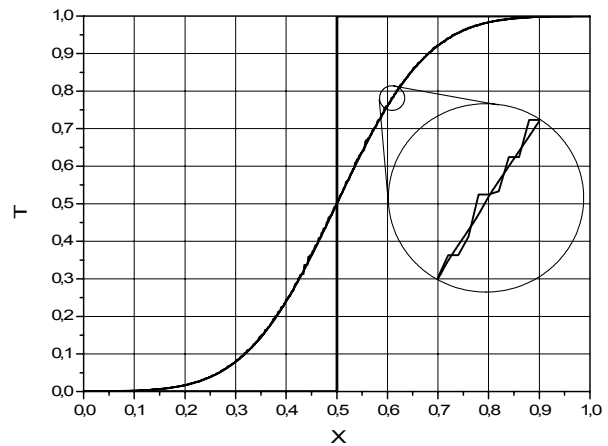


Рис. 2 – Распределение температуры в образце в момент времени $t = 0,01$ с ($N = 500$). Гладкая линия – решение по формуле (5), ломаная – клеточно-автоматное решение

Проводя аналогию КА-метода с методом Монте-Карло, нетрудно заметить похожую зависимость – чем больше время вычислений, тем точнее результат. При этом, как и в случае предложенной асинхронной вероятностной схемы выборки клеточных автоматов, в методе Монте-Карло тоже имеет место применение вероятностных механизмов. Но в отличие от метода Монте-Карло решения уравнений, метод

клеточных автоматов – это метод имитационного моделирования и с его помощью можно моделировать системы, которые невозможно описать в терминах теории дифференциальных уравнений [1].

Дальнейшее усовершенствование предложенного клеточно-автоматного метода приводит к необходимости учета процессов теплопроводности, сопровождающихся фазовыми переходами первого рода.

Рассмотрим нестационарную задачу процесса теплопроводности с фазовым переходом первого рода, то есть задачу Стефана на примере процессов плавление или кристаллизация. При этом следует учитывать скрытую теплоту плавления материала.

Классическим примером задачи теплопроводности с подвижной границей раздела фаз может служить промерзание влажного грунта [9, 10].

Пусть влажный грунт находится в талом состоянии. В начальный момент $t = 0$ с он имеет равномерную температуру $T = 20^\circ\text{C}$. Также на поверхности почвы в начальный момент времени мгновенно устанавливается температура ниже температуры замерзания $T = -5^\circ\text{C}$. В результате будет наблюдаться промерзание. Образующийся промерзший слой будет иметь переменную толщину $\xi = f(t)$. Его подвижная граница всегда имеет температуру замерзания. На этой границе происходит переход из одного агрегатного состояния в другое, на что требуется теплота перехода $H_{пл}$, (Дж/кг). Таким образом, граница $x = \xi$ талой зоны имеет постоянную температуру замерзания, а тепловые условия на границе $x = L$ примем адиабатическими. Коэффициенты переноса мерзлой и талой зон разные. Предполагается, что перенос тепла в почве происходит только вследствие теплопроводности. Примем глубину слоя почвы равной $L = 0,3$ м.

Были проведены вычисления распределений температуры по глубине почвы в различные моменты времени ($t = 4316$ с, $t = 19464$ с, $t = 90875$ с, $t = 266246$ с), используя клеточно-автоматный подход. Результаты расчетов для одномерной ($N_x = 500$), двумерной ($N_x \times N_y = 500 \times 100$) и трехмерной ($N_x \times N_y \times N_z = 500 \times 10 \times 10$) КА-моделей вдоль оси x показаны на рис. 3. В пределах погрешности клеточно-автоматного “шума” [7] модели различной размерности совпадают между собой и с соответствующими результатами численного решения уравнений (1)–(3) для заданной задачи промерзания влажного грунта [9, 10].

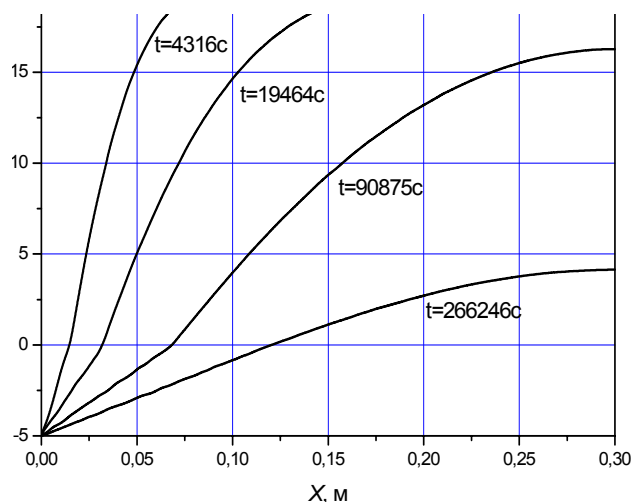


Рис. 3 – Распределения температуры по глубине почвы

Другим примером задачи Стефана является процесс зонного выращивания материалов. Смоделируем данный процесс на примере теллурида висмута (Bi_2Te_3) [11].

Метод зонной плавки заключается в перемещении узкой расплавленной зоны вдоль твердого стержня из выращиваемого материала. При этом на одной поверхности раздела твердой и жидкой фаз (фронте кристаллизации) происходит кристаллизация материала, а на другой (фронте плавления) – подпитка зоны материалом.

На практике зонное выращивание материалов зачастую происходит в кварцевых ампулах цилиндрической формы. Для реализации клеточно-автоматной модели процесса выращивания учет цилиндрической симметрии системы оказывается весьма продуктивным, так как дает возможность свести трехмерную модель к двумерной, что сократит вычислительное время при постоянстве остальных параметров модели.

Естественно, что нагревание или охлаждение цилиндра диаметром D будет происходить интенсивнее по сравнению с бруском квадратного сечения размером $D \times D$.

Проиллюстрируем процесс перехода от двумерной модели к одномерной схематично преобразованием круга в набор из множества секторов:

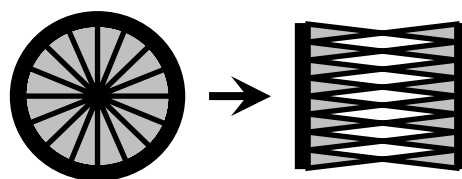


Рис. 4 – Схематическое изображение преобразования круга в набор из множества секторов

Систему, изображенную на рис. 4 справа, можно рассматривать как одномерный образец, в крайних точках которого теплоемкость (или плотность) в πR раз больше, чем в центре. πR – половина длины окружности радиусом R .

С учетом этой особенности выражение для “веса коэффициента” системы (4) приобретает множитель $(1 + \pi R)$. Итак, выражение примет вид: $w^i = \rho^i c^i (1 + \pi R^i)$, где R^i – расстояние от оси цилиндра (или центра круга) до i -той клетки.

Важно отметить, что параметры a_{cp} , a_{max} , t_{1KA} , $H_{пл}$ не зависят от множителя $(1 + \pi R)$. И это верно, поскольку тепловые параметры материала не изменяются. А зависимость T_{cp} от $(1 + \pi R)$ можно объяснить своеобразным “искривлением пространства”.

Для проверки нашего предположения проведем ряд вычислительных экспериментов по охлаждению бруска квадратного сечения $D \times D$ и цилиндра диаметром D . Причем для бруска теплопередача происходит только через две противоположные стороны, другие две стороны находятся в адиабатических условиях. На рис. 5 очевидны существенные расхождения распределений температуры для бруска и цилиндра в различные моменты времени. Но при учете множителя $(1 + \pi R)$ температурные распределения для бруска полностью совпадут с соответствующими результатами для цилиндра!

Таким образом, можно реализовать цилиндрически симметричную двухмерную клеточно-автоматную модель процесса зонного выращивания материалов в кварцевых ампулах, заменив $w^i = \rho^i c^i$ на $w^i = \rho^i c^i (1 + \pi R^i)$ в системе уравнений (4).

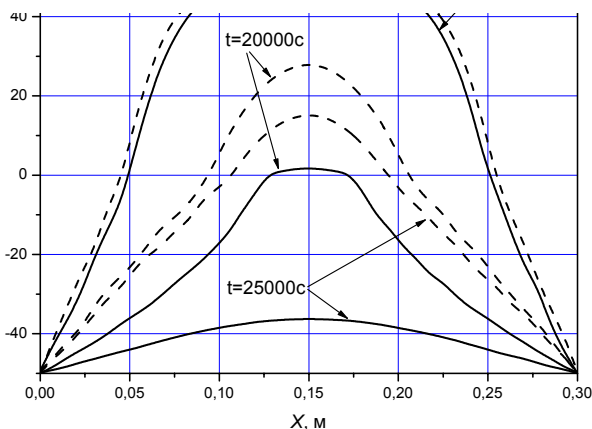


Рис. 5 – Распределения температуры вдоль диагонали сечения цилиндра (сплошные линии) и вдоль сечения квадратного бруска (пунктирные линии)

На рис. 6 изображен пример моделирования процесса зонного выращивания Bi_2Te_3 . Параметры процесса следующие: температура нагревателя – $840^\circ C$, температура холодильников – $30^\circ C$, скорость роста (скорость перемещения нагревателей) – 200 мм/ч, высота фрагмента ампулы – 15 см, внутренняя толщина ампулы – 3 см, высота нагревателя – 5 см. Направление перемещения нагревателя – снизу вверх. В нижней части ампулы формируется монокристалл, а расплавленная зона подпитывается сверху поликристаллом. Размеры поля КА $N_x \times N_y = 120 \times 600$ клеток.

Путем изменения параметров процесса зонного выращивания Bi_2Te_3 можно добиться различных форм фронта кристаллизации – выпуклых в сторону расплава, вогнутых или плоских. Особый интерес с технологической точки зрения, представляет формирование плоского фронта кристаллизации. При данной форме фронта кристаллизации обеспечивается равномерность физических параметров вдоль поперечного сечения слитков. Равенство реальных и модельных параметров выращивания, при которых имеет место плоский фронт кристаллизации [11] демонстрирует адекватность описанного клеточно-автоматного подхода.

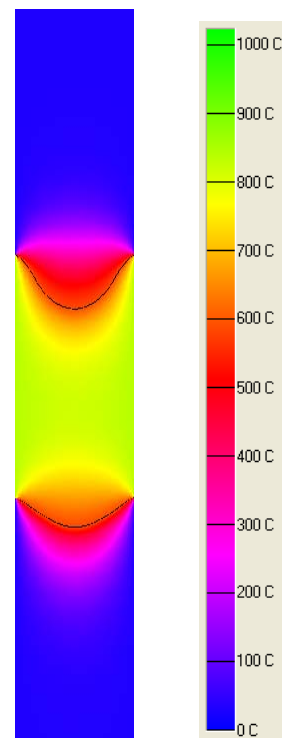


Рис. 6 – Пример моделирования процесса зонного выращивания Bi_2Te_3

4. ВЫВОДЫ

В данной работе показано, что выбор количества клеточных автоматов определяет

точность моделирования, а так же влияет (в степенной зависимости) на время расчетов. Причём, например, зависимость для одномерного случая кубическая, а для многомерных случаев степень ещё выше. Поэтому размерность КА поля следует выбирать из соотношения “количество: качество”.

Также была представлена модель клеточных автоматов, описывающая процессы теплопроводности, сопровождающиеся фазовыми переходами первого рода. Были получены и эмпирически подтверждены параметры, обеспечивающие плоский фронт кристаллизации при зонном выращивании полупроводниковых материалов, а также распределение температуры по глубине почвы в различные моменты времени для задачи промерзания влажного грунта.

Важно отметить, что предложенный метод является достойной альтернативой ранее известным численным методам решения задач Стефана и есть перспективным из-за своей универсальности и простоты. В дальнейшем возможно применение метода непрерывных клеточных автоматов для учета зависимости температуры фазового перехода от состава и моделирование неустойчивости фронта кристаллизации.

5. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] O.L. Bandman, Cellular automata models of spatial dynamics, *System Informatics*, (10) (2005), pp. 57-113. (in Russian)
- [2] V.K. Vanag, Study of spatially extended dynamical systems using probabilistic cellular automaton, *Physical sciences progress*, (169) 5 (1999), pp. 481-505. (in Russian)
- [3] G.G. Malinetskiy, M.E. Stepantsov, Simulation of diffusion processes cellular automata with Margolus neighbourhood, *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, (36) 6 (1998), pp. 1017-1021. (in Russian)
- [4] S. Bobkov, Y.V. Voytko, Usage of cellular automata to model the nonlinear heat conduction problems, *Chemistry and Chemical Engineering*, (52) 11 (2009), pp. 126-128. (in Russian)
- [5] N.I. Limanova, E. Mamzin, S. Matveev, Modelling of heat transfer, *Bulletin of the Samara State Aerospace University*, (3) 19 (2009), pp. 265-269. (in Russian)
- [6] V.V. Zhikharevich, S.E. Ostapov, Simulation

of self-organization and evolution of systems by continuous asynchronous cellular automata, *Computing*, (8) 3 (2009), pp. 61-71. (in Russian)

- [7] V.V. Zhikharevich, L.M. Shumilyak, Approximation of the solution of the non-stationary equation of heat conductivity by the method of probabilistic continuous asynchronous cellular automats for a one-dimensional, *Computer studies and modeling*, (4) 2 (2012), pp. 293-301. (in Russian)
- [8] O.L. Bandman, Parallel implementation of cellular automata algorithms for simulation of spatial dynamics, *Sib. Journal. calculated. Math.*, (10) 4 (2007), pp. 335-348. (in Russian)
- [9] G.V. Kuznetsov, M.A. Sheremet, *Difference Methods for Solving of Heat Conduction: the Manual*, Tomsk: TPU, 2007, 172 p. (in Russian)
- [10] E.A. Arinshtein, Damp ground freezing, *Bulletin of the Tyumen State University*, (6) (2010), pp. 11-14. (in Russian)
- [11] L.T. Strutinskaya, V.V. Zhikharevich, Modeling of thermoelectric materials based on Vi_2Te_3 by vertical zone melting, *Thermoelectrics*, (2) (2012), pp. 79-87. (in Russian)



Владимир Викторович Жихаревич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информационных систем Черновицкого факультета НТУ “ХПИ”.

Научные интересы: клеточно-автоматное моделирование, прикладные вопросы теории клеточных автоматов, теория самоорганизации систем (синергетика).



Лилия Михайловна Шумиляк, магистр физической и биомедицинской электроники, ассистент кафедры информационных систем Черновицкого факультета НТУ “ХПИ”.

Научные интересы: клеточно-автоматное моделирование.

USE OF CONTINUOUS CELLULAR AUTOMATA FOR SIMULATION OF THERMAL CONDUCTIVITY IN SYSTEMS WITH FIRST ORDER PHASE TRANSITION

Vladimir Zhikharevich, Liliya Shumylyak

Chernivtsi Faculty of National Technical University
 “Kharkiv Polytechnic Institute”,
 Golovna Str., 203a, Chernivtsi, 58032, Ukraine
 vzhikhar@mail.ru, nizhnik@mail.ru

Abstract: This paper is devoted to the use of cellular automata model for the study of some underlying physical processes. The basic approach and general methodology for the development of cellular automata models are examined through the example of heat transfer processes. It is shown that these models can be an alternative to the use of classical differential equations. It is proven that the model as a system of cellular automata is a good tool for the study of nonlinear problems of heat transfer and can describe a very complex behaviour of a system, despite the simplicity of its description.

Keywords: first order phase transition, cellular automata, thermal conductivity.

1. INTRODUCTION

The description of systems with complex boundary conditions or phase transition is difficult in many cases. This is due to the fact that a numerical solution of this problem is quite difficult to obtain because of the large number of calculations.

An example is the problem of describing such complex phenomena as evolution and self-organization, diffusion and thermal conductivity. Let us consider the last process, complicating by first order phase transition. This task belongs to the class of so-called Stefan problems.

2. DESCRIPTION OF CELLULAR AUTOMATA MODEL

A characteristic feature of these processes, due to which their mathematical models are nonlinear and difficult to solve, is the moving in time phase boundary, so that a number of different models studied analytically is very limited.

The essence of simulation of processes of thermal conductivity by cellular automata is to present a model as a set (array) of the same cells connected to each other the same way. All cells form a so-called lattice cellular automaton. In turn, the contents of cells-automatic field may be a single linear array of certain characteristics. This can be illustrated as

follows (fig. 1):

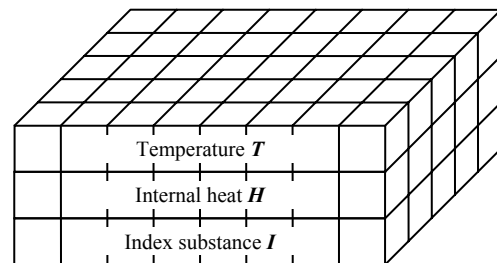


Fig. 1 - Structure of the cellular automaton field for a two-dimensional model

In this paper we use asynchronous scheme of interactions of cellular automata, providing cyclic execution of three typical steps:

1. Some cell $i = 1$ with integer coordinates x^1, y^1 is selected randomly on a cellular automata field.
2. A neighbouring cell $i = 2$ with integer coordinates x^2, y^2 is selected in an equiprobable way. The Neumann neighbourhood is accepted as a neighbourhood scheme in this case, i.e. a cell has only four neighbours.
3. A cellular automata interaction between the two cells takes place.

The parameters of the approximation accuracy were defined to demonstrate the appropriateness of thermal conductivity processes simulation by the selected method

It turned out that the computation time depends

on the number of cellular automata. And the accuracy is directly dependent on the dimension of a CA field. The paper shows that the time of one CA interaction is defined as follows (for the three-dimensional model with the dimension $N_x \times N_y \times N_z$):

$$t_{1KA} = \frac{d_x^2}{a_{\max}} \frac{1}{6N_x^3 N_y N_z} =$$

$$= \frac{d_y^2}{a_{\max}} \frac{1}{6N_y^3 N_x N_z} = \frac{d_z^2}{a_{\max}} \frac{1}{6N_z^3 N_y N_x},$$

where a - thermal diffusivity, d_x , d_y and d_z - size of the sample along the coordinates x , y and z , respectively. Lets proceed to consider a non-stationary task of the process of thermal conductivity with first order phase transition – freezing of moist soil, calculations of temperature distributions in the depth of the soil were performed at various time points ($t = 4316$ s, $t = 19\ 464$ s, $t = 90\ 875$ s, $t = 266246$ s), using the cellular-automata approach. The results of calculations for one-dimensional ($N_x = 500$), two-dimensional ($N_x \times N_y = 500 \times 100$) and three-dimensional ($N_x \times N_y \times N_z = 500 \times 10 \times 10$) CA models along the x axis are shown in Fig. 3. Models of different dimensions agree with one another and with the corresponding results of numerical solutions of equations (1)-(3) for a given problem of freezing of moist soil.

Another example of the Stefan problem was examined in this paper. The process of zone growing of materials was modelled on the example of bismuth telluride (Bi_2Te_3). In practice, zoned growing of materials often occurs in cylindrical form quartz ampoules. For realization of cellular automaton model of the growth process, the cylindrical symmetry of the system (by including the multiplier $(1 + \pi R)$) was taken into account, which made it possible to reduce a three-dimensional model to a two-dimensional one and by that reduce the computing time with other parameters of the model being constant (Fig. 4). Parameters that provide a flat crystallization front have also been obtained and empirically confirmed. Their receipt ensured uniformity of physical parameters along the cross-section of the ingots.

As a conclusion, we note that the proposed method can be a worthy alternative to the previously known classical methods of Stefan problems solving and has prospects due to its versatility and simplicity. It implies that the method of continuous cellular automata can be used for description of dependence of the phase transition temperature on composition

and modeling of instability of crystallization front.

6. REFERENCES

- [1] O.L. Bandman, Cellular automata models of spatial dynamics, *System Informatics*, (10) (2005), pp. 57-113. (in Russian)
- [2] V.K. Vanag, Study of spatially extended dynamical systems using probabilistic cellular automaton, *Physical sciences progress*, (169) 5 (1999), pp. 481-505. (in Russian)
- [3] G.G. Malinetskij, M.E. Stepanov, Simulation of diffusion processes cellular automata with Margolus neighbourhood, *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, (36) 6 (1998), pp. 1017-1021. (in Russian)
- [4] S. Bobkov, Y.V. Voytko, Usage of cellular automata to model the nonlinear heat conduction problems, *Chemistry and Chemical Engineering*, (52) 11 (2009), pp. 126-128. (in Russian)
- [5] N.I. Limanova, E. Mamzin, S. Matveev, Modelling of heat transfer, *Bulletin of the Samara State Aerospace University*, (3) 19 (2009), pp. 265-269. (in Russian)
- [6] V.V. Zhikharevich, S.E. Ostapov, Simulation of self-organization and evolution of systems by continuous asynchronous cellular automata, *Computing*, (8) 3 (2009), pp. 61-71. (in Russian)
- [7] V.V. Zhikharevich, L.M. Shumilyak, Approximation of the solution of the non-stationary equation of heat conductivity by the method of probabilistic continuous asynchronous cellular automats for a one-dimensional, *Computer studies and modeling*, (4) 2 (2012), pp. 293-301. (in Russian)
- [8] O.L. Bandman, Parallel implementation of cellular automata algorithms for simulation of spatial dynamics, *Sib. Journal. calculated. Math.*, (10) 4 (2007), pp. 335-348. (in Russian)
- [9] G.V. Kuznetsov, M.A. Sheremet, *Difference Methods for Solving of Heat Conduction: the Manual*, Tomsk: TPU, 2007, 172 p. (in Russian)
- [10] E.A. Arinshtein, Damp ground freezing, *Bulletin of the Tyumen State University*, (6) (2010), pp. 11-14. (in Russian)
- [11] L.T. Strutinskaya, V.V. Zhikharevich, Modeling of thermoelectric materials based on V_2Te_3 by vertical zone melting, *Thermoelectrics*, (2) (2012), pp. 79-87. (in Russian)



OPTIMIZATION OF ASSOCIATION RULES FOR TUBERCULOSIS USING GENETIC ALGORITHM

Asha T. ¹⁾, S. Natarajan ²⁾, K.N.B. Murthy ²⁾

¹⁾ Bangalore Institute of Technology, India, asha.masthi@gmail.com

²⁾ PES Institute of Technology, India, natarajan@pes.edu, principal@pes.edu

Abstract: Tuberculosis (TB) is a disease caused by bacteria called *Mycobacterium Tuberculosis* which usually spreads through the air and attacks low immune bodies. Human Immuno deficiency Virus (HIV) patients are more likely to be attacked by TB. It is an important health problem around the world including India. Association Rule Mining is the process of discovering interesting and unexpected rules from large sets of data. This approach results in huge quantity of rules where some are interesting and others are repetitive. It also limits the quality of rules to only two measures support and confidence. In this paper we try to optimize the rules generated by Association Rule Mining for Tuberculosis using Genetic Algorithm. Our approach is to extract only a small set of high quality Tuberculosis rules among the larger set using Genetic Algorithm. In the current approach datatypes such as discrete, continuous and categorical items have been handled. The proposed experimental result includes a small set of converged TB rules that helps doctors in their diagnosis decisions. The main motivation for using Genetic Algorithms in the discovery of high-level prediction rules is that they are robust, use adaptive search techniques that perform a global search on the solution space and cope better with attribute interaction than the greedy rule induction algorithms often used in data mining.

Keywords: Tuberculosis, Data Mining, Diagnosis, Association Rules, Optimization, Genetic Algorithm.

1. INTRODUCTION

Large amounts of data have been gathered routinely in the course of day-to-day management in business, administration, medicine, banking, the delivery of social and health services, environmental protection, security and in politics. Such data is primarily used for accounting and for management of the customer base. Typically, management data sets are very large and constantly growing but contain a large number of complex features. While these data sets reflect properties of the managed subjects and relations, and are thus potentially of some use to their owner, they often have relatively low information density. One requires robust, simple and computationally efficient tools to extract information from such data sets. The development and understanding of such tools is the core business of data mining. These tools are based on ideas from computer science, mathematics and statistics. Mining useful information and helpful knowledge from these large databases has thus evolved into an important research area called Data Mining.

Association Rule Mining is an important problem in the rapidly growing field called data

mining and Knowledge Discovery in Databases (KDD). The task of ARM is to mine a set of highly correlated attributes/features shared among a large number of records in a given database. For example, consider the sales database of a bookstore, where the records represent customers and the attributes represent books. The mined patterns are the set of books most frequently bought together by the customer. An example could be that, 60% of the people who buy Design and Analysis of Algorithms also buy Data Structure. The store can use this knowledge for promotions, self-placement etc. There are many application areas for Association Rule Mining techniques, which include catalogue design, store layout, customer segmentation, telecommunication alarm, diagnosis and so on.

In recent years there is an explosive growth of bio-medical data, ranging from those collected in pharmaceutical studies and cancer therapy investigations to those identified in genomics and proteomics research. The digitization of critical medical information such as laboratory reports, patient records, research papers, and anatomic images has also resulted in large amounts of patient care data. These data need to be effectively

organized and analyzed in order to be useful. Therefore Data Mining is becoming an increasingly important tool which transforms large amount of these medical data into information.

India has the world's highest burden of TB with million estimated incident cases per year. It also ranks [1] among the world's highest HIV burden with an estimated 2.3 million persons living with HIV/AIDS. Tuberculosis is much more likely to be a fatal disease among HIV-infected persons than persons without HIV infection. It is a disease caused by mycobacterium which can affect virtually all organs, not sparing even the relatively inaccessible sites. The microorganisms usually enter the body by inhalation through the lungs. They spread from the initial location in the lungs to other parts of the body via the blood stream. They present a diagnostic dilemma even for physicians with a great deal of experience in this disease.

2. RELATED WORK

The Association Rule mining problem was first introduced in 1993 by Agrawal et al. [2, 3]. Agrawal et al. developed the Apriori algorithm for solving the Association Rule Mining problem. The Apriori-based algorithms work in two phases. The first phase is for frequent itemset generation where we find all sets of items (itemsets) whose support is greater than the user-specified minimum support. Such itemsets are called *frequent itemsets*. In the second phase we use the frequent itemsets to generate the desired rules using minimum confidence. The general idea is that if, say ABCD and AB are frequent itemsets, then we can determine if the rule $AB \Rightarrow CD$. $\text{Support}(X)$ is the fractions of the transactions in the database containing X and confidence is defined as the ratio $\text{support}(X \text{ and } Y) / \text{support}(X)$. Since the processing of the Apriori algorithm requires plenty of time, its computational efficiency is a very important issue. In order to improve the efficiency of Apriori, many researchers have proposed modified Association rule-related algorithms.

Savasere et al. [4] introduced a partition algorithm for mining Association rules that is fundamentally different from the classic algorithm. The algorithm logically divides the database into a number of nonoverlapping partitions, which can be held in the main memory. The partitions are considered one at a time and all large itemsets are generated for that partition. These large itemsets are further merged to create a set of all potential large itemsets. Then these itemsets are generated. Park et al. proposed the Direct Hashing and Pruning (DHP) algorithm in 1995. DHP can be derived from Apriori by introducing additional

control. It makes use of an additional hash table that aims at limiting the generation of candidates as much as possible.

Toivonen proposed the sampling algorithm in 1996. The sampling algorithm applies the level-wise method to the sample, along with a lower minimal support threshold, to mine the superset of a large itemset. The method produces exact Association rules, but in some cases it does not generate all the Association rules, that is, some missing Association rules might exist [5]. The dynamic itemset counting (DIC) algorithm was proposed by Brin et al. in 1997. One of the main design motivations was to limit the total number of passes performed over databases. DIC partitions a database into several blocks marked by start points and repeatedly scans the database [6]. In contrast to Apriori, DIC can add new candidate itemsets at any start point, instead of just at the beginning of a new database scan. The Pincer-Search algorithm was proposed by Lin et al. in 1998 and can efficiently discover the maximum frequent set. The Pincer-Search algorithm combines both the bottom-up and top-down directions [7]. In 2001, Yang et al. proposed the efficient hash-based method for discovering maximal frequent Itemsets (HMFS). The HMFS method combines the advantages of both the DHP and the Pincer-Search algorithm [8].

ARM with Apriori has been used by many researchers for the prediction of different diseases. Predicting heart disease has been automated by Association rules. An algorithm that uses search constraints to reduce the number of rules was proposed which searches for Association rules on a training set, and finally validates them on an independent test set. The medical significance of discovered rules is evaluated with support, confidence, and lift [24, 25, 37]. Association rules describe what drugs are frequently coprescribed with antacids [38]. Association rules are applied for the analysis of human sleep data using polysomnographic readings. The authors introduced a specialized Association Rule Mining technique that can extract patterns from complex sleep data comprising polysomnographic recordings, clinical summaries, and sleep questionnaire responses. The rules mined can describe associations among temporally annotated events and questionnaire or summary data; e.g., the likelihood that occurrences of a rapid eye movement (REM) sleep stage during the second 100 sleep epochs of the night is associated with moderate caffeine intake [23].

Though various implementations of Apriori discussed above can be used for deriving rules, still this approach results in huge quantity of rules where some are interesting and others are

repetitive. It also limits the quality of rules to only two measures, support and confidence. Hence Optimization algorithms have been widely used on Association Rule Mining to better improve the rules [9, 39, 40, 41, 42]. Genetic Algorithm is one such optimization technique.

3. GENETIC ALGORITHM (GA)

GAs represent a new programming paradigm that tries to mimic the process of natural evolution to solve computing and optimization problems. It is a stochastic global search method that operates on a population of potential solutions applying the principle of survival of the fittest to produce (hopefully) better and better approximations to a solution [18]. The mining of large data sets by Genetic Algorithms has only recently become practical due to the availability of affordable, high speed computers. GAs in data mining may also be used to evaluate the fitness of other algorithms.

Individuals, or current approximations, are encoded as strings called *chromosomes*, composed over some alphabet(s), so that the *genotypes* (chromosome values) are uniquely mapped onto the decision variable (*phenotypic*) domain. The most commonly used representation in GAs is the binary alphabet {0, 1} although other representations can be used, e.g. ternary, integer, real-valued etc.

Having decoded the chromosome representation into the decision variable domain, it is possible to assess the performance, or *fitness*, of individual members of a population. This is done through an objective function that characterizes an individual's performance in the problem domain. In the natural world, this would be an individual's ability to survive in its present environment. Thus, the objective function establishes the basis for selection of pairs of individuals that will be mated together during reproduction. The different genetic operators are:

- **SELECTION** deals with the probabilistic survival of the fittest, in that more fit chromosome are chosen to survive. Fitness is a comparable measure of how well a chromosome solves the problem at hand.
- **CROSSOVER** takes individual chromosomes from population P and combines them to form new ones.
- **MUTATION** alters the new solutions so as to add stochasticity in the search for better solutions [18].

Fig.1 explains the flow of how genetic algorithm works.

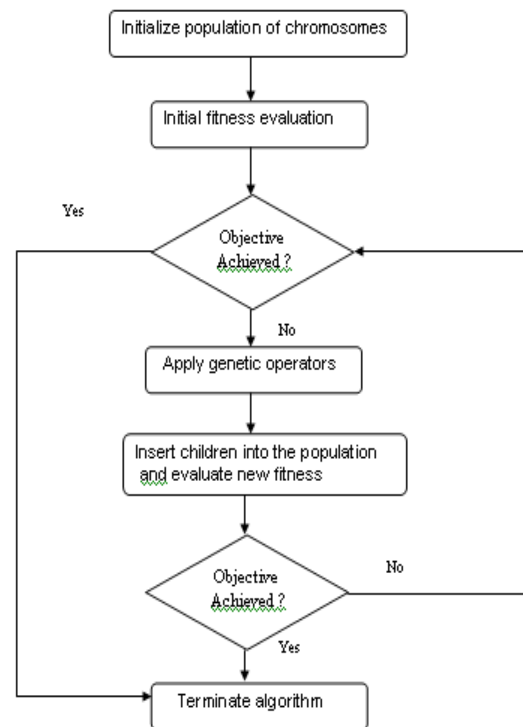


Fig. 1 – Schematic representation of a genetic algorithm

R. J. Kuo et al. [9] proposed the use of particle swarm optimization to search for the optimum fitness value of each particle and then finds corresponding support and confidence as minimal threshold values after the data are transformed into binary values. Saggarr et al. [10] proposed an approach concentrating on optimizing the rules generated using genetic algorithms. The most important aspect of their approach is that it can predict the rule that contains negative attributes. Halina Kwasnicka et al. presented a method of Association rules discovering from medical data using evolutionary approach EGAR [11].

Ashish Ghosh and Bhabesh Nath [12] used Pareto based genetic algorithm to extract some useful and interesting rules from any market-basket type database. Sufal Das and Banani Saha have [13] considered four data qualities like accuracy, comprehensibility, interestingness and completeness to develop Multi-objective Genetic Algorithm (GA) utilizing linkage between feature selection and Association rule. In addition to this Peter P. Wakabi et al. [14] also presented a Pareto-based multiobjective evolutionary algorithm rule mining method based on genetic algorithms.

Orhan Er. and Temuritus [15] presented a study on Tuberculosis diagnosis, carried out with the help of Multilayer Neural Networks (MLNNs). For this purpose, an MLNN with two hidden layers and a genetic algorithm for training algorithm has been used. Data mining approach was adopted to classify genotype of mycobacterium tuberculosis using c4.5

algorithm [16]. Rethabile Khutlang et.al. presented methods for the automated identification of Mycobacterium Tuberculosis in images of Ziehl–Neelsen (ZN) stained sputum smears obtained using a bright-field microscope. They segment candidate bacillus objects using a combination of two-class pixel classifiers [17]. It can be observed from the literature survey that most of the work on TB has been carried out using Neural Network for classification. But Neural Networks lack knowledge representation. Further no work has been published on TB using ARM and optimization techniques. The rules extracted from TB help physician in diagnosing the disease by finding out the association between one symptom with the other. This explored aspect makes the study an important one.

Stochastic Universal Sampling (SUS) is one among the selection technique. The selection function is one that chooses parents for the next generation based on their scaled values from the fitness scaling function. An individual can be selected more than once as a parent, in which case it contributes its genes to more than one child. SUS is a single-phase sampling algorithm with minimum spread and zero bias. Instead of the single selection pointer employed in roulette wheel methods, SUS uses N equally spaced pointers, where N is the number of selections required. The population is shuffled randomly and a single random number in the range $[0, \text{Sum}/N]$ is generated, ptr . The N individuals are then chosen by generating the N pointers spaced by 1, $[ptr, ptr+1, \dots, ptr+N-1]$, and selecting the individuals whose fitnesses span the positions of the pointers. In addition, as individuals are selected entirely on their position in the population, SUS has zero bias. The roulette wheel selection methods can all be implemented as $O(N \log N)$ although SUS is a simpler algorithm and has time complexity $O(N)$. GA differs substantially from more traditional search and optimization methods. The four most significant differences are:

- GAs searches a population of points in parallel, not a single point.
- GAs do not require derivative information or other auxiliary knowledge; only the objective function and corresponding fitness levels influence the directions of search.
- GAs use probabilistic transition rules, not deterministic ones.
- GAs work on an encoding of the parameter set rather than the parameter set itself (except in where real-valued individuals are used).

4. DATA SOURCE

The medical dataset we are using includes 700 real records of patients suffering from TB obtained from a city hospital. The entire dataset is put in one file having many records. Each record corresponds to most relevant information of one patient. Initial queries by doctor as symptoms and some required test details of patients have been considered as main attributes. Totally there are 12 attributes (symptoms) and last attribute indicates the type of TB. The symptoms of each patient such as age, chronic cough (weeks), loss of weight, intermittent fever (days), night sweats, Sputum, Blood cough, chest pain, HIV, radiographic findings, wheezing and TB type are considered as attributes. Table 1 shows names of 12 attributes considered along with their Data Types (DT). Type N-indicates numerical and C is categorical.

Table 1. List of Attributes and their Datatypes

No	Name	DT
1	Age	N
2	chroniccough(weeks)	N
3	weightloss	C
4	intermittentfever(days)	N
5	nightsweats	C
6	Bloodcough	C
7	chestpain	C
8	Diabetesmellitus	C
9	HIV	C
10	Radiographicfindings	C
11	Sputum	C
12	wheezing	C
13	TBtype	C

5. METHODOLOGY

In this section, we explain our proposed method where we first generate Tuberculosis Association rules and then apply Genetic Algorithm to optimize the rules.

Proposed method

- 1] Generate AR using Apriori
 - Load the original Tuberculosis dataset
 - Preprocess the dataset by discretization and Normalization
 - Generate rules by applying Apriori on preprocessed range data
- 2] Optimize the output of step [1] using genetic algorithm
 - Load the Tuberculosis Association rule database from step 1
 - Encode each rule as an individual chromosome
 - Initialize the population of individuals
 - Calculate support, confidence and lift of each individual by scanning original TB data

- Evaluate the fitness of each individual

Repeat

- Select the best parents
- Crossover and mutate to generate offsprings
- Calculate the fitness of new offsprings
- Replace unfit individuals in the population with new ones

UNTIL stopping criteria is met.

5.1 TUBERCULOSIS ASSOCIATION RULE GENERATION USING APRIORI

The original raw TB data is first preprocessed by discretizing and normalizing numerical and categorical attributes respectively. Discretization techniques can be used to reduce the values of given continuous numerical attributes by dividing the range of attribute into intervals. Suppose if age attribute takes on the values from 1 to 100, it is treated as a continuous item and discretization reduces this into four intervals: $0 \leq \text{age} \leq 25$, $26 \leq \text{age} \leq 50$, $51 \leq \text{age} \leq 75$, $76 \leq \text{age} \leq 100$ and assigns to each interval a unique column number 1, 2, 3, 4 respectively. Normalization converts values associated with categorical data items so that they correspond to unique integer labels. A categorical data item colour which can have a value taken from the set {blue, green} can be normalised by assigning the column numbers 5, 6 to the possible values. Fig.2 displays the sample preprocessed output.

Then Apriori algorithm [2, 3] is applied on the preprocessed output in obtaining the rules. Tuberculosis rules are generated by first extracting frequent itemsets from TB data. Different support and confidence values are used to generate frequent sets of TB. In the second step several medically important Association Rules are obtained with the help of rule generation concept. With 60% support and 80% confidence, we could extract around 227 rules. Following Fig. 3 provides sample output of the generated rules which are in preprocessed value format and can be converted back to their original attribute values. The last value in each row indicates the rule's confidence.

5.2 TB ASSOCIATION RULES ENCODING

For any individual representation basically there are two approaches to represent the rules, named as Pittsburgh and Michigan. In the Pittsburgh approach each chromosomes represents a set of rules and this approach is more suitable for classification rule mining; as we do not have to decode the consequent part and the length of the chromosome limits the number of rules generated. The other approach is called Michigan approach where each chromosome

represents a separate rule. A modified approach is currently proposed by Ghosh et al. [12]. In this approach each attribute is tagged with two bits. If these two bits are 00 then attribute next to these two bits appears in the antecedent part and if it is 11 the attribute appears in the consequent part. The other two combinations, 01 and 10 will indicate the absence of the attributes in either of these parts. For example if there are A to F attributes and any rule is of the form as in equation (1)

$$A B \rightarrow E F \text{ is encoded as } 00A \quad (1)$$

$$00B \ 01C \ 01D \ 11E \ 11F$$

There is no restriction on the number of consequents. Binary encoding has been used here.

1	5	9	11	18	20	21	24	26	91	94	95
1	5	9	11	18	20	22	24	25	91	94	95
2	5	10	11	18	20	22	24	25	91	94	95
3	6	9	11	18	20	21	24	27	91	94	95
3	5	9	11	15	20	22	24	28	91	93	95
2	5	9	11	15	20	22	23	25	92	94	96
2	5	9	11	18	19	22	24	25	91	93	95
3	5	10	11	18	20	22	24	25	91	94	95
1	5	9	11	18	20	22	23	25	91	93	96
2	5	10	12	15	20	22	23	25	91	94	96
2	5	9	12	18	20	22	23	25	91	93	96
2	5	10	11	15	20	22	23	25	92	94	96
3	5	10	11	18	20	21	23	29	91	94	96
1	5	10	11	18	20	21	23	25	91	94	96
3	5	9	11	18	20	21	24	30	91	93	95
2	5	9	11	16	20	21	23	25	91	94	96
3	5	10	11	18	20	22	24	31	92	94	95
1	5	10	11	16	20	22	24	32	91	94	95
3	5	9	11	15	19	22	24	90	91	94	95
3	5	10	11	15	20	22	24	90	91	93	95
2	5	10	11	18	20	22	24	33	91	94	95
2	5	9	11	15	20	21	24	34	91	93	95

Fig. 2 – Sample preprocessed output

Rule representation for attribute is different in our approach where we consider the discretized range of values per attribute. Numerical attribute takes four ranges where each is given a different column number and categorical with two column numbers as described above. Hence numerical attributes require 2 bits and categorical attribute require 1 bit for the representation along with tag bits. Though the range of different attributes are different and column numbers of each increases for the next attribute, it is seen that each attribute is reduced to 2 bits for numerical attribute with four status values 00 for first column number, 01-second, 10-third, 11-fourth column. Similarly 2 bits are used for categorical attribute with 0-first number and 1-second. For eg: if Tuberculosis rule from Fig. 3 is of the form as in equation (2)

$$A1 \ A2 \ A5 \rightarrow A12$$

$$3 \quad 5 \quad 20 \rightarrow 95 \quad (2)$$

Where 3 is for the age range $51 \leq \text{age} \leq 75$, 5 is $0 \leq \text{chroniccough}(\text{weeks}) \leq 15$, 20 is for categorical, HIV=Negative and 95 is TBtype = PTB(Pulmonary Tuberculosis), it is encoded as in equation (3).

$$A1 \quad A2 \quad A3 \quad A4 \quad A5 \quad A6 \quad A7 \quad A8.. \quad A12$$

$$0010 \quad 0000 \quad 010 \quad 0100 \quad 0001 \quad \dots \quad 111 \quad (3)$$

Totally twelve attributes are used for TB diagnosis. As explained in equation (1) the first two bits in equation (3) represent tag bits and last two/one bit represent the column number (value) of each range (interval) for numerical and categorical attribute respectively. In equation (3) numerical attribute A1 is antecedent(00) and its discretized range is 3 which is assigned 10 column number in our encoding. Hence its value after encoding is 0010. The same is repeated for all types of attributes.

- | |
|---------------------------------|
| (1) {5 11 24} -> {95} 100.0 |
| (2) {20 24} -> {95} 100.0 |
| (3) {5 11 20 24} -> {95} 100.0 |
| (4) {11 94} -> {5} 99.54 |
| (5) {11 20 22} -> {5} 99.42 |
| (6) {11 18} -> {5} 99.38 |
| (7) {5 20 24 95} -> {11} 97.98 |
| (8) {24} -> {11} 97.84 |
| (9) {24} -> {11 95} 97.84 |
| (10) {10 11} -> {5 20} 96.79 |
| (11) {24 95} -> {5 11} 96.77 |
| (12) {20 95} -> {5 11} 96.73 |
| (13) {5 11 95} -> {20 24} 95.62 |

Fig. 3 – Sample output from Apriori algorithm

5.3. FITNESS FUNCTION

Three sets of measures have been used as the main criteria in designing the fitness function. They are support, confidence and Lift. All the three measures have been combined along with the user defined weights assigned based on their importance in this objective function. Support is given as $\text{support}(XUY) = n(XUY) / n$ where n is the total number of transactions in the database and $n(XUY)$ is the number of transactions that contain both the item set X and Y. Confidence is conditional probability, for an Association rule $X \Rightarrow Y$ and defined as $\text{confidence}(X \Rightarrow Y) = \text{support}(XUY) / \text{support}(X)$. Lift assesses the degree to which the occurrence of one lifts the occurrence of the other.

$$\text{lift}(X \Rightarrow Y) = \text{confidence}(X \Rightarrow Y) / \text{support}(Y)$$

The proposed fitness function f(x) is specified in equation (4).

$$f(x) = (W_1 * \text{Support} + W_2 * \text{Confidence} + W_3 * \text{Lift}) \div (W_1 * W_2 * W_3) \quad (4)$$

where W_1, W_2 and W_3 are user defined weights.

6. RESULTS AND DISCUSSIONS

The experiment was conducted on the above described data source using Matlab. The population size was fixed to 30, crossover rate=0.8, mutation rate was fixed to 0.02 and number of generations=200. Compared to Fig. 3 Apriori rules which are too large, GA results in one single converged rule after running it once. Table 2 lists some of the sample subset of quality rules obtained after running Genetic Algorithm several times. Each rule in Table 2 describes the quality better than all the 227 rules obtained through Apriori. Rule one in Table 2 describes that if the TBtype is PTB (Pulmonary Tuberculosis) then the patients HIV status is Negative. Rule two and three shows the close association between cough, prolonged fever, weightloss, age and RPTB (Retroviral PTB). All the rules described in Table 2 have been verified by the doctor.

7. CONCLUSION

Association rule mining is a very useful technique in the application of medical data. It helps doctors in finding out the association of one attribute with the other. Since it generates large number of rules, it can be optimized to quality rules using Genetic Algorithm. Tuberculosis dataset with a few symptoms as attributes along with HIV as one of the attribute has been used in this experiment. We have applied a simple genetic algorithm to improve the quality of Tuberculosis Association rules. There is no restriction on the number of consequents. In the current approach datatypes such as discrete, continuous and categorical items have been handled. Binary type of encoding has been adopted. The rules which have been generated are promising, giving us better support, confidence and lift. We would like to further extend the work with other types of optimization algorithms.

8. ACKNOWLEDGEMENT

Our thanks to KIMS Hospital, Bangalore for providing the valuable real Tuberculosis data and Hospital Principal Dr. Sudharshan and his staff for giving permission to collect data from the Hospital.

Table 2. List of some of the optimized rules obtained

Selected Rules in discretized values	Corresponding attribute values
'{95} -> {24}'	TBtype=PTB -> HIV=Negative
'{20} -> {5}'	Bloodcough=null -> chroniccough(weeks)<39.0
{10 14} -> {2 6 18 22 96}	weightloss=null and intermittentever(days)>=273.75 -> 24.25<=Age<47.5 and 39.0<=chroniccough(weeks)<78.0 and nightsweats=null and chestpain=null and TBtype=retroviralPTB
'{2 14 18 96} -> {6 10 22 23 94}'	24.25<=Age<47.5 and intermittentever(days)>=273.75 and nightsweats=null and TBtype=retroviralPTB -> 39.0<=chroniccough(weeks)<78.0 and weightloss=null and chestpain=null and HIV=positive and wheezing=null
'{6 20 96} -> {2 14 22}'	39.0<=chroniccough(weeks)<78.0 and Bloodcough=null and TBtype=retroviralPTB -> 24.25<=Age<47.5 and intermittentever(days)>=273.75 and chestpain=null
'{22} -> {20}'	chestpain=null -> Bloodcough=null
'{22} -> {5}'	chestpain=null -> chroniccough(weeks)<39.0

9. REFERENCES

- [1] *HIV Sentinel Surveillance and HIV Estimation*, New Delhi, India, National AIDS Control Organization, Ministry of Health and Family Welfare, Government of India, 2006, http://www.nacoonline.org/Quick_Links/HIV_Data/ Accessed 06 February, 2008.
- [2] Rakesh Agrawal, Tomasz Imielinski, and Arun Swamy, Mining association rules between sets of items in large databases, *Proc. ACM SIGMOD International conference on management of data*, 22 (2), 1993, pp. 207-216.
- [3] Rakesh Agrawal and Ramakrishnan Srikant, Fast algorithms for mining association rules in large databases, *Proc. VLDB conference*, September 12-15, 1994, pp. 487-499.
- [4] A. Savasere, E. Omiecinski, S. Navathe, An efficient algorithm for mining association rules in large database, *Proc. of the 21st VLDB Conference*, 1995, pp. 432-444.
- [5] H. Toivonen, Sampling large databases for association rules, *Proc. of the 22nd VLDB Conference*, 1996, pp. 134-145.
- [6] S. Birn, R. Motwani, J.D. Ullman, S. Tsur, Dynamic itemset counting and implication rules for market basket data, *Proc. of the ACM SIGMOD*, 1997, pp. 255-264.
- [7] D.I. Lin, Z.M. Kedem, Pincer search: a new algorithm for discovering the maximum frequent set, *Proc. of the 6th International Conference on Extending Database Technology: Advances in Database Technology*, 1998, pp. 105-119.
- [8] D.L. Yang, C.T. Pan, Y.C. Chung, An efficient hash-based method for discovering the maximal frequent set, *Proc. of the 25th Annual International Conference on Computer Software and Applications*, 2001, pp. 516-551.
- [9] R.J. Kuo, C.M. Chao, Y.T. Chiu, Application of particle swarm optimization to association rule mining, *Applied Soft Computing, Elsevier*, Vol. 11, 2011, pp. 326-336.
- [10] M. Saggat, A.K. Agrawal, A. Lad, Optimization of association rule mining using improved genetic algorithms, *Proc. of the IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics*, Vol. 4, 2004, pp. 3725-3729.
- [11] Halina Kwasnicka and Kajetan Switalski, Discovery of association rules from medical data – classical and evolutionary approaches, *Proc. of XXI Autumn Meeting of Polish Information Processing Society*, 2005, pp. 163-177.
- [12] A. Ghosh, B. Nath, Multi-objective rule mining using genetic algorithms, *Information Sciences*, (163) 1-3 (2004), pp. 123-133.
- [13] Sufal Das & Banani Saha, Data quality mining using genetic algorithm, *International Journal of Computer Science and Security, (IJCSS)*, (3) 2(2009), pp. 105-112.
- [14] Peter P. Wakabi-Waiswa, Venansius Baryamureeba, Extraction of interesting association rules using genetic algorithms, *International Journal of Computing and ICT Research*, (2) 1 (2008), pp. 26-32.
- [15] Orhan Er, Feyzullah Temurtas and A.C. Tantrikulu, Tuberculosis disease diagnosis

- using artificial neural networks, *Journal of Medical Systems*, Springer, 2008, DOI 10.1007/s10916-008-9241-x online.
- [16] M. Sebban, I. Mokrousov, N. Rastogi and C. Sola, A data-mining approach to spacer oligo nucleotide typing of mycobacterium tuberculosis, *Bioinformatics*, Oxford University Press, (18) 2 (2002), pp. 235-243.
- [17] Rethabile Khutlang, Sriram Krishnan, Ronald Dendere, Andrew Whitelaw, Konstantinos Veropoulos, Genevieve Learmonth, and Tania S. Douglas, Classification of mycobacterium tuberculosis in images of ZN-stained sputum smears, *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, (14) 4 (2010), pp. 949-957.
- [18] G.E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley, New York, 1989.
- [19] A.A. Freitas, A Survey of evolutionary algorithms for data mining and knowledge discovery, *Advances in Evolutionary Computing: Theory and Applications*, 2003, pp. 819-845.
- [20] Jesus Alcala-Fdez, Rafael Alcala, Mario Jose Gacto and Francisco Herrera, Learning the membership function contexts for mining fuzzy association rules by using genetic algorithms, *Fuzzy Sets and Systems*, (160) 7 (2009), pp. 905-921.
- [21] Cristiano Pitanguí, Gerson Zaverucha, Genetic based machine learning: merging Pittsburgh and Michigan, an implicit feature selection mechanism and a new crossover operator, *Proceedings of the Sixth International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS'06)*, 2006.
- [22] Asha T., S. Natarajan, and K.N.B. Murthy, Association rule based tuberculosis disease diagnosis, *Proceedings of International Conference on Digital Image Processing (ICDIP'2010) February 26-28, 2010 SPIE*, Singapore, 7546, 75462Y1-6.
- [23] Parameshvya Laxminarayan, Sergio A. Alvarez, Carolina Ruiz, and Majaz Moonis, Mining statistically significant associations for exploratory analysis of human sleep data, *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, (10) 3 (2006), pp. 440-450.
- [24] Carlos Ordonez, Edward Omiecinski, Cesar A. Santana, et al., Mining constrained association rules to predict heart diseases, *Proc. ICDM*, November, 2001, pp. 433-440.
- [25] Carlos Ordonez, Cesar A. Santana, Levien de Braal, Discovering interesting association rules in medical data, *Proc. ACM DMKD*, 2000, pp. 78-85.
- [26] B. Liu, W. Hsu, S. Chen, Y. Ma, Analyzing the Subjective Interestingness of Association Rules, *IEEE Intelligent Systems*, 2000.
- [27] M. Pei, E.D. Goodman, W.F. Punch, Feature extraction using genetic algorithm, *Proceedings of International Symposium on Intelligent Data Engineering and Learning (IDEAL'98)*, 1997.
- [28] Sufal Das, Bhabesh Nath, Dimensionality reduction using association rule mining, *IEEE Region 10 Colloquium and Third International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS 2008)*, December 8-10, 2008, IIT Kharagpur, India.
- [29] M. Anandhavalli, Suraj Kumar Sudhanshu, Ayush Kumar and M.K. Ghose, Optimized association rule mining using genetic algorithm, *Advances in Information Mining*, (1) 2 (2009), pp. 01-04.
- [30] David Beasley et al., An overview of genetic algorithms, Part 1 & 2, *University Computing*, (15) 2 & 4 (1993), pp. 58-69 & pp. 170-181.
- [31] Kazuo Sugihara, Measures for performance evaluation of genetic algorithms, *Proceedings of 3rd Joint Conference on Information Sciences (JCIS'97)*, 1997, pp. 172-175.
- [32] S.M Khalessizadeh, R. Zaefarian, S.H. Nasseri, and E. Ardil, Genetic mining: using genetic algorithm for topic based on concept distribution, *Transactions on Engineering Computing and Technology*, Vol. 13, World Enformatika Society, May 2006, pp. 44-147.
- [33] Mehmet Kaya, Multi-objective genetic algorithm based approaches for mining optimized fuzzy association rules, *Soft Computing*, 2006, pp. 578-586.
- [34] J. Han and M. Kamber, *Data Mining: Concepts and Techniques*, II edition, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 2006.
- [35] Ian H. Witten and Eibe Frank, *Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques*, Morgan Kaufmann Publishers, 2001.
- [36] A.K. Pujari, *Data Mining Techniques*, Universities Press, 2001.
- [37] Carlos Ordonez, Association rule discovery with the train and test approach for heart disease prediction, *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, (10) 2 (2006), pp. 334-343.
- [38] T.J. Chen, L.F. Chou and S.J. Hwang, Application of a data mining technique to analyze coprescription patterns for antacids in Taiwan, *Clin. Ther.*, (25) 9 (2003), pp. 2453-2463.
- [39] Xiaowei Yan, Chengqi Zhang and Shichao Zhang, Genetic algorithm-based strategy for

identifying association rules without specifying actual minimum support, *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, 2009, pp. 3066-3076.

- [40] Xiaowei Yan, Chengqi Zhang, and Shichao Zhang, ARMGA: identifying interesting association rules with genetic algorithms, *Taylor & Francis*, Vol. 19, 2005, pp. 677-689.
- [41] A.J. Christian, G.P. Martin, Optimization of association rules with genetic algorithm, *Proceedings of XXIX IEEE International Conference of Chilean Computer Science Society (SCCC 2010)*, USA.
- [42] Ashish Ghosh, S. Dehuri and S. Ghosh, *Multiobjective Evolutionary Algorithms for Knowledge Discovery from Databases*, Book series, "Studies in Computational Intelligence", Vol. 98, Springer, 2008.



Mrs. Asha.T obtained her Bachelors and Masters in Engg., from Bangalore University, Karnataka, India. She has her Ph.D from Visveswaraya Technological University under the guidance of Dr. S. Natarajan and Dr. K.N.B. Murthy. She has over 18 years of teaching experience and

currently working as Professor in the Dept. of Computer Science & Engg., B.I.T. Karnataka, India. Her Research interests are in Data Mining, Medical Applications, Pattern Recognition, and Artificial Intelligence.



Dr. S.Natarajan holds Ph. D (Remote Sensing) from JNTU Hyderabad India. His experience spans 33 years in R&D and 10 years in Teaching. He worked in Defence Research and Development Laboratory (DRDL), Hyderabad, India for five years and later worked for Twenty Eight years in National Remote Sensing Agency, Hyderabad, India. He has over 50 publications in peer reviewed Conferences and Journals His areas of interest are Soft Computing, Data Mining and Geographical Information System.



Dr. K. N. B. Murthy holds Bachelors in Engineering from University of Mysore, Masters from IISc, Bangalore and Ph.D. from IIT, Chennai India. He has over 30 years of experience in Teaching, Training, Industry, Administration, and Research. He has authored over 60 papers in national, international journals and conferences, peer reviewer to journal and conference papers of national & international repute and has authored book. He is the member of several academic committees Executive Council, Academic Senate, University Publication Committee, BOE & BOS, Local Inquiry Committee of VTU, Governing Body Member of BITES, Founding Member of Creativity and Innovation Platform of Karnataka. Currently he is the Principal & Director of P.E.S. Institute of Technology, Bangalore India. His research interest includes Parallel Computing, Computer Networks and Artificial Intelligence.



СУМІЩЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕНЕТИЧНИХ ТА ГРАДІЄНТНИХ АЛГОРИТМІВ

Сергій Баловсяк, Ігор Фодчук

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
вул. Коцюбинського, 2, 58012, м. Чернівці, Україна
e-mail: s.balovsyak@chnu.edu.ua, ifodchuk@ukr.net

Резюме: у даній роботі для порівняння цифрових зображень об'єктів використано гібридний метод, який є поєднанням генетичних та градієнтних алгоритмів. При суміщенні зображень враховано їх основні трансформації: зсув і масштабування за шириною та висотою, поворот, зміну інтенсивності й контрасту. Суміщення зображень об'єктів програмно реалізовано в середовищі Delphi. У програмі використано модифіковані генетичні алгоритми, в яких хромосоми є векторами дійсних чисел. Як методи селекції хромосом використано метод рулетки, рангову та турнірну селекцію. Після застосування генетичних алгоритмів зображення об'єктів порівнювалися методом координатного спуску, що підвищує точність суміщення зображень. Досліджено ефективність різних методів селекції хромосом в генетичних алгоритмах, призначених для суміщення зображень. Оптимізовано розмір популяції хромосом та інші параметри генетичних алгоритмів.

Ключові слова: цифрові зображення, суміщення зображень, генетичні алгоритми, хромосома, мутація, градієнтні алгоритми.

OBJECTS IMAGES ALIGNMENT WITH THE USE OF GENETIC AND GRADIENT ALGORITHMS

Sergiy Balovsyak, Igor Fodchuk

Yury Fedkovych Chernivtsi National University,
Kotsyubynsky St., 2, 58032, Chernivtsi, Ukraine
e-mail: s.balovsyak@chnu.edu.ua, ifodchuk@ukr.net

Abstract: The given paper presents a hybrid method which is a combination of genetic and gradient algorithms used for the comparison of digital images of an object. Aligning the images, their basic transformations are taken into account, namely shift and scale in a width and height, angle, changes in intensity and contrast. The software for image alignment of objects has been created using Delphi environment. The program utilizes modified genetic algorithms where the chromosomes are the vectors of real numbers. The methods of roulette, rank and tournament selection are used for chromosome selection. After the use of the genetic algorithm the object images were compared by the method of coordinate descent that provides an accuracy improvement of image alignment. The efficiency of different methods of chromosome selection in the genetic algorithm for images alignment is researched. The size of chromosome population as well as other parameters of genetic algorithm have been optimized.

Keywords: digital images, images alignment, genetic algorithms, chromosome, mutation, gradient algorithms.

ВСТУП

Проблема суміщення цифрових зображень об'єктів полягає у встановленні відповідності між точками двох і більше зображень. Суміщення зображень необхідне при вирішенні таких важливих задач комп'ютерного зору, як вияв-

лення змін в серії зображень, аналіз руху, поєднання інформації від різних сенсорів, стереоскопічний зір і текстурний аналіз [1-3]. Подібні проблеми часто виникають в медичній і технічній діагностиці при обробці серій зображень. Суміщення зображень також використовується

при розпізнаванні образів методами порівняння з еталоном (шаблонними методами).

Незважаючи на постійно виникаючу потребу в комп'ютерному суміщенні зображень, ця проблема вирішена тільки для деяких часткових випадків [4-5]. З однієї сторони, зусилля дослідників направлені на побудову стійких автоматичних систем, які на даний час створені тільки для вузького класу задач. З іншої сторони є спроби побудови загальних проблемно-незалежних систем, які в перспективі могли б вирішувати широке коло завдань, подібно до системи зору людини. Основна проблема полягає в тому, що зображення залежить не тільки від стану об'єкту, але й від умов його отримання: відстані від об'єкту до пристрою реєстрації зображень (сенсора), положення і кута повороту об'єкту, освітлення та ін. Різні умови отримання зображень призводять до таких основних перетворень (трансформацій): зсуву і масштабування за шириною і висотою, повороту, зміни яскравості і контрасту. Тому для оптимального суміщення зображень потрібно визначити такі їх трансформації, які забезпечують мінімальну різницю зображень. Повний перебір всіх можливих трансформацій зображень дає оптимальне рішення, але має експоненційну складність і потребує надто багато часу. Градієнтні методи мають високу швидкодію (поліноміальна складність), але для них існує проблема локальних максимумів. Тому метою даної роботи є розробка таких методів суміщення зображень, які б забезпечували квазіоптимальний результат при поліноміальній складності обчислень, а саме методів з використанням генетичних та градієнтних алгоритмів [6]. Мета роботи також полягає у програмній реалізації і дослідженні розроблених методів суміщення зображень.

1. МЕТОДИ СУМІЩЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Задача порівняння зображень полягає в наступному [3]. Дано зображення зразка S_0 , яке потрібно сумістити із зображенням еталону E . Зображення еталону і зразка відрізняються між собою через різницю самих об'єктів (еталону і зразка), а також за рахунок інструментальних факторів, які залежать від умов отримання зображень (поворот фотокамери або рух самого об'єкту, зміна освітлення та ін.). Зображення зразка та еталону можуть ще відрізнятися за рахунок того, що вони отримані різними сенсорами. При цьому над зображенням зразка програмно виконуються просторові перетворення (зсув за шириною і висотою, масштабування за шириною і висотою, поворот) та перетворення

інтенсивності (зміна яскравості і контрасту). У роботі використано глобальні перетворення зображень, проте у перспективі можливе використання і локальних перетворень.

Завдання полягає у визначенні таких перетворень (трансформацій), які компенсують на зображенні зразка вплив інструментальних факторів і при яких середньоарифметична різниця зображень Δ буде мінімальною:

$$\Delta = \frac{1}{qX \cdot qY} \sum_{x=1}^{qX} \sum_{y=1}^{qY} (|S_{xy} - E_{xy}|), \quad (1)$$

де S_{xy} – нормована яскравість пікселя трансформованого зображення зразка; E_{xy} – нормована яскравість пікселя зображення еталону; qX, qY – розміри зображень.

Різниця зображень, яка є критерієм якості суміщення, може також обчислюватися як середньоквадратична різниця:

$$\Delta_K = \frac{1}{qX \cdot qY} \sum_{x=1}^{qX} \sum_{y=1}^{qY} (S_{xy} - E_{xy})^2. \quad (2)$$

Іншим підходом до суміщення зображень є виділення на них опорних точок, які повинні співпадати на зображеннях еталону і зразка. На основі координат опорних точок можливо визначити перетворення, яке суміщає зображення. У даній роботі не використовуються опорні точки, оскільки існує проблема їх автоматичного вибору [5].

Водночас цільова функція перетворення зображення зразка $F = 1 - \Delta$ має багато локальних екстремумів, тому потрібний оптимізаційний алгоритм для ефективного пошуку глобального екстремуму цієї функції. Одним з алгоритмів оптимізації є градієнтний метод. Проте градієнтний метод забезпечує оптимальний результат тільки при виборі початкової точки, близької до глобального екстремуму. Іншим методом, що використовується при суміщенні зображень, є метод повного перебору значень всіх параметрів трансформацій зображення. Метод повного перебору гарантує оптимальний результат, а його недоліком є експоненційна складність обчислень. Тому для знаходження екстремуму цільової функції перспективним є використання генетичних алгоритмів, які поєднують кращі властивості градієнтних методів та методів повного перебору [6]. В генетичних алгоритмах виконується відсікання неперспективних гілок в дереві перебору, що суттєво підвищує швидкодію, але може привести до вибору

неоптимального перетворення. Оскільки генетичні алгоритми часто дають квазіоптимальний результат, тому для кращого суміщення зображень в роботі використано гібридний метод [7]. Даний метод є поєднанням генетичного алгоритму з одним із градієнтних методів, а саме методом координатного спуску.

2. ГЕНЕТИЧНІ АЛГОРИТМИ

Генетичні алгоритми (*Genetic Algorithms*) є складовою еволюційних методів [6, 8]. Суть генетичних алгоритмів (ГА) полягає у створенні комп'ютерної програми, яка б вирішувала задачі шляхом еволюції. Відповідно у ГА використовують поняття, запозичені з генетики.

Згідно із генетичним алгоритмом суміщення зображень виконується так. На основі початкового зображення зразка створюється популяція хромосом $\{X_1, X_2, \dots, X_N\}$, які описують трансформації зображення зразка. Кращою вважається та хромосома X_i , яка забезпечує меншу різницю Δ зображень зразка і еталону. Для даної задачі вибрано наступний формат хромосоми: $X_i (G_1, G_2, \dots, G_M)$, де кожний з семи генів G_j описує одну з трансформацій. У роботі використано модифіковані ГА, які в якості значень генів використовують дійсні числа.

Послідовність кроків ГА наступна (рис. 1):

1. Ініціалізація або вибір початкової популяції з N хромосом (методом дробовика).
2. Розрахунок функції пристосованості (фітнес-функції) хромосом $F(X_i) = 1 - \Delta$.
3. Перевірка умови закінчення алгоритму (за результатом або за часом).
4. Селекція хромосом на основі функції пристосованості $F(X_i)$.
5. Формування нового покоління хромосом при використанні генетичних операторів схрещування (*crossover*) і мутації (*mutation*) до відібраних батьківських хромосом.
6. Якщо умови закінчення ітерацій не виконуються, то відбувається перехід до кроку 2.
7. Вибір найкращої хромосоми з максимальним значенням $F(X_i)$.

В якості методів селекції хромосом використано метод рулетки, рангову селекцію та турнірний метод. Схрещування хромосом відбувається за однокривою схемою.

Після суміщення зображень генетичними алгоритмами вони додатково порівнювалися методом координатного спуску, що підвищує точність суміщення.

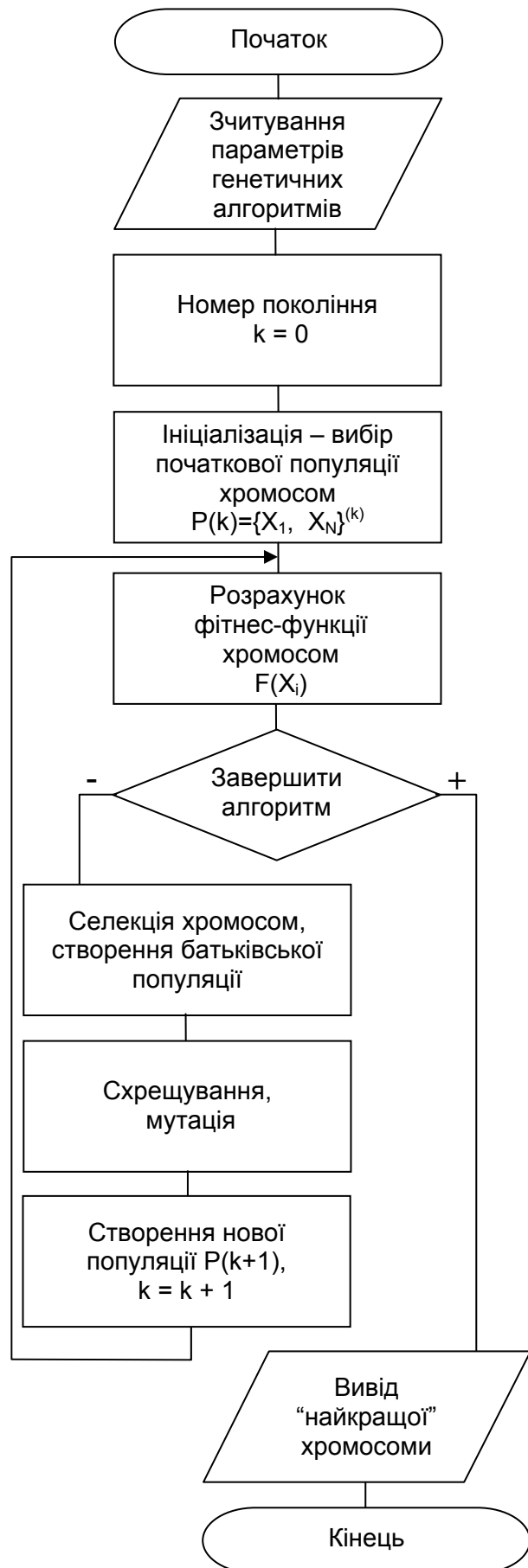


Рис. 1 – Схема генетичного алгоритму

3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СУМІЩЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

На основі аналізу алгоритмів та методів суміщення зображень об'єктів розроблено програму "Image_Fit_Gen" (рис. 2) в середовищі *Borland Delphi*. Згідно з алгоритмом спочатку здійснюється зчитування зображення еталону E (*Image_E*), а потім зчитується початкове зображення зразка S_0 (*Image_S0*). Зображення зчитуються у відтінках сірого і записуються відповідно у масиви E і S_0 . Далі зчитуються параметри, які визначають перетворення зображення зразка (кожному параметру відповідає ген G_j хромосоми):

G_1 : Зсув вздовж осі X (*Shift_X*).

G_2 : Зсув вздовж осі Y (*Shift_Y*).

G_3 : Масштаб вздовж осі X (*Scale_X*).

G_4 : Масштаб вздовж осі Y (*Scale_Y*).

G_5 : Поворот (*Rotate*).

G_6 : Інтенсивність (*Intensity*).

G_7 : Контраст (*Contrast*).

Для всіх параметрів перетворення зображення зразка також зчитуються їх мінімальні та максимальні допустимі значення. При виконанні суміщення зображень можна виконувати згортку (конволюцію) зображень еталону та зразка з метою усунення високочастотних просторових шумів.

Наступні кроки полягають у зчитуванні параметрів генетичних алгоритмів (рис. 3). В результаті суміщення зображень E і S_0 на форму виводиться трансформоване зображення зразка S_1 (*Image_S*) та параметри перетворення, які забезпечують мінімальну різницю Δ_{ES} зображень E та S_1 . Різниця еталону та зразка відображається на зображенні *Image_D* (рис. 4).

Після суміщення зображень за допомогою генетичних алгоритмів виконується їх остаточне суміщення методом координатного спуску (рис. 4). При цьому "грубе" суміщення виконується ГА, а "точне" суміщення – методом координатного спуску (рис. 5).

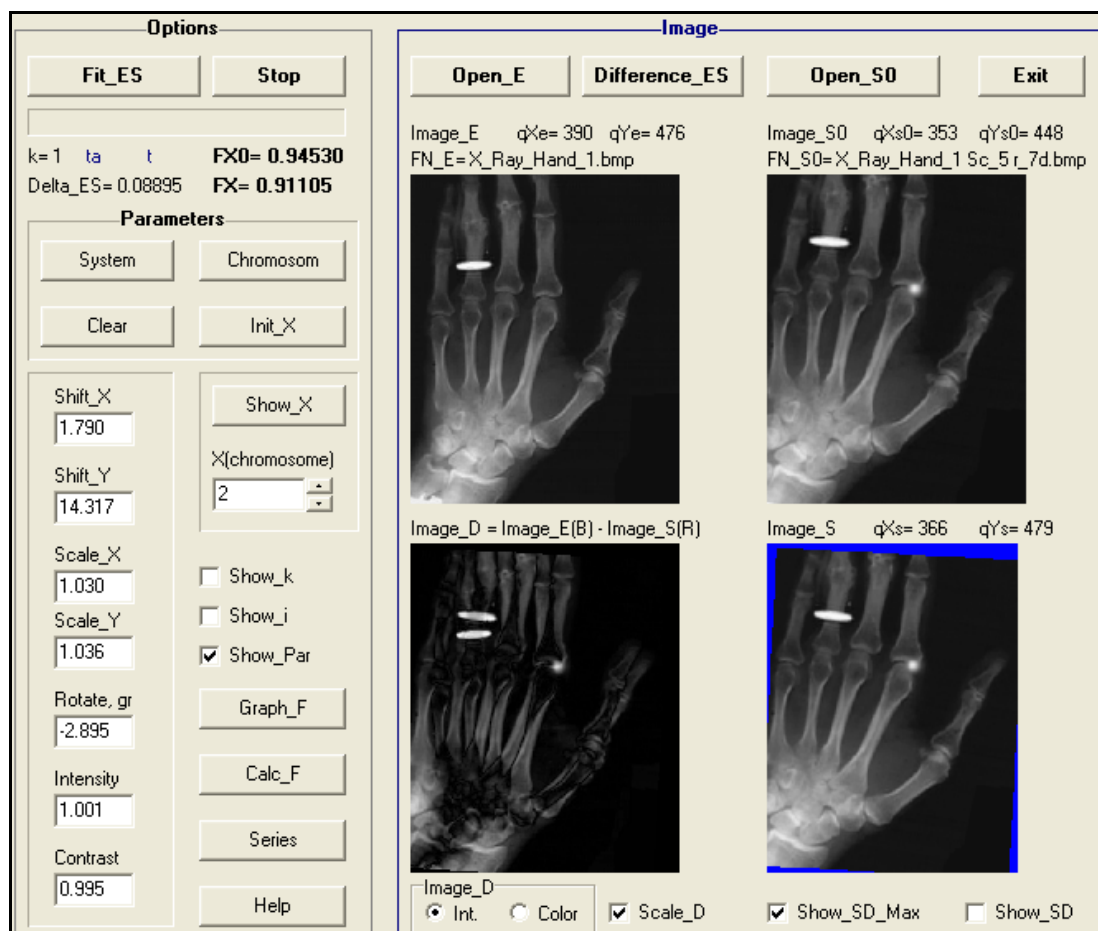


Рис. 2 – Фрагмент головної форми програми суміщення зображень після ініціалізації хромосом; трансформоване зображення зразка *Image_S* відповідає початковому значенню хромосоми X_2 і відрізняється від початкового зображення зразка *Image_S0* за рахунок зсуву, масштабування, повороту, зміни яскравості та контрасту

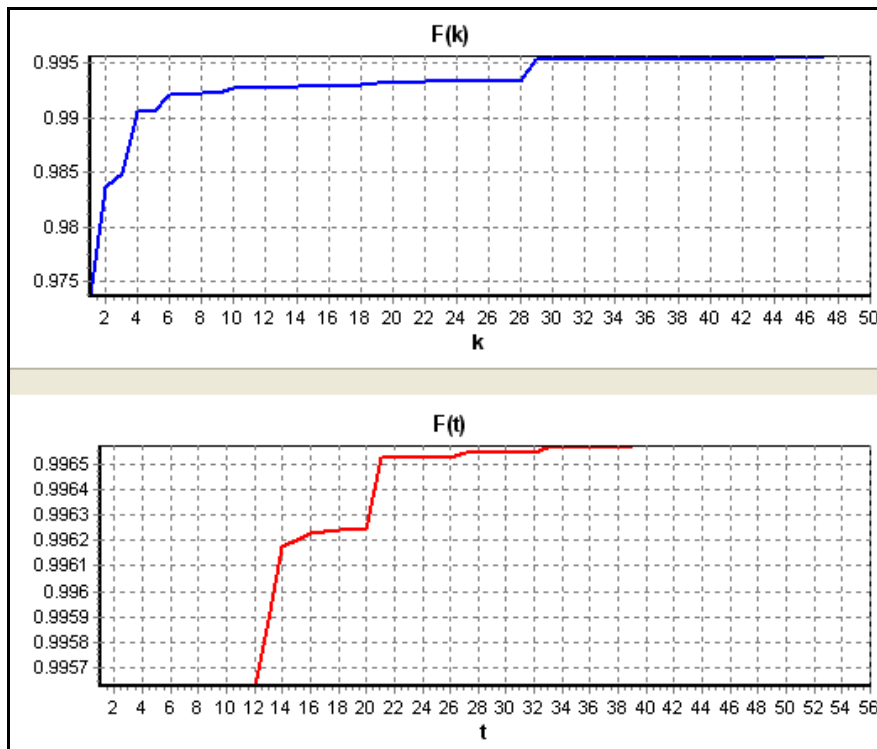


Рис. 5 – Графіки залежності функції пристосованості кращої хромосоми $F(k)$ від номеру покоління k (генетичні алгоритми) та цільової функції $F(t)$ від номеру ітерації t (метод координатного спуску)

До основних параметрів генетичних алгоритмів відносяться: кількість поколінь Q_k , кількість хромосом N , максимальне значення фітнес-функції F_{Max} , ймовірність мутації P_M , амплітуда мутації A_M , мінімальне значення амплітуди мутації A_{M_Min} (рис. 3). Амплітуда мутації A_M визначається як відсоток від допустимого діапазону значень кожного параметру перетворення. Значення фітнес-функції $F(X_i)$ відображаються у вигляді графіка та таблиці. Значення генів хромосом відображаються у табличному вигляді, а також у вигляді зображення *Image_X*. Закінчення алгоритму відбувається, якщо кількість поколінь $k > Q_k$ або максимальне значення функції пристосованості $F > F_{Max}$.

У наведених прикладах (рис. 2 – рис. 5) розмір популяції хромосом $N = 32$, тому ГА не забезпечує повного суміщення зображень. При збільшенні кількості хромосом ($N \approx 96..128$) точність суміщення значно покращується: на різниці зображень *Image_D* будуть показані тільки такі їх деталі, які неможливо сумістити шляхом використаних геометричних перетворень та перетворень яскравості. В нашому випадку на різниці зображень *Image_D* буде видно тільки розмиту пляму в центрі (рис. 4), оскільки вона відсутня на зображенні еталона *Image_E*.

Працездатність програми “*Image_Fit_Gen*” перевірено при суміщенні медичних X-променевих зображень (рис. 2 – рис. 5) [3], зображень символів та зображень, отриманих в результаті дифракції електронів [9]. Шляхом зміни параметрів перетворення отримано задовільну точність суміщення зображень об’єктів при допустимих значеннях часу розрахунків. При цьому зокрема встановлено, що оптимальна кількість хромосом $N \approx 0.25..0.5$ від максимального розміру зображень (в пікселях), але $N > 64$.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗНИХ ВИДІВ СЕЛЕКЦІЇ ТА ПАРАМЕТРІВ МУТАЦІЇ ХРОМОСОМ

В генетичних алгоритмах використовують різні види селекції хромосом, зокрема в розробленій програмі використовується селекція методом рулетки, ранговий і турнірний метод. Для дослідження ефективності цих видів селекції хромосом проведено серію суміщень зображень букв українського алфавіту, які відрізнялися за рахунок зміщення, масштабування та повороту. У результаті повторних суміщень зображень при однакових параметрах (кількість випробувань $V=30$) отримані наступні результати (рис. 6).

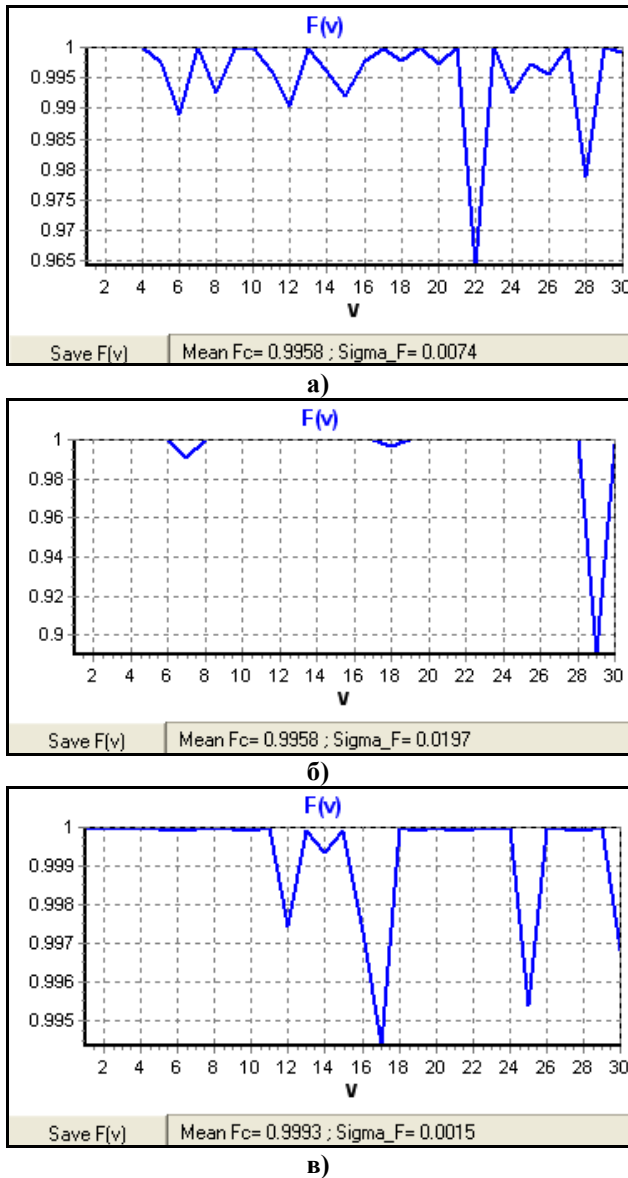


Рис. 6 – Графіки залежності фітнес-функції F від номеру випробування V : а) метод рулетки; б) ранговий метод; в) турнірний метод

Найкращий результат отримано для турнірного методу селекції (середнє значення функції пристосованості $F_c = 0.9993$) (рис. 6в). Для методу рулетки і рангового методу отримано приблизно однакову точність суміщення зображень ($F_c = 0.9958$) (рис. 6а, рис. 6б), проте результати методу рулетки більш стабільні (менше значення середнього квадратичного відхилення Sigma_F для вибірки $F(V)$).

Ефективність генетичного алгоритму залежить від амплітуди та ймовірності мутації генів, тому для дослідження такої залежності проведено серію суміщень зображень букв українського алфавіту за допомогою створеної програми. Селекція хромосом виконувалася турнірним методом, кількість хромосом $N = 64$. В результаті найкраще суміщення зображень отримано при відносно високій ймовірності

мутації $P_M \approx 0.5$. При такій ймовірності мутації проведено суміщення зображень для різних значень амплітуди мутації A_M (табл. 1). Таким чином, найкращі результати отримано при амплітуді мутації $A_M \approx 20\%$.

Таблиця 1. Залежність значень функції пристосованості F від амплітуди мутації A_M

$A_M, \%$	F
1	0.9963
2	0.9978
5	0.9981
10	0.9980
20	0.9993
50	0.9992

5. ВИСНОВКИ

1. Розроблено гібридний метод для суміщення цифрових зображень об'єктів, який є поєднанням генетичних та градієнтних алгоритмів. Для генетичних алгоритмів вибрано структуру хромосом, яка описує основні просторові перетворення зображень та зміни яскравості. Розроблений метод програмно реалізовано в середовищі *Borland Delphi*.

2. При дослідженні різних видів селекції хромосом при суміщенні зображень зроблено висновок про більшу ефективність турнірного методу порівняно з селекцією методом рулетки та ранговим методом. Для досліджуваних зображень найкраще суміщення отримано при амплітуді мутації $\sim 20\%$.

3. Результати досліджень показали, що для суміщення зображень оптимальна кількість хромосом $N \approx 0.25..0.5$ від максимального розміру зображень (в пікселях), але $N > 64$.

4. З метою підвищення точності суміщення зображень застосовано метод координатного спуску після попереднього порівняння зображень за допомогою генетичних алгоритмів.

Перспективним є наступний напрям майбутніх досліджень, який полягає в суміщенні зображень з врахуванням не тільки глобальних, але й локальних геометричних перетворень.

6. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] V.Y. Kutkovetsky, *Pattern Recognition: Training Manual*, Mykolaiv, Publ. MSHU of P. Mohyla, 2003, 196 p. (in Ukrainian)
- [2] D. Forsyth, J. Ponce, *Computer Vision: A Modern Approach*, Moscow, Williams, 2004, 928 p. (in Russian)
- [3] R. Gonzalez, R. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, 2002, 813 p.

- [4] S.G. Hoggar, *Mathematics of Digital Images. Creation, Compression, Restoration, Recognition*, Cambridge University Press, 2006, 853 p.
- [5] Image Superposition: <http://aicommunity.narod.ru.Reports/Inex/ImageSuperposition.htm>. (in Russian)
- [6] D. Rutkovskaya, M. Pylynskyy, L. Rutkovskyy, *Neural Network, Genetic Algorithms and Fuzzy Logic Systems*, Moscow, Hotline – Telecom, 2004, 452 p. (in Russian)
- [7] N.B. Paklyn, M.A. Senylov, V.A. Tenenev, Intellectual models based hybrid genetic algorithm with gradient leaders education, *Artificial Intelligence, Donetsk: Science and Education*, (4) (2004), pp. 159-168. (in Ukrainian)
- [8] S.N. Sivanandam, S.N. Deepa, *Introduction to Genetic Algorithms*, Berlin, Springer-Verlag, 2008, 442 p.
- [9] I.Fodchuk, S.Balovsyak, M.Borcha, Ya.Garabazhiv, V.Tkach, Determination of structural inhomogeneity of synthesized diamonds by back scattering electron diffraction, *Phys. Status Solidi A*, (208) 11 (2011), pp. 2591-2596.



Сергій Васильович Баловсяк, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж Чернівецького національного університету ім. Ю. Федьковича.

Наукові інтереси: штучний інтелект, цифрова обробка зображень, штучні нейронні мережі, генетичні алгоритми.



Ігор Михайлович Фодчук, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри фізики твердого тіла Чернівецького національного університету ім. Ю. Федьковича.

Наукові інтереси: цифрова обробка зображень, комп'ютерне моделювання процесів розсіяння X-променів кристалічними та біологічними об'єктами.



OBJECTS IMAGES ALIGNMENT WITH THE USE OF GENETIC AND GRADIENT ALGORITHMS

Sergiy Balovsyak, Igor Fodchuk

Yury Fedkovych Chernivtsi National University,
 Kotsyubynsky St., 2, 58032, Chernivtsi, Ukraine
 e-mail: s.balovsyak@chnu.edu.ua, ifodchuk@ukr.net

Abstract: *The given paper presents a hybrid method which is a combination of genetic and gradient algorithms used for the comparison of digital images of an object. Aligning the images, their basic transformations are taken into account, namely shift and scale in a width and height, angle, changes in intensity and contrast. The software for image alignment of objects has been created using Delphi environment. The program utilizes modified genetic algorithms where the chromosomes are the vectors of real numbers. The methods of roulette, rank and tournament selection are used for chromosome selection. After the use of the genetic algorithm the object images were compared by the method of coordinate descent that provides an accuracy improvement of image alignment. The efficiency of different methods of chromosome selection in the genetic algorithm for images alignment is researched. The size of chromosome population as well as other parameters of genetic algorithm have been optimized.*

Keywords: *digital images, images alignment, genetic algorithms, chromosome, mutation, gradient algorithms.*

1. INTRODUCTION

The problem of alignment of the digital images of objects consists in determination of accordance between points of two and more patterns [1]. Comparison of images is needed in solving such important problems as computer vision, detection of changes in the series of images, motion analysis, stereoscopic vision and texture analysis. Despite the permanent demand for computer alignment of images, this problem has been solved only for some particular cases. The problem is that image depends not only on the state of object but also on the conditions it is made (instrumental factors), i.e. distance from object to sensor, position and angle of object, illumination etc. Different external conditions of images result in the following basic transformations: shift and scaling the width and height, angle, brightness and contrast variations. Therefore optimum alignment of images demands establishment of such transformations which provide the minimum difference in images.

2. METHODS OF IMAGES ALIGNMENT

The full search of all possible transformations of images gives the optimum solution, but is exponentially complicated and time consuming. Gradient methods are characterized by high performance (polynomial complication), but encounter the problem of local extremums. Therefore the given paper aims at the development

of such image alignment methods which would provide a quasi optimal result at polynomial complication of calculations, namely methods with the use of genetic and gradient algorithms [2, 3].

The problem of image comparison is as follows. The image of the sample S_0 needs to be aligned with the image to the etalon E . The reference image and that of the samples differ due to the difference of objects, and to instrumental factors. Thus the patterns undergo software spatial transformations and transformations of intensity [1]. The task is to obtain such transformations which would compensate the influence of instrumental factors on the image of samples and provide minimal value of the average arithmetic difference of images Δ :

$$\Delta = \frac{1}{qX \cdot qY} \sum_{x=1}^{qX} \sum_{y=1}^{qY} (|S_{xy} - E_{xy}|), \quad (1)$$

where S_{xy} is the normalized brightness of pixel of the transformed image of sample; E_{xy} is the normalized brightness of pixel of the reference image; qX , qY are image sizes.

The objective function of the sample image transformation $F = 1 - \Delta$ has many local extremums, thus optimization algorithm for the effective search of its global extremum is required. For the effective alignment of images a hybrid method, as a combination of genetic algorithm and the gradient method of the coordinate descent is used.

3. GENETIC ALGORITHMS

Nature of genetic algorithms (GA) is to create the software which would solve the problems by means of evolution [2, 3]. According to the genetic algorithm the alignment of images is executed as follows. On the basis of initial image of a sample a population of chromosomes $\{X_1, X_2, \dots, X_N\}$ is created, which describe transformations of the image. The best X_i chromosome is considered the one which ensures smaller difference Δ between images of the sample and the etalon. For this problem the following format of chromosome is chosen: $X_i (G_1, G_2, \dots, G_M)$, where each of seven genes G_j describes one of transformations: shift along the X axis, shift along the Y axis, scale along the X axis, scale along the Y axis, angle, intensity, contrast.

The work deploys the modified GA, which use the real numbers as gene values.

The sequence of the GA steps is following:

1. Initialization or choice of initial population of N chromosomes (by the method of shot-gun).
2. Calculation of fitness function of the chromosomes $F(X_i) = 1 - \Delta$.
3. Verification of the algorithm termination condition (by result or in time).
4. Selection of chromosomes on the basis of the fitness function $F(X_i)$.
5. Forming of a new generation of chromosomes applying genetic operators of crossover and mutation to the selected paternal chromosomes.
6. If the condition of iteration termination is not met, the transition to the step 2 occurs.
7. Choice of the best chromosome with the maximal value $F(X_i)$.

As the methods of selection of chromosomes the ones of roulette, rank and tournament selection are used. After the application of genetic algorithms for image alignment they were additionally compared by the method of the coordinate descent that promotes accuracy of the alignment.

4. SOFTWARE

A hybrid algorithm is implemented in the program, called "Image_Fit_Gen", which is created in the Borland Delphi environment. The basic parameters of genetic algorithms are number of the generations Q_k , amount of the chromosomes N , maximal value of the fitness-function F_{Max} , probability of the mutation P_M , amplitude of the mutation A_M , minimum value of amplitude of the mutation A_{M_Min} . The alignment accuracy is shown to improve considerably at the increase of the number of chromosomes up to $N \approx 100$.

The efficiency of the "Image_Fit_Gen" program is tested at alignment of medical X-ray images, images of characters and resulting patterns of electron diffraction. In particular it has been established, that the optimum number of chromosomes is $N \approx 0.25..0.5$ from the maximal size of images (in pixels), but $N > 64$.

5. ANALYSIS OF IMAGES ALIGNMENT

To investigate the efficiency of the different types of chromosome selection a series of alignment of the images of the Ukrainian alphabet characters is performed. The best result is obtained for the tournament method of selection (mean value of fitness function $F_c = 0.9993$). The method of roulette and rank selection yield approximately identical accuracy of images alignment ($F_c = 0.9958$), however the results of the roulette method turn out to be more stable.

Efficiency of genetic algorithm depends on amplitude and probability of gene mutation. In order to study such dependence the created program performs a number of alignments of the images of Ukrainian alphabet letters. The selection of chromosomes was executed by a tournament method. The number of the chromosomes is $N = 64$. As a result the best alignment of images is achieved at relatively high probability of the mutation $P_M \approx 0.5$. At such probability of mutation the alignment of images is executed for different values of amplitude of the mutation A_M . Thus the best results are obtained at the $A_M \approx 20\%$.

6. CONCLUSIONS

1. A hybrid method, which is a combination of genetic and gradient algorithms, is developed for alignment of digital images of objects. For genetic algorithms the structure of chromosomes is chosen, which describes basic spatial transformations of images and brightness variations. The developed method is implemented in the software created in the Borland Delphi environment.

2. Investigations of different types of chromosome selection at alignment of images revealed greater efficiency of tournament method, comparing to the selection made by the method of roulette and the rank method.

3. The results of research showed that for image alignment optimum amount of the N chromosomes is $N \approx 0.25..0.5$ from the maximal size of images.

4. For the purpose of accuracy increase of image alignment the method of the coordinate descent is applied after previous comparison of images by genetic algorithms.

Promising direction of future research is the alignment of images which accounts for not only global but also local geometrical transformations.

7. REFERENCES

- [1] R. Gonzalez, R. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, 2002, 813 p.
- [2] D. Rutkovskaya, M. Pylynsky, L. Rutkovskyy, *Neural Network, Genetic Algorithms and Fuzzy Logic Systems*, Moscow, Hotline – Telecom, 2004, 452 p. (in Russian)
- [3] S.N. Sivanandam, S.N. Deepa, *Introduction to Genetic Algorithms*, Berlin, Springer-Verlag, 2008, 442 p.



ПЕШЕХОДНЫЙ РОБОТ

Василий Шуть

Брестский государственный технический университет,
ул. Московская 267, 224017 Брест, Беларусь
lucking@mail.ru

Резюме: *Анализируется основной недостаток пешеходных переходов, а именно, прерывание потока автотранспортных средств, движущихся по магистрали. Приводится расчет экономических потерь в конфликте пешеход-автомобиль на регулируемом пешеходном переходе. Предлагается кардинальное решение этой проблемы путем установки магистральных систем "Пешеходный робот", который быстро и безопасно перемещает пешеходов на противоположную сторону магистрали с минимальным прерыванием транспортного потока магистрали.*

Ключевые слова: *автотранспортные средства, светофорное регулирование, пешеходный переход, робот, электромобиль, магистраль.*

PEDESTRIAN ROBOT

Vasilij Shut'

Brest State Technical University,
Moskovskaja str., 267, 224017 Brest, Belarus,
lucking@mail.ru

Abstract: *In the paper there are analyzes the major drawback of pedestrian crossings, namely, interruption of vehicles moving flow on the highway. It is given a calculation of economic losses in the conflict "pedestrian-vehicle" on a controlled pedestrian crossing. It is proposed a radical solution of this problem by setting the bus system "Walking Robot", which quickly and safely move pedestrians to the opposite side of the highway with minimal disruption of a highway traffic flow.*

Keywords: *Motor vehicles, traffic light regulation, crosswalk, robot, electric car, arterial highway.*

ВВЕДЕНИЕ

Всё в больших объемах и в самых разнообразных качествах роботы входят в нашу действительность: быт, производство и т.д. Используются роботы и в управлении дорожным движением автотранспорта [1]. Эти специализированные роботы совершают одну и ту же операцию изо дня в день.

В настоящей работе предлагается еще один тип роботов – пешеходных, работающих на пешеходных переходах и выполняющих набор циклических операций по быстрому и безопасному перемещению пешеходов через широкую с интенсивным движением автотранспортных средств магистраль.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Совсем недавно проблемы координации и управления транспортными потоками на улично-дорожных сетях (УДС) не были столь актуальными. В условиях не слишком высоких загрузок УДС функционировали достаточно эффективно, и их деятельность не приводила к серьезным перебоям и отказам в обслуживании. В последние годы рост уровня автомобилизации и транспортной подвижности населения привел к насыщению городских улиц, что явилось причиной переоценки принципов управления транспортными потоками [2].

Статистические данные интенсивности движения на магистральных улицах США и Европы свидетельствуют о том, что именно на

магистралях сосредотачиваются основные транспортные потоки, другими словами, выполняется принцип “концепции концентрации” [3], что вызывает в последнее время существенный интерес к совершенствованию управления транспортными потоками на городских дорогах и магистральных улицах. Ежегодное увеличение транспортной нагрузки на основные магистрали приводит к устойчивому снижению скорости движения транспортного потока и образованию заторовых ситуаций.

Применение светофорной сигнализации дает возможность обеспечить поочередный пропуск транспортных средств и пешеходов. Как правило, режим светофорного регулирования рассчитывается исходя из объемов конфликтующих транспортных потоков, а затем проверяется на удовлетворение потребностей пешеходного движения.

Время, необходимое для пропуска пешеходов по какому-то определенному направлению, рассчитывается по эмпирической формуле [4], получивший широкое распространение в мировой практике и учитывающей суммарные затраты времени на пропуск пешеходов,

$$t_{\text{пш}} = 5 + B/V_{\text{пш}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{пш}}$ – длительность такта регулирования, обеспечивающего пропуск пешеходов, B – длина перехода до противоположного тротуара или островка безопасности, $V_{\text{пш}}$ – скорость движения пешеходов (обычно принимается равной 1.3 м/с).

Так для регулируемого пешеходного перехода с длиной $L=32$ метра необходимо, согласно формуле (1), не менее чем на 25 секунд прервать движение автотранспортных средств (АТС) по магистрали. Такая вынужденная остановка интенсивного потока, движущегося по магистрали, помимо временных потерь несет повышенный износ резины, моторесурса, потерю горючего, ухудшает экологию города. Необходимо иметь систему технических средств, встроенных в магистраль, которые исключили бы, либо свели к минимуму остановку АТС и связанные с этим потери.

2. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ОТ ПРЕРЫВАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА

Очевидным моментом в конфликте пешехода с АТС является экономический фактор. Такая резкая остановка АТС перед пешеходным переходом ведет к потере топлива, эквивалентного той кинетической энергии, которую имели АТС до остановки.

Пусть пачка АТС состоит из следующих автомобилей: 16 – легковых автомобилей, 3 грузовых, 2 автобуса. После остановки на перекрестке пачка автомобилей должна восстановить свою прежнюю скорость 60 км/ч и, следовательно, прежнюю кинетическую энергию:

$$w = mv^2/2. \quad (2)$$

Для расчета кинетической энергии выберем следующие типовые массы транспортных средств из [5]:

- легковой автомобиль (в среднем по ВАЗ-2108) – 1450 кг;
- грузовой автомобиль (в среднем по ГАЗ-5312) – 7850 кг;
- автобус (в среднем по ЛиАЗ-677М) – 16133 кг.

Следовательно, общая масса пачки составляет $1450 \cdot 16 + 7850 \cdot 3 + 16133 \cdot 2 = 79016$ кг.

Необходимая энергия для разгона до первоначальной скорости перед перекрестком будет $W = 79016 \cdot 16^2 / 2 = 10,91 \text{ МДж}$. Количество топлива, затраченного на разгон, можно определить, поделив количество найденной энергии на удельную теплоту сгорания топлива (бензина). Удельная теплота сгорания бензина равна 47 МДж/кг.

Итак, количество потерянного топлива составляет $10,91/47 = 0,23$ (кг). Так как КПД двигателя внутреннего сгорания равен 25%, то для разгона потребуется в четыре раза больше топлива, а именно, 0,92 кг или 1,31 л.

Из приведенного расчета следует, что на каждом цикле работы светофора в среднем теряется 1,3 литра топлива. Длительность цикла светофорного объекта в среднем равна 1,5 мин., следовательно, за час перерасход топлива составляет 52,4 литра.

Не только на перегоне магистрали, но и на перекрестке пешеходные потоки являются существенной помехой для лево- (право-) стороннего транспорта. В результате недостаточной длительности зеленой фазы светофора и большого числа лево- (право-) стороннего транспорта из этих АТС создаются заторы. Таким образом, доля вклада пешеходов в создании заторовых ситуаций составляет не менее 1/3.

На настоящий момент известно два варианта устранения пешеходов как помехи для АТС. Оба варианта предполагают вынесение пешеходных переходов над или под магистраль. Первый вариант портит архитектурный вид города и мешает троллейбусным линиям. Второй вариант очень дорогостоящий. В настоящей работе

предлагается кардинальное решение проблемы пешеходов в дорожном движении (ДД), позволяющее почти полностью исключить их из ДД.

Для этого предлагается организовать своеобразный лифт через дорогу. Идея лифта давно и широко используется не только в быту, но и на производстве, к примеру, шахтные лифты, и т.д. Везде, где необходимо облегчить физические нагрузки, либо обезопасить определенный процесс, используются лифты.

В данном случае переход через широкую, интенсивно-насыщенную движением автомобилей магистраль является таким случаем. Помимо безопасного перемещения пешеходов через магистраль такой лифт обеспечивает и минимальное время прерывания интенсивного транспортного потока, что является экономически и экологически выгодным в условиях города.

3. МАГИСТРАЛЬНАЯ СИСТЕМА “ПЕШЕХОДНЫЙ РОБОТ”

Пешеходов необходимо переместить из точки N в точку K (Рис. 1), таким образом, чтобы не повлиять на транспортный поток магистрали. В теории информации для передачи большого объема данных их уплотняют, затем капсулируют и передают. Аналогичный механизм приложим и к пешеходам, которых необходимо компактно сгруппировать (капсулировать) и быстро переместить из точки N в точку K. Для этих целей предлагается мобильный пешеходный робот (рис. 2), включенный в контур системы управления транспортными потоками УДС города.

Мобильный пешеходный робот является низкоплатформенным электромобилем без водителя, достаточной вместимости, стоящих и держащихся за поручни пассажиров (пешеходов), которым необходимо пересечь магистраль (рис. 2). Управление роботом выполняется внутренним, встроенным компьютером.

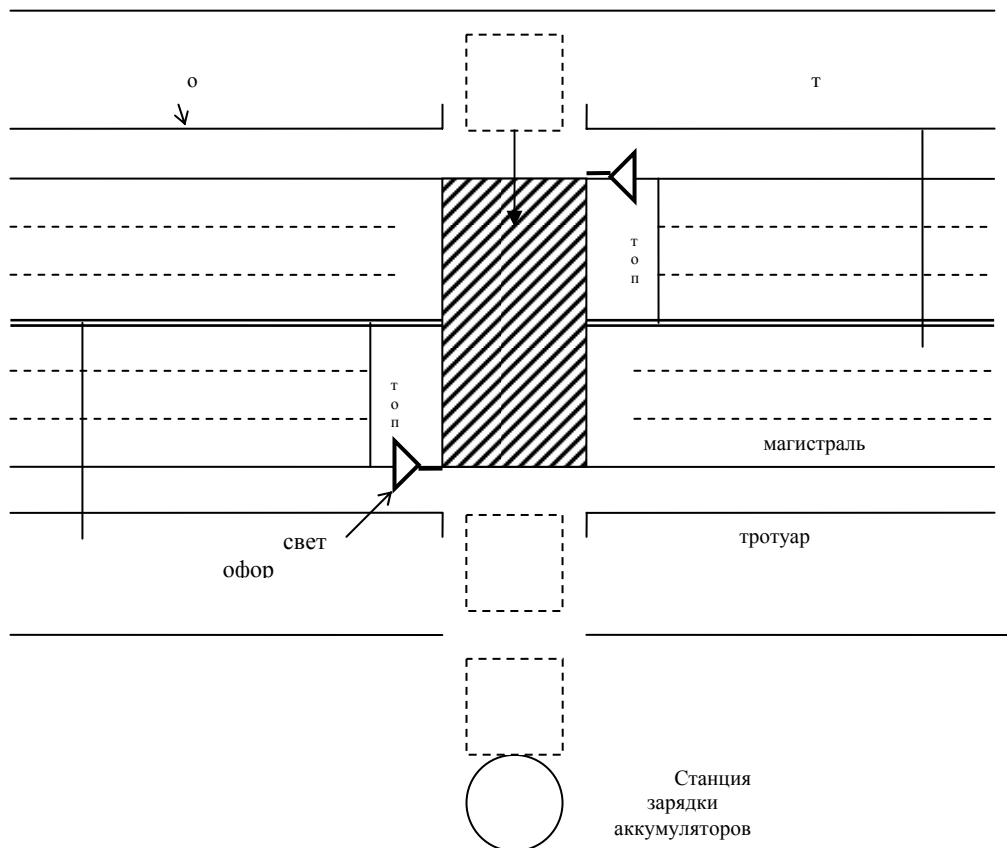


Рис. 1 – Пешеходный переход на перегоне магистрали



Рис. 2 – Электромобиль системы “Пешеходный робот”

Загрузка салона электромобиля производится на позициях 1 и 2 (рис. 1). В это время двери открыты и пешеходы заходят в салон. Для определения количества людей в электромобиле используются видеокамеры с соответствующим программным обеспечением. Таким образом можно судить о количестве пассажиров в салоне электромобиля. Если пассажиров нет, то нет необходимости начала движения, даже если от системы контроля транспортных потоков пришел сигнал, разрешающий начало движения.

Заполнение салона электромобиля выполняется в течении действия зеленой фазы светофора по магистрали. Закрытие дверей электромобиля осуществляется при одновременном истечении времени t_{\min} движения по магистрали (минимальная длительность основного тракта) и отсутствия входящих пешеходов в электромобиль от датчиков дверей. Теперь электромобиль готов к движению. Сигнал на начало движения должен поступить с детекторов транспорта, расположенных в сечении А и В магистрали (рис. 1). Эти сечения А и В отнесены от границ пешеходного перехода А' и В' на расстояние 100 м, которое транспортное средство, двигающееся со скоростью $v=60$ км/час преодолевает за 6 секунд. Это, так называемое, экипажное время $t_{\text{эж}}$. Если над линией А(В) не появляется очередной автомобиль через время равное $t_{\text{эж}}$, то

следовательно, в транспортном потоке произошел разрыв, не меньший по длительности, чем $t_{\text{эж}}$. Таким образом в промежутках магистрали АА' и ВВ' автомобилей нет и электромобиль может начать движение, не оказывая помех АТС магистрали.

При этом для АТС магистрали загорается красный сигнал светофора, а для электромобиля – зеленый. При средней скорости движения электромобиля 40 км/час он преодолет пешеходный переход в 30 метров за 3 секунды. Как только он окажется в положении 2 сразу изменятся сигналы светофора. Транспортировка пешеходов выполнена без остановки АТС магистрали. Аналогичным образом выполняется перемещение пешеходов из положения 2 в положение 1 (рис.1).

Электромобиль курсирует по пешеходному переходу не постоянно. Детекторы транспорта в сечениях А и В измеряют интенсивность транспортного потока и при падении ее ниже заданной величины $M1$ электромобиль переезжает в позицию 3 (рис. 1). В этом случае пешеходный переход используется традиционным способом. При увеличении интенсивности до величины $M2$ ($M2 > M1$) и сохранении этой величины в течении некоторого заданного времени t_3 электромобиль выезжает на позицию 2 для очередной загрузки пешеходов.

В позиции 3 электромобиль находится также

в ночное время. В это время он подключается к станции зарядки аккумуляторов.

В настоящее время проведено компьютерное моделирование системы “Пешеходный робот” в различных режимах интенсивности транспортных потоков и пешеходов, а также выполнен рабочий макет действующей системы в рамках проекта с предприятием Белкоммунмаш (производитель трамвайно-троллейбусной техники в Республике Беларусь).

ВЫВОДЫ

Предложен эффективный способ беспрепятственного проезда АТС через регулируемые пешеходные переходы, а также через светофорные перекрестки, где будет отсутствовать такая помеха, как пешеход. Окупаемость системы составляет 3-6 месяцев в зависимости от места установки.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] V.A. Golovko, L.P. Matyshkov, V.N. Shuts, *Principles of Artificial Intelligence*, Brest: BSTU, 2010, 112 p. (in Russian)
- [2] A.Yu. Mikhailov, I.M. Golovhykh, *Modern Tendencies for Design and Reconstruction of*

Street-Road Networks, Novosibirsk: Nauka, 2004, 266 p. (in Russian)

- [3] <http://www.fhwa.dot.gov> – U.S. Department of Transportation: Federal Highway Administration (FHWA).
- [4] Yu.A. Kremenets, M.P. Pecherskiy, *Technical Tools for Traffic Regulation*, Moscow: Transport, 1981, 256 p. (in Russian)
- [5] V.N. Lukanin, A.P. Buslayev, M.V. Yanshyna, *Motor Transport Streams and the Environment*, Moscow: Infra-M, 2001, 644 p. (in Russian)

Шуть Василий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры “Интеллектуальные информационные технологии” Брестского государственного технического университета. Автор 150 научных работ и одной монографии. Специалист в области технической диагностики ЭВМ, моделирования транспортных потоков, адаптивного управления автотранспортом, прикладной теории графов. Внедрил в серийное производство три прибора технической диагностики, а так же систему адаптивного управления светофорными объектами в г. Бресте (АСУА – Брест 1). Имеет звание “Изобретатель СССР”.



PEDESTRIAN ROBOT

Vasilij Shut'

Brest State Technical University,
Moskovskaja str., 267, 224017 Brest, Belarus,
lucking@mail.ru

Abstract: *In the paper there are analyzes the major drawback of pedestrian crossings, namely, interruption of vehicles moving flow on the highway. It is given a calculation of economic losses in the conflict "pedestrian-vehicle" on a controlled pedestrian crossing. It is proposed a radical solution of this problem by setting the bus system "Walking Robot", which quickly and safely move pedestrians to the opposite side of the highway with minimal disruption of a highway traffic flow.*

Keywords: *Motor vehicles, traffic light regulation, crosswalk, robot, electric car, arterial highway.*

1. INTRODUCTION

All in large quantities and in a variety of qualities of the robots are our reality: art, life, production, etc. Robots are ideal for a monotone, monotonous work. The speed of their work earlier, they are less expensive workers – the people and not subject to fatigue. In this paper we propose another type of robots – walking, working at pedestrian crossings and perform a set of cyclic operations.

Statistical data traffic on the main streets of the United States and Europe indicate that it is the major focus on highways traffic flows, in other words, the principle holds: the concept of concentration, which is the last time a significant interest in improving traffic management in urban roads and main streets. The annual increase in traffic load on the main highway leading to the steady drop in the rate of traffic flow and the formation of traffic jam situations.

2. PROBLEM DEFINITION

The use of traffic light signal gives an opportunity to provide alternate passage of vehicles and pedestrians. As a rule, the regime of traffic light control is calculated based on the volume of conflicting traffic flows, and then checked on the needs of pedestrians.

The obvious point in the conflict with pedestrian ATS is an economic factor. So abruptly stopping ATS before the crossing leads to a loss of fuel, the equivalent of the kinetic energy, which had a PBX to a stop.

Not only on the stretch line, but also at the crossroads of pedestrian flows are significant hindrances to the left (right) side of the transport. As a result of insufficient duration of green phase of traffic lights and a large number of left (right) side of the transport of these exchanges are created congestion. Thus, the percentage contribution of pedestrians in the creation of traffic jam situations is no less than 1/3.

At present we know two options for addressing pedestrians as obstacles for ATS. Both options imply a pedestrian crossing over or under the highway. The first version of the spoils architectural views of the city and prevents trolley bus lines. The second option is very expensive, we propose a radical solution to the problem of pedestrian traffic (DD), which allows almost completely excluded from the DD.

3. HIGHWAY SYSTEM "PEDESTRIAN ROBOT"

Pedestrians to move from point N to point K, so as to not affect traffic flow on highways. In information theory, to transfer large amounts of data they condense, and then encapsulated and transmitted. A similar mechanism to attach and to pedestrians who need a compact group (encapsulate) and quickly move from point N to point K. Proposed for this purpose mobile walking robot, included in the outline of traffic control UDS city.

Mobile robot is walking low-platform electric vehicles without a driver, of sufficient capacity, standing and holding on to rail passengers.

Controlling the robot holds an internal, built-in computer.

4. CONCLUSION

An effective way to travel unhindered through the ATC controlled pedestrian crossings, as well as through the traffic lights, where there will be no such interference, as a pedestrian. Payback system is 3-6 months depending on location.

Currently, a computer simulation system "Pedestrian Robot" in various modes of the intensity of traffic and pedestrians, and made a working model of the existing system. The author directs a joint development project with such a reputable company like Belkommunmash (producer of Tram-trolleybus vehicles in the Republic of Belarus).

5. REFERENCES

- [1] V.A. Golovko, L.P. Matyshkov, V.N. Shuts, *Principles of Artificial Intelligence*, Brest: BSTU, 2010, 112 p. (in Russian)
- [2] A.Yu. Mikhailov, I.M. Golovhykh, *Modern Tendencies for Design and Reconstruction of Street-Road Networks*, Novosibisk: Nauka, 2004, 266 p. (in Russian)
- [3] <http://www.fhwa.dot.gov> – U.S. Department of Transportation: Federal Highway Administration (FHWA).
- [4] Yu.A. Kremenets, M.P. Pecherskiy, *Technical Tools for Traffic Regulation*, Moscow: Transport, 1981, 256 p. (in Russian)
- [5] V.N. Lukanin, A.P. Buslayev, M.V. Yanshyna, *Motor Transport Streams and the Environment*, Moscow: Infra-M, 2001, 644 p. (in Russian)



АЛГОРИТМІЧНА ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОННОГО ПІДРУЧНИКА “ОСНОВИ ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРОННИХ КІЛ”

Юрій Бобало, Богдан Мандзій, Петро Стахів, Наталя Шаховська

Національний університет “Львівська політехніка”
вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна
e-mail: natalya233@gmail.com

Резюме: У роботі розглянуто досвід розроблення електронного підручника “Основи теорії електронних кіл”. Подано концепцію, принципи розроблення електронного підручника. Докладно описано процедуру перевірки та оцінювання отриманих знань. Побудовано алгоритм автоматичної перевірки на тестові завдання з формульним записом.

Ключові слова: електронний підручник, дистанційне навчання, віртуальне навчальне середовище.

ALGORITHMIC AND SOFTWARE IMPLEMENTATION OF E-TEXTBOOK “FUNDAMENTALS OF THEORY OF ELECTRONIC CIRCUITS”

Yuriy Bobalo, Bogdan Mandziy, Petro Stakhiv, Natalya Shakhovska

National University “Lviv Polytechnic”
12, Stepana Bandery Street, Lviv, 79013, Ukraine
e-mail: natalya233@gmail.com

Abstract: The paper presents the experience of developing electronic textbook “Fundamentals of the theory of electronic circuits”. The concept and development principles of electronic textbook are discussed. The procedure of knowledge control and evaluation is described in details.. The algorithm of automatic control the test tasks with possibilities of entering mathematical expressions is developed.

Keywords: electronic textbook, distance learning, virtual learning environment.

ВСТУП

Електронний підручник – комп’ютерний, педагогічний програмний засіб, призначений, в першу чергу, для подання нової інформації, який доповнює друковані видання, слугує для індивідуального й індивідуалізованого навчання і дозволяє в обмеженій формі тестувати отримані знання та вміння учня.

Розглянемо деякі елементи електронного підручника:

1. Електронний підручник повинен містити тільки мінімум текстової інформації у зв’язку з тим, що тривале читання тексту з екрану призводить до значного стомлення і, як наслідок, до зниження сприйняття та засвоєння знань. Електронний варіант підручника дозволяє

виділити окремі слова чи фрази кольором і фоном, що покращує наочність, дозволяє акцентувати увагу на головному.

2. Такі підручники повинні містити велику кількість ілюстративного матеріалу. Для обмеження обсягу підручника (розміру файлів) і, відповідно, можливості його використання на широкому спектрі комп’ютерів, доцільно використання упакованих форматів графічних файлів (GIF, JPEG та ін).

3. Використання відеофрагментів дає змогу передати в динаміці процеси і явища. Незважаючи на великі розміри файлів, застосовувати їх доцільно, оскільки сприйняття і зацікавленість студентів підвищуються і, як наслідок, поліпшується якість знань.

4. У традиційному навчанні переважають вербальні засоби при подання нового матеріалу. У зв'язку з цим застосування аудіо фрагментів в електронному підручнику дозволяє не тільки наблизити його до звичних способів подачі інформації, а й покращити сприйняття нового матеріалу, при цьому активізує не тільки зорові, але і слухові центри головного мозку.

5. Електронний підручник повинен містити гіперпосилання за елементами підручника.

6. Можливо, наприклад, за допомогою технології OLE, запуск інших комп'ютерних програм для показу прикладів, тестування та інших цілей.

Завдання, запропоновані студентам для самонавчання, можуть бути різного типу. Кожний тип завдання припускає певну діяльність студента при його виконанні та формуванні відповіді. Можна виділити наступні типи завдань:

- меню (вибір однієї вірної відповіді з декількох);
- обчислення (введення цілого, дійсного числа або декількох чисел);
- слово (введення одного або декількох слів);
- фраза (введення речення);
- формула (введення формули);
- відповідність (вибір вірної відповіді з меню для кожного із заданих речень, рисунків або фото);
- послідовність (введення послідовності дій або вибір її з меню).

Іншим методичним аспектом контролю є формування набору контрольних завдань. Залежно від вигляду і мети контролю можна виділити такі підходи до комплектування груп завдань [1]:

- послідовність питань і завдань різної складності і значущості, що оформлена у вигляді розгалуженого або багаторівневого алгоритму і може бути використана для поточного дослідження і самоконтролю рівня знань;
- спеціальний набір завдань різної складності, сформований для перевірки певного або комплексного рівня підготовки (знань, умінь, навичок), який пред'являється в заданій послідовності: довільно, в порядку самостійного вибору студента або в порядку зростання їх рівня складності;
- група завдань, що формуються за допомогою випадкової вибірки з банку

завдань з урахуванням динаміки і наповнення дистанційного курсу дисципліни та складності завдань.

Перераховані підходи можуть бути доповнені, а також скомбіновані один з одним.

2. АНАЛІЗ ЗАСОБІВ РОЗРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПІДРУЧНИКІВ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Засоби розроблення електронних навчальних комплексів з'явилися в середині 70-х рр. ХХ ст. Були розраховані на роботу в багатокористувацькому режимі на універсальних і міні-ЕОМ. Використання в той час алфавітно-цифрових дисплеїв істотно обмежувало можливості графічної підтримки навчальних дисциплін. Навчання можливо було лише в спеціальних дисплейних класах навчального закладу. Однак у цей же час з'являється поняття гіпертексту, що дало змогу знизити затрати часу на розроблення розгалужених програм навчання. Різке зростання інструментальних засобів розроблення електронних навчальних комплексів спостерігається з кінця 80-х, початку 90-х рр. у зв'язку з широким розповсюдженням персональних комп'ютерів.

Однією з перших систем для електронного навчання на теренах СНД була адаптивна діалогова інформаційна система АДОНИС. Призначена для організації автоматизованого навчання і контролю знань з різних дисциплін, а також інформаційного забезпечення навчального процесу. В системі АДОНИС не використовувалися засоби гіпертексту, але структурні елементи її були організовані вдало. АДОНИС мала вбудований графічний редактор для розроблення ілюстративного матеріалу. Ця система не була адаптована до ОС WINDOWS, і в даний час не використовується. Однак, ідеї АДОНИС, знайшли своє втілення в інших системах, наприклад "TrainingWare", "eLearning Server 3000 v2.0", "eLearning Office 3000" та "HyperMethod 3.5".

TrainingWare призначена для організації централізованої системи підготовки та контролю знань персоналу, автоматизації вхідного тестування, регулярних тренінгів та атестацій, створення єдиної системи обліку компетенції персоналу, сертифікації клієнтів і партнерів компанії. Орієнтована на великі та середні компанії, чисельністю від 300 осіб, що мають розгалужену структуру і відчувають необхідність у безперервному управлінні знаннями співробітників.

eLearning Server 3000 v2.0 дає змогу створювати власні Навчальні центри в Інтернет / Інтранет та організувати повний цикл дистанційного навчання – управління розкладом, сертифікацією знань учнів, ведення електронних відомостей, електронної залікової книжки, електронної бібліотеки. eLearning Office 3000 призначений, насамперед, для викладачів вищих і середніх навчальних закладів, а також для ІТ-фахівців, що займаються проблемами дистанційного навчання.

HyperMethod 3.5 – конструктор мультимедіа застосувань, який призначений для швидкого та ефективного створення інформаційних систем, презентаційних дисків, електронних підручників, довідників, енциклопедій і будь-яких інших мультимедіа додатків. Проте він не дуже вдалий для навчання технічним спеціальностям, де необхідно проводити тестування знань з врахуванням символічних записів.

Moodle – безкоштовна, відкрита система дистанційного навчання. Система реалізує філософію “педагогіки соціального конструктивізму” та орієнтована насамперед на організацію взаємодії між викладачем та учнями, хоча підходить і для організації традиційних дистанційних курсів, а також підтримки очного навчання. Moodle перекладена на десятки мов, в числі є і переклад на українську. Національний університет “Львівська політехніка” широко використовує цю систему для розміщення навчальних матеріалів. Також потрібно зазначити, що цей проект є відкритим [5].

ATutor є системою керування навчальним матеріалом (Learning Content Management System, LCMS). Програма є простою у встановленні, налаштуванні та підтримці для системних адміністраторів; викладачі можуть досить легко створювати та переносити навчальні матеріали та запускати свої онлайн-курси. А оскільки система є модульною, то вона відкрита для модернізації і розширення функціональних можливостей. Використовується в Іспанії, Болгарії, Сербії [6].

Claroline є спільною електронною навчальною платформою (Learning Management System) випущеною під ліцензією Open Source. Платформа використовується більш ніж в 80 країнах та перекладена більше ніж на 30 мов [7].

eCollege – програмне забезпечення як послуга (SaaS), постачальник електронного навчання програмного забезпечення і послуг для середніх та вищих навчальних закладів [8].

Метою роботи є проектування архітектури та

розроблення електронного підручника з дисципліни “Основи теорії кіл”.

3. АЛГОРИТМІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ РІВНЯ ЗАСВОЄННЯ ЗНАТЬ НА ПРИКЛАДІ НАВЧАЛЬНІ ДИСЦИПЛІНИ “ОСНОВИ ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРОННИХ КІЛ”

Концепція підручника “Основи теорії електронних кіл”, яку розробили спільно викладачі Львівської та Київської політехнік, за редакцією професора Ю. Я. Бобала базується на врахуванні таких факторів: комплексності навчального процесу, яка полягає в інтегрованості різних форм занять – лекцій, практичних, лабораторних, самостійних; відповідності обсягу завдань кількості виділених кредитів; важливості самоконтролю знань і ефективності підготовки до виконання лабораторних робіт.

Особливістю програмного засобу, що використовується для самонавчання в дисципліні “Основи теорії електронних кіл”, є необхідність відображення грецьких символів у стандартному вікні Windows, формування відповіді у вигляді формул, таблиць, наявність завдань, що передбачають кілька варіантів відповіді тощо.

Процес самонавчання передбачає наявність двох складових:

1. Навчального матеріалу M , який містить теоретичні викладки. Організований у вигляді дерева, у якому глибина відповідає рівню вкладеності тем M_i та підтем M_{ij} . Характеризується кількістю тем (підтем) $|M_{ij}|$ та часом, відведеним викладачем на самонавчання t_i , кількістю запитань певних рівнів складності Q_{ik} та відведеними балами R_{ik} .

2. Тестових завдань T , які містять питання Q_{t_i} , варіанти відповідей V_{ij} , рівні складності Sk_i та типи завдання Tq_i :

$$E = \langle M, T \rangle, M = \langle M_i, \{M_{ij}\}, t_i, \{Q_{ik}, R_{ik}\} \rangle, \\ T = \langle Q_{t_i}, \{V_{ij}\}, Sk_i, Tq_i \rangle$$

До кожної теми викладач вказує кількість питань певної складності та відводить час на виконання завдань. Студенту виводиться випадковим чином сформований набір тестових запитань. Результат тестування є визначним для вибору наступного елементу навчального матеріалу. Визначення наступної теми для

вивчення здійснюється з допомогою I-АБО графу. Формування послідовності тем для вивчення здійснюється на основі обходу I-АБО графу в ширину. АБО-вершина відвідується, коли студент набрав 0-39 балів – обов'язково, а коли 40-70 – пропонується пройти 2 варіант тесту для уточнення його рівня знань.

Алгоритм формування та структурування навчального матеріалу складається з таких кроків:

1. Студент обирає розділ для вивчення серед вершин з найбільшим пріоритетом. Складові розділу вивчаються у залежності до дуг, які виходять з нього (I – необхідно вивчити у послідовності спадання оцінок, АБО – один з найбільшою оцінкою або усі складові за бажанням).
2. Після вивчення елементу M_{ij} , що відповідає одній з вершин, відбувається тестування. Отримана оцінка визначатиме послідовність подальшого вибору тем:
 - незадовільна – вивчення наступного за пріоритетом параграфа розділу;
 - задовільна – пріоритет розділу залишається незмінним. Студентові пропонується вивчення параграфів, що залишилися нерозглянутими, або перехід до вивчення наступних розділів;
 - добра – пріоритет розділу змінюється за формулою, використовуючи операцію багатозначного АБО та перехід до вивчення наступних розділів з максимальним значення між найнижчою оцінкою серед вершин та різницею поточної оцінки й найнижчої. Перехід до наступних розділів;
 - відмінна – присвоєння вивченому розділу найнижчої оцінки та перехід до вивчення наступних розділів
3. Визначення загального часу вивчення t .
4. Зупинка виконання процедури обходу графу здійснюється за наступних умов:
 - Навчання перерване студентом. У такому випадку його оцінка визначається на основі уже отриманих оцінок:

$$Rate = \frac{\sum Q_{ik} R_i}{\sum Q_{ik} R_{ik}}$$

де R_i – оцінка, отримана за результатами тестування по розділу;

– Вичерпано загальний час навчання.

Розроблено такі алгоритмічні блоки:

1. Розбір арифметичного виразу та його автоматичний розрахунок – для реалізації питань-задач на основі згенерованих параметрів;
2. Формування алфавіту спеціальних символів, їх опрацювання, перемальовування вікна для відображення символів та введення формульних виразів з клавіатури;
3. Визначення типу відповіді, запитання та відображення їх у вигляді тексту, формули, малюнку, таблиці чи змішано;
4. Перевірка правильності формування тестового завдання – аналіз на наявність помилок з боку викладача – вказання неправильної кількості варіантів відповідей, неіснуючого типу запитання тощо;
5. Формування випадковим чином банку питань для студента з врахуванням заданої викладачем кількості питань за рівнями складності;
6. Перевірка правильності відповіді студента;
7. Визначення сумарної оцінки студента;
8. Налаштування таймеру тестування;
9. Визначення суміжних тем, які необхідно вивчити студентом для досягнення кращого результату.

Опишемо розбір арифметичного виразу та його автоматичний розрахунок.

Лексичний аналіз – процес аналітичного розбору вхідної послідовності символів з метою отримання на виході послідовності лексем – найменших синтаксичних одиниць, які мають значення [2 – 3]. Синтаксичний аналіз (парсинг) – процес зіставлення лінійної послідовності лексем (слів, токенів) мови з її формальної граматику. Результатом його є деяка структура даних – наприклад синтаксичне дерево розбору. Як правило, застосовується спільно з лексичним аналізом. Синтаксичний аналізатор (парсер) – програма або частина програми, що виконує синтаксичний аналіз.

Розрізняють два типи алгоритмів синтаксичного аналізу:

- спадний синтаксичний аналіз – завдання побудови дерева розбору для вхідної стрічки, починаючи з кореня і створюючи вузли дерева розбору в прямому порядку обходу або, що те ж саме, спадний синтаксичний аналіз можна розглядати як пошук лівого породження вхідної стрічки.
- висхідний синтаксичний аналіз буде деревом розбору для вхідної стрічки,

починаючи з листів (знизу) і йдучи у напрямку до кореня (вгору).

Програма спадного синтаксичного аналізу, або аналізу методом рекурсивного спуску (recursive-descent parsing) складається з набору процедур, по одній для кожного нетермінала. Робота програми починається з виклику процедури для початкового символу і успішно закінчується в разі сканування всього вхідного рядка.

Загальний вигляд висхідного синтаксичного аналізу, відомий як синтаксичний аналіз типу “перенесення/згортання” (shift-reduce) – процес “згортання” стрічки до стартового символу граматики. На кожному кроці згортання (Reduction) визначений підрядок, що відповідає тілу продукції, замінюється нетерміналом із заголовка цієї продукції. Ключові рішення, що приймаються в процесі висхідного синтаксичного аналізу, – коли виконувати згортку і яку продукцію застосовувати.

Для опису вхідних даних для тестового завдання, відповідь на яке формується формулою, використовуємо нотацію Бекуса-Наура:

```

<змінна> ::= 'v' <цифра>
<число> ::= <цифра> {<цифра>}
<ціле число> ::= [<знак>] <число>
<знак> ::= + | -
<кома> ::= ,
<розділювач> ::= ;
<цифра> ::= 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9
<дробове число> ::= <число> [ <кома> <ціле число> ]
<операція> ::= <знак> | * | /
<функція> ::= sin | cos | exp | ln | sqrt | sqr | tan | atan
<дужка вх> ::= (
<дужка вих> ::= )
<лексема> ::= <функція> <дужка вх>
<дробове число> <дужка вих> |
<функція> <дужка вх> <змінна> <дужка вих> |
[ <дужка вх> ] <дробове число> <операція>
<дробове число> [ <дужка вих> ] |
[ <дужка вх> ] <змінна> <операція> <змінна>
[ <дужка вих> ] |
[ <дужка вх> ] <змінна> <операція> <дробове
число> [ <дужка вих> ] |
[ <дужка вх> ] <дробове число> <операція>
<змінна> [ <дужка вих> ]
<складена лексема> ::= [ <дужка вх> ] <лексема>
<операція> <лексема> [ <дужка вих> ] | [ <дужка вх> ]
<функція> <дужка вх> <лексема> <дужка вих>
[ <дужка вих> ]
<вираз> ::= { <складена лексема> }
<параметр> ::= <дробове число> ‘-‘ <дробове
число> <розділювач> { <дробове число> ‘-‘

```

<дробове число> <розділювач> }

Для прикладу, вираз $\frac{\sin(x-y)z}{w}$, де

параметри змінюються в межах

X=20..70, Y=0..20, Z=10..90, W=1..100,

описується як :

$\sin(v3-v4)*v1/v2$

10-90;1-100;20-70;0-20;

Автоматичне визначення значення виразу здійснюється за таким алгоритмом:

1. Зчитування ВИРАЗу і ПАРАМЕТРу.
2. Формування динамічного масиву за кількістю елементів ПАРАМЕТРу.
3. Заповнення елементів утвореного масиву випадковими значеннями, межі генерації яких вказані для кожного елемента.
4. Методом рекурсивного спуску заміняємо по чергово ЗМІННу у ВИРАЗі на значення з утвореного масиву.
5. Побудова синтаксичного дерева розбору

Для відображення грецьких символів у стандартному Windows-вікні використано регулярні вирази і перевантаження основного класу TLabel. Регулярний вираз- це рядок, що описує множину рядків відповідно до набору спеціальних синтаксичних правил. Регулярні вирази використовуються в багатьох текстових редакторах та допоміжних інструментах для пошуку та заміни тексту на основі заданих шаблонів. Багато мов програмування підтримують регулярні вирази для роботи з рядками. В тестовій системі використано таблицю квантифікаторів (табл. 1). Саме за допомогою квантифікаторів визначаємо правильну кількість повторень.

Таблиця 1. Квантифікатори

Позна-чення	Число повторів
*	Нуль або більше
+	Одну або більше
?	Нуль або один раз
{n}	Точно n відповідностей
{n,}	n або більше відповідностей
{n,m}	Мінімум n та максимум m відповідностей

Далі визначено принцип представлення спеціальних символів у стандартному Windows-вікні:

1) Спеціальні символи та грецькі букви позначати таким чином (позначення починається з косої риски):

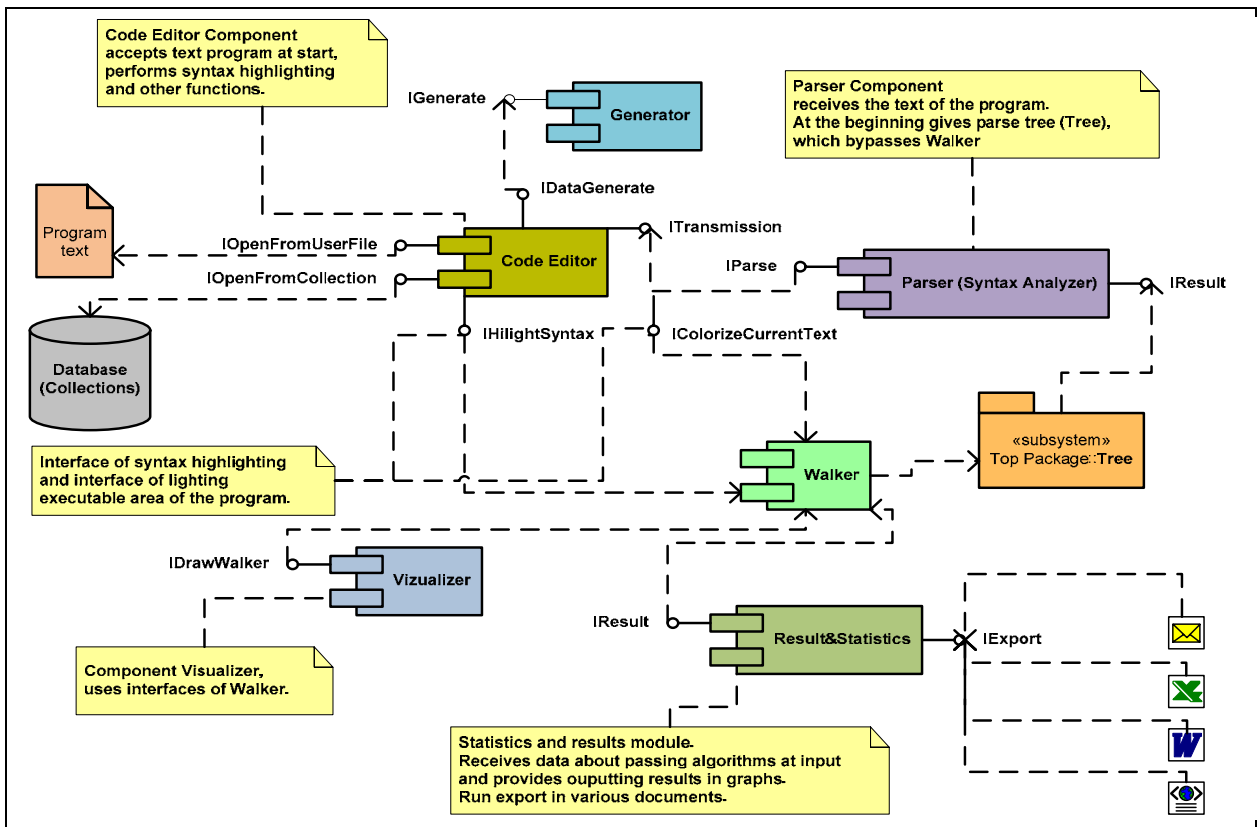


Рис. 2 – Діаграма компонентів системи

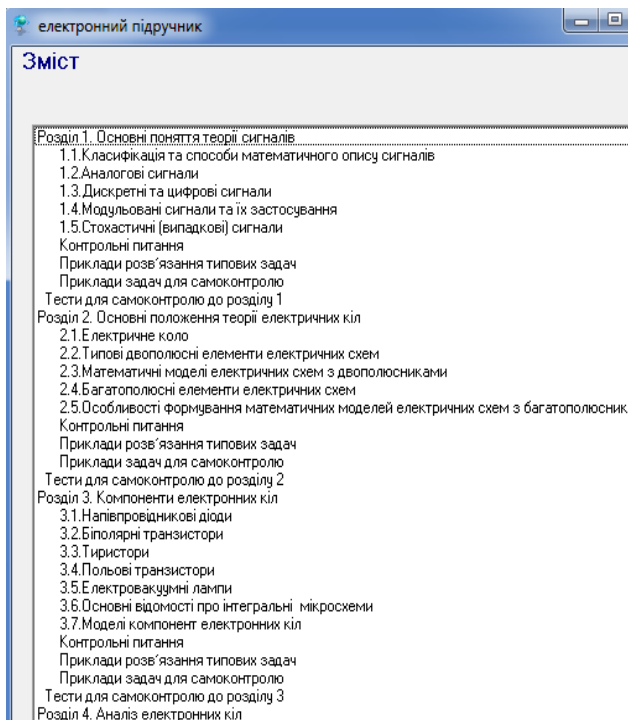


Рис. 3 – Головне вікно програми

У ньому вміщено перелік тем дисципліни основ теорії електричних кіл, контрольні питання до розділів, приклади задач для самоконтролю, а також тести та задачі для самонавчання. Вибір необхідної теми здійснюється шляхом подвійного клацання на назві. Короткий текст підтем,

прикладі розв'язування задач, перелік контрольних питань відображається у браузері (рис. 4).

1. Основні поняття теорії сигналів

1.1 Класифікація та способи математичного опису сигналів

Детерміновані та випадкові сигнали - дві основні групи сигналів.

Первинне повідомлення можна перетворити в один із чотирьох можливих типів сигналів: аналоговий, дискретизований, квантований, цифровий.

Аналогова та цифрова електроніка - два напрями інформаційної електроніки.

Способи математичного опису реальних сигналів:

Рис. 4 – Вікно для відображення тексту теми

Для початку тестування подвійним клацанням обирається необхідний тест за розділами. Відкривається вікно для тестування (рис. 5).

У верхній частині вікна вказано номер питання, рівень його складності та кількість балів, яку можна отримати за правильну відповідь, у нижній розміщений бігунок часу.

Коли бігунок досягає правого краю форми, тест автоматично припиняється. Кнопки ВПЕРЕД, НАЗАД дозволяють переходити на наступне питання або повертатись до попереднього. Також користувач може бачити кількість балів, які він отримав за відповідь.

Обрання варіанту відповіді здійснюється шляхом позначення прапорця.

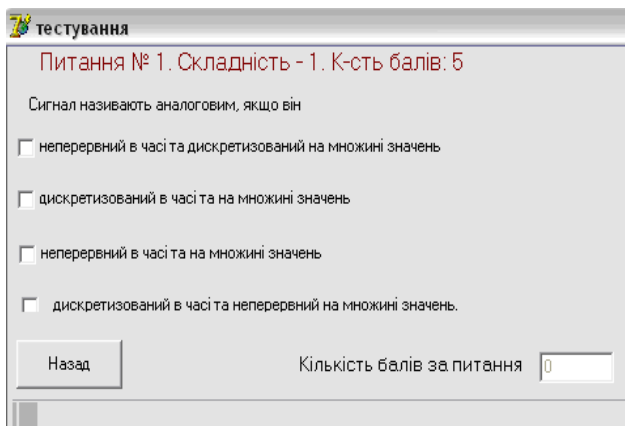


Рис. 5 – Вікно для тестування

Деякі питання вимагають введення відповіді з клавіатури (рис. 6). При розділювач цілої та дробової частини вводиться як КОМА, точність вказується у тексті запитання.

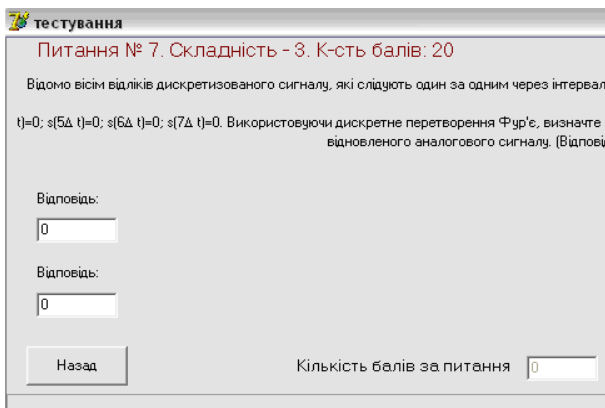


Рис. 6 – Питання, яке вимагає введення відповіді з клавіатури

Також передбачено заповнення масивів певної розмірності (рис. 7). Введення у комірки масиву здійснюється шляхом клацання мишкою на відповідній комірці та введенням необхідного значення з клавіатури.

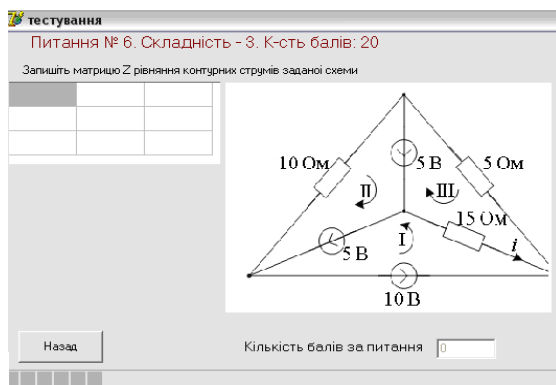


Рис. 7 – Питання, відповідь на яке подається у вигляді матриці

Питання-задачі містять схему електричного кола, його параметри, а також їх значення. Значення параметрів генеруються автоматично і здійснюється формульне розв'язання задачі. Після цього студент вносить свій варіант відповіді. Послідовність списку параметрів відповідає послідовності списку значень (рис. 8).

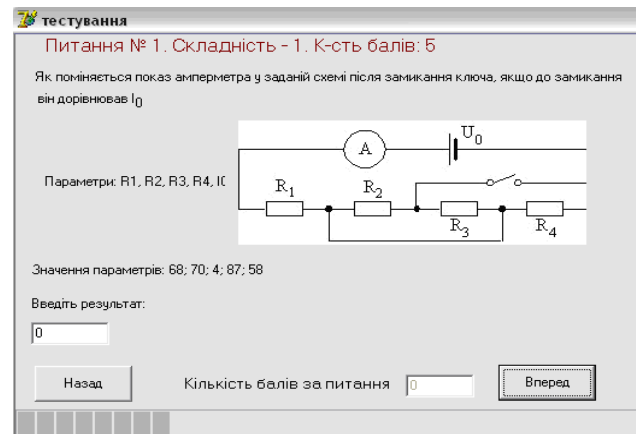


Рис. 8 – Питання-задачі

Якщо користувач відповідає на всі питання, а час ще не завершений, то він може повернутися до попередніх питань.

Результат тестування відображається у такій формі (рис. 9). Тут вказано кількість балів, яку отримав студент (максимально можна отримати 100 балів), а також номера тем чи підтем, які було б варто засвоїти краще.

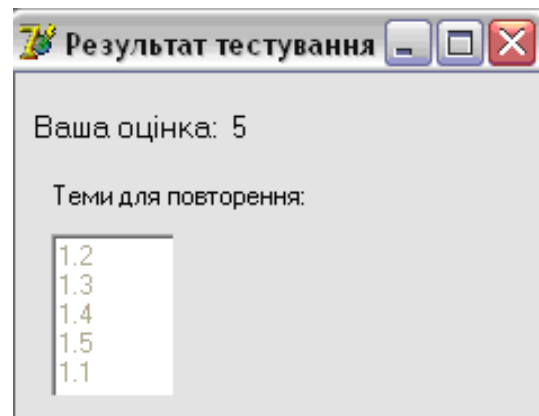


Рис. 9 – Форма з результатом

ВИСНОВКИ

Розроблений підручник демонструє новий підхід до навчально-методичного забезпечення для вивчення базових дисциплін. Авторському колективу вдалося об'єднати усі види занять з дисципліни "Основи теорії електронних кіл" і подібних дисциплін, які читають у Львівській політехніці, в єдиному підручнику з компакт-диском, який забезпечує вивчення теоретичного

матеріалу з використанням сучасних методів доступу до інформації, засвоєння практичних навиків за допомогою як традиційних підходів, так і комп'ютерних методик, а також виконання лабораторних завдань на основі імітаційного моделювання. Електронна частина також дає змогу здійснити самостійне оцінювання знань в інтерактивному режимі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] M. Elsom-Cook, Student modelling in intelligent tutoring systems, *Artificial Intelligence Review*, (7) 3-4 (1993), pp. 227-237.
- [2] D. Gris, *Designing of Compilers for Digital Computing Engines*, Moscow: Mir, 1975, 544 p. (in Russian)
- [3] M. Gross, A. Lanten, *Theory of Formal Grammars*, Moscow: Mir, 1971, 294 p. (in Russian)
- [4] Yu.Ya. Bobalo, B.A. Mandziy, P.G. Stakhiv, L.D. Pysarenko, Yu.I. Yakymenko, *Bases of Electrical Circuits Theory*, Lviv: Lviv Polytechnics Publishing, 2008. (in Ukrainian)
- [5] Moodle, [Online], <http://moodle.org/mod/forum/discuss.php?d=133543>
- [6] ATutorLearning Management Tools, [Online], <http://atutor.ca/atutor/docs/index.php>
- [7] Claroline, [Online], <http://demo.claroline.net/index.php>
- [8] E-college, [Online], www.e-college.ru/education/speciality/manager.html



Юрій Бобало, д.т.н., професор, ректор Національного університету "Львівська політехніка".

Наукові інтереси зосереджені в галузі надійнісного проектування радіоелектронної апаратури.



Богдан Мандзій, д.т.н., професор, професор кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань Національного університету "Львівська політехніка".

Наукові інтереси: аналіз нелінійних електронних кіл, методи забезпечення надійності радіоелектронних пристроїв.



Петро Стахів, д.т.н., професор, завідувач кафедри теоретичної і загальної електротехніки Національного університету "Львівська політехніка".

Наукові дослідження ведуться в рамках наукової школи "Математичне моделювання динамічних процесів складних електричних кіл та електротехнічних систем".



Наталія Шаховська, д.т.н., доцент, декан базової вищої освіти Інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій Національного університету "Львівська політехніка".

Наукові інтереси: бази та сховища даних, інтеграція, розподілені системи.



ALGORITHMIC AND SOFTWARE IMPLEMENTATION OF E-TEXTBOOK “FUNDAMENTALS OF THEORY OF ELECTRONIC CIRCUITS”

Yuriy Bobalo, Bogdan Mandziy, Petro Stakhiv, Natalya Shakhovska

National University “Lviv Polytechnic”
12, Stepana Bandery Street, Lviv, 79013, Ukraine
e-mail: natalya233@gmail.com

Abstract: *The paper presents the experience of developing electronic textbook “Fundamentals of the theory of electronic circuits”. The concept and development principles of electronic textbook are discussed. The procedure of knowledge control and evaluation is described in details.. The algorithm of automatic control the test tasks with possibilities of entering mathematical expressions is developed.*

Keywords: *electronic textbook, distance learning, virtual learning environment.*

1. INTRODUCTION

Electronic textbook – computer, educational software tool intended primarily for the submission of new information that complements the printed publication, serves individual and personalized learning and provides a limited way to test the knowledge and skills of the student.

The tasks proposed to students in Electronic textbook may be different types. Each type of task involves a student’s activity during his performance and decision making. You can distinguish the following types of tasks:

- menu (select one correct answer for several);
- calculation (input field, real number or several numbers);
- word (enter one or more words);
- phrase (input sentence);
- formula (input formula);
- compliance (correct answer choice from the menu bar for each set of sentences, pictures or photos);
- sequence (input sequence of actions or choose it from the menu).

Depending on the type and purpose of control are the following approaches to completing tasks e-textbook groups:

- the sequence of questions and tasks of varying complexity and importance that is framed in a branched or multi-level algorithm and can be used for current research and self-awareness;
- a special set of tasks of varying complexity, generated to test specific or comprehensive level of training (knowledge, skills), which is

presented in a given sequence: randomly, by way of self-selection of the student or in order of increasing their level of complexity;

- group tasks, which are formed by random sampling from bank task considering the dynamics and distance course discipline and complexity.

So important is the creation of methodological and instrumental bases of simulation training systems management and control knowledge, adequate current trends in information technology and didactic principles of organizing and conducting training.

The popular systems fro e-textbook developing are “TrainingWare”, “eLearning Server 3000 v2.0”, “eLearning Office 3000”, “HyperMethod 3.5”.

2. THE MAIN PART

The concept of the textbook “Fundamentals of the theory of electronic circuits”, which jointly developed in the faculty of Lviv and Kyiv Polytechnic, edited by Professor Yu. Bobalo based on considering the following factors: complexity of the learning process, which is the integration of various forms of activities – lectures, practical laboratory, independent, under the volume of tasks allocated credits; importance of self-knowledge and effectiveness of training for laboratory work.

The feature of the software tool that used for learning in the course “Fundamentals of the theory of electronic circuits”, it is necessary to display Greek characters in the standard window Windows, the answer in the form of formulas, tables,

availability exercises, that providing some answers and more.

The process of learning involves the presence of two components:

1) Training material M – has short or full theoretical calculations. It is organized as a tree, which corresponds to the depth of nesting of topics M_i and sub-topics M_{ij} . It is characterized by the number of sub-topic $|M_{ij}|$, and time t_i allotted for teacher learning, questions of certain levels of difficulty Q_{ik} and points cushion R_{ik} .

2) Tests T – consist of the questions Qt_i , answers V_{ij} , difficulty level Sk_i and type of task Tq_i .

The teacher indicates the number of certain complexity for each theme and gives time to perform tasks. If the allotted time is finished and student does not answer all the questions, the test automatically stops, and program puts scores obtained by those questions that the student had answered.

Student can see randomly generated set of test questions:

- if a student takes 71-100 points – then it is recommended him to start learning the next section;
- if a student takes 40-70 points – then it is offered to take Option 2 to clarify his level of knowledge;
- if a student takes 0-39 – it is recommended to repeat the whole section.

In the program there are developed the following modules:

1) Analysis of arithmetic expression and its automatic calculation – for the implementation of issues-based problems generated by parameters;

2) The formation of special alphabet characters, their processing, redrawing the window to display the characters and the introduction of expressions from the keyboard;

3) Determine the type of questions and answers and display them in the form:

- text,
- formulas,
- figures,
- table,
- mixed;

4) Validation of tests – Analysis of errors by the teacher – specification of the number of incorrect answers, non-existent type of question, etc.;

5) Formation of random questions bank, that consider a given number of questions by level of difficulty for a student;

6) Check the correct answers a student;

7) Determination of the total assessment of student;

8) Setting the time of testing;

9) Definition of related topics that is necessary to examine the student to achieve better results.

To describe the input data for the test task, the answer to which is formed formula, we use the notation Backus-Naur.

Automatic detection of the expression is carried out by the following algorithm:

1. Reading the terms and parameters.

2. Formation of a dynamic array element number of parameters.

3. Filling array elements formed by random values the limits specified for the generation of each element.

4. The method of recursive descent alternatively replace variables in an expression formed by the value of the array.

5. Building syntactic parse tree.

To display Greek characters in a standard Windows-box uses regular expressions and overload the main class TLabel.

Regular expression is a string that describes or matches a set of strings, according to a set of special syntax. Regular expressions are used in many text editors and supporting tools for finding and changing text based on preset templates. Many programming languages support regular expressions for string manipulation. For example, Perl has a powerful mechanism for working with regular expressions, built directly in its syntax. In the test system will be widely used in regular expressions, so for a more detailed description of them is given a table of quantitative.

The system is designed in Delphi 7 using congested standard interface.

3. CONCLUSION

The tutorial demonstrates a new approach to the teaching of basic subjects for study. Electronic parts also allows you to make an independent assessment of knowledge online.

4. REFERENCES

- [1] M. Elsom-Cook, Student modelling in intelligent tutoring systems, *Artificial Intelligence Review*, (7) 3-4 (1993), pp. 227-237.
- [2] D. Gris, *Designing of Compilers for Digital Computing Engines*, Moscow: Mir, 1975, 544 p. (in Russian)
- [3] Yu.Ya. Bobalo, B.A. Mandziy, P.G. Stakhiv, L.D. Pysarenko, Yu.I. Yakymenko, *Fundamentals of the Theory of Electrical Circuits*, Lviv: Lviv Polytechnics Publishing, 2008. (in Ukrainian)

Vitor Viegas, J. M. Dias Pereira

FOUNDATION FIELDBUS: FROM THEORY TO PRACTICE

This paper describes the main characteristics of the Foundation Fieldbus (FF) technology considering both communication levels, namely H1 and H2, which have bit rates of 31.25 K and 100 Mbit/s, respectively. Several details about the physical layer, communication stack and user layer will be highlighted. Topics related with the configuration of instruments, as well as the design and implementation of supervision software, based on a LabVIEW interface, will be presented. A pilot plant that includes temperature, pressure, level and flow variables will be used to test and validate the capabilities of FF systems. Experimental results will be analyzed, their meaning discussed and the overall performance evaluated.

Lubomyr Petryshyn

ABOUT PHASE INTERDEPENDENCE AND POSSIBILITY OF WALSH FUNCTIONS SYSTEM REDUCTION

The system of Walsh functions is the multiplicative group of Rademacher- and Gray-function systems. The system contains discrete-harmonic sin-components of Rademacher functions, cos-components of Gray functions, and also discrete-nonharmonic components of Walsh functions. Pair phase interdependence of complete Walsh system functions is established. Subsystems of odd (sin-components) and even (cos-components) of Walsh functions as bases of theoretic-number transformations are constructed. The perspective of the future researches of transformations efficiency for digital signal processing in the proposed function systems is defined.

Yury Kolokolov, Anna Monovskaya

FRACTAL APPROACH TO FORMING OF MODIFIED BIFURCATION DIAGRAMS IN PRACTICAL APPLICATIONS

The points connected with both improving the methods based on the use of the bifurcation analysis and opening new possibilities to use the bifurcation analysis in practical applications are discussed in the paper. So, the fractal approach to form modified bifurcation diagrams is developed. The approach is directed towards extending knowledge about the nonlinear dynamics state-of-the-art by means of the growth in the capacity and adequacy of information about nonlinear dynamics regularities and uncertainties. In particular, it is summarized the peculiarities of the fractal approach; it is signed the main ways to practical applications of the fractal approach – forecasting nonlinear dynamics, estimating the stability margin and risk.

Vladimir Zhikharevich, Liliya Shumylyak

USE OF CONTINUOUS CELLULAR AUTOMATA FOR SIMULATION OF THERMAL CONDUCTIVITY IN SYSTEMS WITH FIRST ORDER PHASE TRANSITION

This paper is devoted to the use of cellular automata model for the study of some underlying physical processes. The basic approach and general methodology for the development of cellular automata models are examined through the example of heat transfer processes. It is shown that these models can be an alternative to the use of classical differential equations. It is proven that the model as a system of cellular automata is a good tool for the study of nonlinear problems of heat transfer and can describe a very complex behaviour of a system, despite the simplicity of its description.

Asha T., S.Natarajan, K.N.B.Murthy

OPTIMIZATION OF ASSOCIATION RULES FOR TUBERCULOSIS USING GENETIC ALGORITHM

Tuberculosis (TB) is a disease caused by bacteria called Mycobacterium Tuberculosis which usually spreads through the air and attacks low immune bodies. Human Immuno deficiency Virus (HIV) patients are more likely to be attacked by TB. It is an important health problem around the world including India. Association Rule Mining is the process of discovering interesting and unexpected rules from large sets of data. This approach results in huge quantity of rules where some are interesting and others are repetitive. It also limits the quality of rules to only two measures support and confidence. In this paper we try to optimize the rules generated by Association Rule Mining for Tuberculosis using Genetic Algorithm. Our approach is to extract only a small set of high quality Tuberculosis rules among the larger set using Genetic Algorithm. In the current approach datatypes such as discrete, continuous and categorical items have been handled. The proposed experimental result includes a small set of converged TB rules that helps doctors in their diagnosis decisions. The main motivation for using Genetic Algorithms in the discovery of high-level prediction rules

is that they are robust, use adaptive search techniques that perform a global search on the solution space and cope better with attribute interaction than the greedy rule induction algorithms often used in data mining.

Sergiy Balovskyak, Igor Fodchuk

OBJECTS IMAGES ALIGNMENT WITH THE USE OF GENETIC AND GRADIENT ALGORITHMS

The given paper presents a hybrid method which is a combination of genetic and gradient algorithms used for the comparison of digital images of an object. Aligning the images, their basic transformations are taken into account, namely shift and scale in a width and height, angle, changes in intensity and contrast. The software for image alignment of objects has been created using Delphi environment. The program utilizes modified genetic algorithms where the chromosomes are the vectors of real numbers. The methods of roulette, rank and tournament selection are used for chromosome selection. After the use of the genetic algorithm the object images were compared by the method of coordinate descent that provides an accuracy improvement of image alignment. The efficiency of different methods of chromosome selection in the genetic algorithm for images alignment is researched. The size of chromosome population as well as other parameters of genetic algorithm have been optimized.

Vasilij Shut'

PEDESTRIAN ROBOT

In the paper there are analyzes the major drawback of pedestrian crossings, namely, interruption of vehicles moving flow on the highway. It is given a calculation of economic losses in the conflict "pedestrian-vehicle" on a controlled pedestrian crossing. It is proposed a radical solution of this problem by setting the bus system "Walking Robot", which quickly and safely move pedestrians to the opposite side of the highway with minimal disruption of a highway traffic flow.

Yuriy Bobalo, Bogdan Mandziy, Petro Stakhiv, Natalya Shakhovska

ALGORITHMIC AND SOFTWARE IMPLEMENTATION OF E-TEXTBOOK "FUNDAMENTALS OF THEORY OF ELECTRONIC CIRCUITS"

The paper presents the experience of developing electronic textbook "Fundamentals of the theory of electronic circuits". The concept and development principles of electronic textbook are discussed. The procedure of knowledge control and evaluation is described in details.. The algorithm of automatic control the test tasks with possibilities of entering mathematical expressions is developed.

Vitor Viegas, J. M. Dias Pereira

ОСНОВА FIELDBUS: ВІД ТЕОРІЇ ДО ПРАКТИКИ

Дана стаття описує основні характеристики технології Foundation Fieldbus (FF) з врахуванням обох комунікаційних рівнів, а саме: N1 і N2, що мають бітову швидкість, рівну 31,25 Кбіт/с і 100 Мбіт/с, відповідно. Висвітлено деякі відомості про фізичний рівень, комунікаційний стек і рівень користувача. Представлені питання, пов'язані з настройкою інструментів, а також розробкою та впровадженням програмного забезпечення для контролю на основі інтерфейсу LabVIEW. Для перевірки і підтвердження можливостей FF систем використана пілотна установка, яка включає змінні температури, тиску, рівня і потоку. Проаналізовано експериментальні результати, обговорено їх значення та здійснено їх загальну оцінку.

Любомир Петришин

ПРО ФАЗОВУ ВЗАЄМОЗАЛЕЖНІСТЬ І МОЖЛИВІСТЬ РЕДУКЦІЇ СИСТЕМИ ФУНКЦІЙ УОЛША

Система функцій Уолша є мультиплікативною групою систем функцій Радемахера і Грея. В своєму складі вміщує дискретно-гармонічні \sin -складові функції Радемахера, \cos -складові функції Грея, а також дискретно-негармонічні складові функції Уолша. Встановлено попарну фазову взаємозалежність повної системи функцій Уолша. Побудовано підсистеми непарних (\sin -складових) та парних (\cos -складових) функцій Уолша як базиси теоретико-числових перетворень. Визначено перспективу наступних досліджень ефективності перетворень цифрової обробки сигналів у запропонованих системах функцій.

Юрій Колоколов, Анна Мононьська

ФРАКТАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ФОРМУВАННЯ ДІАГРАМ МОДИФІКОВАНОЇ БІФУРКАЦІЇ В ПРАКТИЧНИХ ЗАСТОСУВАННЯХ

В статті обговорюються питання, пов'язані як з вдосконаленням методів, що базуються на використанні біфуркаційного аналізу та відкриття нових можливостей використання біфуркаційного аналізу в практичних застосуваннях. Так, розроблено фрактальний підхід до формування діаграм модифікованої біфуркації. Підхід спрямований на розширення знань про останні досягнення в нелінійній динаміці за допомогою покращення якості та адекватності інформації про нелінійні закономірності динаміки та невизначеності. Зокрема, узагальнено особливості фрактального підходу; показано основні способи практичного застосування фрактального підходу – прогнозування нелінійної динаміки, оцінки запасу стійкості та ризику.

Володимир Жихаревич, Лілія Шумиляк

ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПЕРЕРВНИХ КЛІТКОВИХ АВТОМАТІВ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ У СИСТЕМАХ З ФАЗОВИМИ ПЕРЕХОДАМИ ПЕРШОГО РОДУ

Робота присвячена питанням використання клітково-автоматної моделі для дослідження деяких базових фізичних процесів. На прикладі моделювання процесів перенесення тепла розглянуті основні підходи та загальна методологія розробки клітково-автоматних моделей. Показано, що дані моделі можуть стати альтернативою використанню класичних диференціальних рівнянь. Доведено, що модель у вигляді системи кліткових автоматів є досить зручним інструментальним засобом для дослідження нелінійних задач теплопереносу і може описувати достатньо складну поведінку системи, незважаючи на простоту її опису.

Asha T., S.Natarajan, K.N.V.Murthy

ОПТИМІЗАЦІЯ АСОЦІАТИВНИХ ПРАВИЛ ДЛЯ ЛІКУВАННЯ ТУБЕРКУЛЬОЗУ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

Туберкульоз (ТБ) є захворюванням, що викликається туберкульозною бактерією *Mycobacterium*, яка зазвичай поширюється повітрям і вражає людей із зниженим імунітетом. Пацієнти з вірусом імунодефіциту людини (ВІЛ) частіше піддаються захворюванню туберкульозом. Ця проблема охорони здоров'я є важливою в усьому світі, включаючи Індію. Пошук асоціативних правил є процесом виявлення цікавих і несподіваних правил з великих наборів даних. Такий підхід призводить до величезної кількості правил, коли деякі з них є важливими, а інші є повторюваними. Він також обмежує якість правил тільки двома заходами підтримки та довіри. У даній роботі ми намагаємося оптимізувати пошук асоціативних правил для лікування туберкульозу з використанням генетичного

алгоритму. Наш підхід полягає в отриманні тільки невеликого набору високоякісних правил для лікування туберкульозу з великого набору даних за допомогою генетичного алгоритму. У поточному підході були оброблені такі типи даних, такі як дискретні, безперервні та категорійні елементи. Результат запропонованих експериментів включає в себе невеликий набір конвергентних туберкульозних правил, що допомагає лікарям у постановці діагнозу. Основна мотивація для використання генетичних алгоритмів для знаходження правил передбачення високого рівня полягає в тому, що вони є надійними, з використанням адаптивних методів пошуку, що виконують глобальний пошук в просторі рішень і краще справляються з взаємодією атрибутів, ніж затратні алгоритми індукції правил, що часто використовуються в інтелектуальному аналізі даних.

Сергій Баловсяк, Ігор Фодчук

СУМІЩЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕНЕТИЧНИХ ТА ГРАДІЄНТНИХ АЛГОРИТМІВ

У даній роботі для порівняння цифрових зображень об'єктів використано гібридний метод, який є поєднанням генетичних та градієнтних алгоритмів. При суміщенні зображень враховано їх основні трансформації: зсув і масштабування за шириною та висотою, поворот, зміну інтенсивності й контрасту. Суміщення зображень об'єктів програмно реалізовано в середовищі Delphi. У програмі використано модифіковані генетичні алгоритми, в яких хромосоми є векторами дійсних чисел. Як методи селекції хромосом використано метод рулетки, рангову та турнірну селекцію. Після застосування генетичних алгоритмів зображення об'єктів порівнювалися методом координатного спуску, що підвищує точність суміщення зображень. Досліджено ефективність різних методів селекції хромосом в генетичних алгоритмах, призначених для суміщення зображень. Оптимізовано розмір популяції хромосом та інші параметри генетичних алгоритмів.

Василь Шуть

ПІШОХІДНИЙ РОБОТ

Аналізується основний недолік пішохідних переходів, а саме, переривання потоку автотранспортних засобів, що рухаються по магістралі. Наводиться розрахунок економічних втрат у конфлікті пішохід-автомобіль на регульованому пішохідному переході. Пропонується кардинальне вирішення цієї проблеми шляхом установки магістральних систем "Пішохідний робот", що швидко і безпечно переміщає пішоходів на протилежну сторону магістралі з мінімальним перериванням транспортного потоку магістралі.

Юрій Бобало, Богдан Мандзій, Петро Стахів, Наталя Шаховська

АЛГОРИТМІЧНА ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОННОГО ПІДРУЧНИКА "ОСНОВИ ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРОННИХ КІЛ"

У роботі розглянуто досвід розроблення електронного підручника "Основи теорії електронних кіл". Подано концепцію, принципи розроблення електронного підручника. Докладно описано процедуру перевірки та оцінювання отриманих знань. Побудовано алгоритм автоматичної перевірки на тестові завдання з формульним записом.

Vitor Viegas, J. M. Dias Pereira

ОСНОВА FIELDBUS: ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ

Данная статья описывает основные характеристики технологии Foundation Fieldbus (FF) с учетом обоих коммуникационных уровней, а именно: Н1 и Н2, имеющих битовую скорость, равную 31,25 Кбит/с и 100 Мбит/с, соответственно. Освещены некоторые сведения о физическом уровне, коммуникационном стеке и уровне пользователя. Представлены вопросы, связанные с настройкой инструментов, а также разработкой и внедрением программного обеспечения для контроля на основе интерфейса LabVIEW. Для проверки и подтверждения возможностей FF систем использована пилотная установка, которая включает переменные температуры, давления, уровня и потока. Проанализированы экспериментальные результаты, обсуждены их значения и осуществлена их общая оценка.

Любомир Петришин

О ФАЗОВОЙ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ РЕДУКЦИИ СИСТЕМЫ ФУНКЦИЙ УОЛША

Система функций Уолша является мультипликативной группой систем функций Радемахера и Грея. В своем составе содержит дискретно-гармонические \sin -составляющие функций Радемахера, \cos -составляющие функций Грея, а также дискретно-негармонические составляющие функций Уолша. Установлено попарно фазовую взаимозависимость полной системы функций Уолша. Построены подсистемы нечетных (\sin -составляющих) и парных (\cos -составляющих) функций Уолша как базисы теоретико-числовых преобразований. Определена перспектива последующих исследований эффективности преобразований цифровой обработки сигналов в предложенных системах функций.

Юрий Колоколов, Анна Моновская

ФРАКТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ДИАГРАММ МОДИФИЦИРОВАННОЙ БИФУРКАЦИИ В ПРАКТИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЯХ

В статье обсуждаются вопросы, связанные как с совершенствованием методов, основанных на использовании бифуркационного анализа и открытия новых возможностей использования бифуркационного анализа в практических приложениях. Так, разработан фрактальный подход к формированию диаграмм модифицированной бифуркации. Подход направлен на расширение знаний о последних достижениях в нелинейной динамике с помощью улучшения качества и адекватности информации о нелинейных закономерностях динамики и неопределенности. В частности, обобщены особенности фрактального подхода; показаны основные способы практического применения фрактального подхода – прогнозирование нелинейной динамики, оценки запаса устойчивости и риска.

Владимир Жихаревич, Лилия Шумляк

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В СИСТЕМАХ С ФАЗОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ ПЕРВОГО РОДА

Работа посвящена вопросам использования клеточно-автоматной модели для исследования некоторых базовых физических процессов. На примере моделирования процессов переноса тепла рассмотрены основные подходы и общая методология разработки клеточно-автоматных моделей. Показано, что данные модели могут стать альтернативой использованию классических дифференциальных уравнений. Доказано, что модель в виде системы клеточных автоматов является достаточно удобным инструментальным средством для исследования нелинейных задач теплопереноса и может описывать весьма сложное поведение системы, несмотря на простоту ее описания.

Asha T., S.Natarajan, K.N.V.Murthy

ОПТИМИЗАЦИЯ АССОЦИАТИВНЫХ ПРАВИЛ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ТУБЕРКУЛЕЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Туберкулез (ТБ) является заболеванием, вызываемым туберкулезной бактерией *Mycobacterium*, которая обычно распространяется по воздуху и поражает людей со сниженным иммунитетом. Пациенты с вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ) чаще подвергаются заболеванию

туберкулезом. Эта проблема здравоохранения является важной во всем мире, включая Индию. Поиск ассоциативных правил является процессом выявления интересных и неожиданных правил больших наборов данных. Такой подход приводит к огромному количеству правил, когда некоторые из них являются важными, а другие являются повторяющимися. Он также ограничивает качество правил только двумя мерами поддержки и доверия. В данной работе мы пытаемся оптимизировать поиск ассоциативных правил для лечения туберкулеза с использованием генетического алгоритма. Наш подход заключается в получении только небольшого набора высококачественных правил для лечения туберкулеза из большого набора данных с помощью генетического алгоритма. В текущем подходе были обработаны следующие типы данных, такие как дискретные, непрерывные и категорические элементы. Результат предложенных экспериментов включает в себя небольшой набор конвергентных туберкулезных правил, который помогает врачам в постановке диагноза. Основная мотивация для использования генетических алгоритмов для нахождения правил предсказания высокого уровня заключается в том, что они являются надежными, с использованием адаптивных методов поиска, выполняют глобальный поиск в пространстве решений и лучше справляются с взаимодействием атрибутов, чем затратные методы индукции правил, часто используемых в интеллектуальном анализе данных.

Сергей Баловсяк, Игорь Фодчук

СОВМЕЩЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ И ГРАДИЕНТНЫХ АЛГОРИТМОВ

В данной работе для сравнения цифровых изображений объектов использован гибридный метод, являющийся сочетанием генетических и градиентных алгоритмов. При совмещении изображений учтены их основные трансформации: смещение и масштабирование по ширине и высоте, поворот, изменение интенсивности и контраста. Совмещение изображений объектов программно реализовано в среде Delphi. В программе использованы модифицированные генетические алгоритмы, в которых хромосомы являются векторами действительных чисел. В качестве методов селекции хромосом использованы метод рулетки, ранговая и турнирная селекция. После применения генетических алгоритмов изображения объектов сравнивались методом координатного спуска, повышающего точность совмещения изображений. Исследована эффективность различных методов селекции хромосом в генетических алгоритмах, предназначенных для совмещения изображений. Оптимизирован размер популяции хромосом и другие параметры генетических алгоритмов.

Василий Шуть

ПЕШЕХОДНЫЙ РОБОТ

Анализируется основной недостаток пешеходных переходов, а именно, прерывание потока автотранспортных средств, движущихся по магистрали. Приводится расчет экономических потерь в конфликте пешеход-автомобиль на регулируемом пешеходном переходе. Предлагается кардинальное решение этой проблемы путем установки магистральных систем “Пешеходный робот”, который быстро и безопасно перемещает пешеходов на противоположную сторону магистрали с минимальным прерыванием транспортного потока магистрали.

Юрий Бобало, Богдан Мандзий, Петр Стахив, Наталья Шаховская

АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОГО УЧЕБНИКА “ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ЦЕПЕЙ”

В работе рассмотрен опыт разработки электронного учебника “Основы теории электрических цепей”. Представлены концепция, принципы разработки электронного учебника. Детально описана процедура проверки и оценки полученных знаний. Построен алгоритм автоматической проверки на тестовые задания с формульной записью.

Prepare your paper according to the following requirements:

Unconditional requirement - paper should not be published earlier.

- (i) Suggested composition (frame) of paper:
 - Issue formulation stressing its urgent solving; evaluation of recent publications in the explored issue
 - short formulation of paper's purpose
 - description of proposed method (algorithm)
 - implementation and testing (verification)
 - conclusion.
- (ii) Use A4 (210 x 297 mm) paper. Size of paper has to be extended up to 6-8 pages.
- (iii) Please use main text two column formatting;
- (iv) A paper must have an abstract and some keywords;
- (v) Place a full list of references at the end of the paper. Please place the references according to their order of appearance in the text.
- (vi) An affiliation of each author is wanted.
- (vii) The text should be single-spaced. Use Times New Roman (11 points, regular) typeface throughout the paper.
- (viii) Equations should be placed in separate lines and numbered. The numbers should be within brackets and right aligned.
- (ix) The figures and tables must be numbered, have a self-contained caption. Figure captions should be below the figures; table captions should be above the tables. Also, avoid placing figures and tables before their first mention in the text.
- (x) As soon as you have the complete materials, the final versions should come electronically in MS Word'97 or MS Word 2000 format to the address computing@computingonline.net.
- (xi) A hardcopy of your article is needed to be sent by regular mail for our publishing house.
- (xii) Please send short CVs (up to 20 lines) and photos of every author.
- (xiii) There is no other formatting required. The publishing department makes all rest formatting according to the publisher's rules.

Journal Topics:

- Algorithms and Data Structure
- Bio-Informatics
- Cluster and Parallel Computing, Software Tools and Environments
- Computational Intelligence
- Computer Modeling and Simulation
- Cyber and Homeland Security
- Data Communications and Networking
- Data Mining, Knowledge Bases and Ontology
- Digital Signal Processing
- Distributed Systems and Remote Control
- Education in Computing
- Embedded Systems
- High Performance Computing and GRIDS
- Image Processing and Pattern Recognition
- Intelligent Robotics Systems
- Internet of Things
- Standardization of Computer Systems
- Wireless Systems

Основні вимоги до подання і оформлення публікацій наукового журналу “Комп'ютинг”:

Безумовною вимогою є те, щоб стаття не була опублікована раніше!

- (i) Наукові статті повинні мати такі необхідні елементи:
 - постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
 - аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття;
 - формулювання цілей статті (постановка завдання);
 - виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;
 - висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.
- (ii) Використовуйте А4 (210 x 297 mm) формат сторінки. Загальний розмір статті має містити 6-8 сторінок.
- (iii) Використовуйте двоколонкове форматування основного тексту;
- (iv) Стаття повинна обов'язково містити основний текст українською мовою, анотацію (написану на Англійській і Українській мовах) і список ключових слів;
- (v) В кінці статті розмістіть список літератури. Розміщуйте список літератури в порядку її цитування.
- (vi) Необхідною є інформація про наукові звання, титули та посади авторів.
- (vii) Текст повинен бути набраним одинарним інтервалом із використанням шрифту Times New Roman (11 points, regular).
- (viii) Формули повинні відділятися від основного тексту пустими стрічками а також пронумеровані у круглих дужках та відцентровані по правому краю.
- (ix) Таблиці і рисунки повинні бути пронумерованими. Заголовки рисунків розміщують під рисунком по центру. Заголовки таблиць розміщують по центру зверху таблиці.
- (x) Завершені версії статей повинні бути надісланими в електронному MS Word'97 або MS Word 2000 форматі за адресою computing@computingonline.net.
- (xi) Просимо надсилати поштою роздруковані копії статей.
- (xii) В кінці кожної статті потрібно подати її назву, резюме (абстракт) і ключові слова англійською мовою.
- (xiii) Просимо надсилати нам короткі біографічні дані (до 20 рядків) і скановані фотографії кожного із авторів.
- (xiv) Видавництво здійснює остаточне форматування тексту згідно із вимогами друку.
- (xv) У закордонних читачів можуть виникнути проблеми при ознайомленні з працями на російській та українській мовах. В зв'язку з цим редакційна колегія просить авторів додатково прислати розширений реферат (резюме), щоб б містило дві сторінки тексту англійською мовою, і супроводжувалось заголовком, прізвищами та адресами авторів. Авторам рекомендується використовувати у рисунках статті позначення переважно англійською мовою, або давати переклад у дужках. Тоді у розширеному резюме можна буде посилатися на рисунки у основному тексті.

Тематика журналу:

- Алгоритми та структури даних
- Біо-інформатика
- Кластерні та паралельні обчислення, програмні засоби та середовище
- Обчислювальний інтелект
- Комп'ютерне та імітаційне моделювання
- Кібернетична безпека та захист від тероризму
- Обмін даними та організація мереж
- Видобування даних, бази знань та онтології
- Цифрова обробка сигналів
- Розподілені системи та дистанційне управління
- Освіта в комп'ютингу
- Вбудовувані системи
- Високопродуктивні обчислення та ГРІД
- Обробка зображень та розпізнавання шаблонів
- Інтелектуальні робототехнічні системи
- Інтернет речей
- Стандартизація комп'ютерних систем
- Безпроводні системи

Основные требования к подаче и оформлению публикаций научного журнала “Компьютинг”:

Безусловное требование – чтобы статья не была опубликована ранее!

- (i) Научные статьи должны иметь такие необходимые элементы:
 - постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
 - анализ последних исследований и публикаций, в которых начаты решения данной проблемы и на которые опирается автор, выделение нерешенных прежде частей общей проблемы, которым посвящается обозначенная статья;
 - формулирование целей статьи (постановка задачи);
 - изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов;
 - выводы из данного исследования и перспективы дальнейших изысканий в данном направлении.
- (ii) Используйте A4 (210 x 297 mm) формат страницы. Общий размер статьи 6-8 страниц.
- (iii) Используйте двухколоночное форматирование основного текста;
- (iv) Статья должна обязательно содержать основной текст на Русском языке, аннотацию (написанную на Английском и Русском языках) и список ключевых слов;
- (v) В конце статьи разместите список литературы. Размещайте список литературы в порядке ее цитирования.
- (vi) Необходима информация о научных званиях, титулах и должностях авторов.
- (vii) Текст должен быть набранным одинарным интервалом с использованием шрифта Times New Roman (11 points, regular).
- (viii) Формулы должны отделяться от основного текста пустыми строками, а также пронумерованные в круглых скобках и отцентрованные по правому краю.
- (ix) Таблицы и рисунки должны быть пронумерованными. Заголовки рисунков размещают под рисунком по центру. Заголовки таблиц размещают по центру сверху таблицы.
- (x) Завершенные версии статей должны быть присланы в электронном MS Word'97 или MS Word 2000 формате по адресу computing@computingonline.net.
- (xi) Просим присылать распечатанные копии статей по почте.
- (xii) В конце каждой статьи необходимо предоставить ее название, резюме (абстракт) и ключевые слова на английском языке.
- (xiii) Просим присылать нам короткие биографические данные (до 20 строчек) и сканированные фотографии каждого из авторов.
- (xiv) Издательство осуществляет окончательное форматирование текста в соответствии с требованиями печати.
- (xv) У зарубежных читателей могут возникнуть проблемы при ознакомлении с трудами на русском и украинском языках. В связи с этим редакционная коллегия просит авторов дополнительно прислать расширенный реферат (резюме), который содержал бы две страницы текста на английском языке, и сопровождался заголовком, фамилиями и адресами авторов. Авторам рекомендуется использовать в рисунках статьи обозначения преимущественно на английском языке, или давать перевод в скобках. Тогда в расширенном резюме можно будет посылаться на рисунки в основном тексте.

Тематика журнала:

- Алгоритмы и структуры данных
- Био-информатика
- Кластерные и параллельные вычисления, программные средства и среды
- Вычислительный интеллект
- Компьютерное и имитационное моделирование
- Кибернетическая безопасность и защита от терроризма
- Обмен данными и организация сетей
- Добыча данных, базы знаний и онтологии
- Цифровая обработка сигналов
- Распределенные системы и дистанционное управление
- Образование в компьютеринге
- Встраиваемые системы
- Высокопроизводительные вычисления и ГРИД
- Обработка изображений и распознавание шаблонов
- Интеллектуальные робототехнические системы
- Интернет вещей
- Стандартизация компьютерных систем
- Беспроводные системы

CALL FOR PAPERS



IDAACS'2013

The 7th IEEE International Conference on
**Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing
Systems:
Technology and Applications**

**September 11-14, 2013
BERLIN, GERMANY**



Organized by
**Research Institute of Intelligent
Computer Systems,**
**Ternopil National Economic University and V.M.
Glushkov Institute of Cybernetics, National Academy
of Sciences of Ukraine**
in cooperation with
**University of Applied Sciences,
Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW)
Berlin, Germany**
www.idaacs.net

Conference Co-Chairmen
Anatoly Sachenko, Ukraine
Jürgen Sieck, Germany

International Programme Committee Co-Chairmen
Vladimir Haasz, Czech Republic

Kurosh Madani, France
IDAACS International Advisory Board
Dominique Dallet, France
Richard Duro, Spain
Domenico Grimaldi, Italy
Vladimir Haasz, Czech Republic
Robert Hiromoto, USA
Theodore Laopoulos, Greece
George Markowsky, USA, Chair
Vladimir Oleshchuk, Norway
Fernando Lopez Pena, Spain
Peter Reusch, Germany
Anatoly Sachenko, Ukraine
Wieslaw Winiecki, Poland

Important Dates

Abstract submission: 1 March 2013
Notification of Acceptance: 15 April 2013
Camera ready paper: 1 June 2013
Early registration: 15 April – 30 June 2013

CORRESPONDENCE

The correspondence should be directed to
IDAACS Organizing Committee:
IDAACS Organizing Committee
Research Institute of Intelligent Computer Systems
Ternopil National Economic University
3 Peremoga Square
Ternopil 46020 Ukraine
Phone: +380352-475050 ext.: 12234
Fax: +380352-475053 (24 hours)
E-mail: orgcom@idaacs.net

Topics

The conference scope includes, but it's not limited to:

1. Special Stream in Wireless Systems
2. Special Stream in Project Management
3. Special Stream in Cyber Security
4. Special Stream in High Performance Computing
5. Special Stream in eLearning Management
6. Special Stream in Advanced Information Technologies in Ecology
7. Advanced Instrumentation and Data Acquisition Systems
8. Intelligent Distributed Systems and Remote Control
9. Virtual Instrumentation Systems
10. Cluster and Parallel Computing, Software Tools and Environments
11. Embedded Systems
12. Artificial Intelligence and Neural Networks for Advanced Data Acquisition and Computing Systems
13. Advanced Mathematical Methods for Data Acquisition and High Performance Computing
14. Pattern Recognition and Digital Image and Signal Processing
15. Data Analysis and Modeling
16. Intelligent Information Systems, Data Mining and Ontology
17. Robotics and Autonomous Systems
18. Information Computing Systems for Education and Commercial Applications
19. Bio-Informatics
20. Safety, Security and Reliability of Software
21. Intelligent Testing and Diagnostics of Computing Systems
22. Internet of Things
23. Special Stream in Intelligent Robotics and Components

It's our pleasure to invite the interested scientists to organize own Streams.



Підписано до друку 19. 06. 2013 р.
Формат 60x84 ¹/₈. Гарнітура Times.
Папір офсетний. Друк на дублюванні.
Умов. друк. арк. 12,1. Облік.-вид. арк. 14,4.
Зам. № 001-13П. Наклад 300 прим.

Тернопільський національний економічний університет
вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, 46004

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців ДК № 3467 від 23.04.2009 р.

Віддруковано у Видавничо-поліграфічному центрі «Економічна думка ТНЕУ»
46004 м. Тернопіль, вул. Львівська, 11
тел. (0352) 47-58-72
E-mail: edition@tneu.edu.ua