

I T H E A

INFORMATION

International Journal

**MODELS
&**

ANALYSES

2016 Volume 5 Number 1

**International Journal
INFORMATION MODELS & ANALYSES
Volume 5 / 2016, Number 1**

EDITORIAL BOARD

Editor in chief: **Krassimir Markov** (Bulgaria)

Alberto Arteta	(Spain)	Levon Aslanyan	(Armenia)
Albert Voronin	(Ukraine)	Luis Fernando de Mingo	(Spain)
Aleksey Voloshin	(Ukraine)	Liudmila Cheremisinova	(Belarus)
Alexander Palagin	(Ukraine)	Lyudmila Lyadova	(Russia)
Alexey Petrovskiy	(Russia)	Martin P. Mintchev	(Canada)
Alfredo Milani	(Italy)	Nataliia Kussul	(Ukraine)
Anatoliy Krissilov	(Ukraine)	Natalia Ivanova	(Russia)
Avram Eskenazi	(Bulgaria)	Natalia Pankratova	(Ukraine)
Boris Tsankov	(Bulgaria)	Nelly Maneva	(Bulgaria)
Boris Sokolov	(Russia)	Olga Nevzorova	(Russia)
Diana Bogdanova	(Russia)	Orly Yadid-Pecht	(Israel)
Ekaterina Solovyova	(Ukraine)	Pedro Marijuan	(Spain)
Elena Chebanyuk	(Ukraine)	Rafael Yusupov	(Russia)
Evgeniy Bodyansky	(Ukraine)	Sergey Kryvyy	(Ukraine)
Galyna Gayvoronska	(Ukraine)	Stoyan Poryazov	(Bulgaria)
Galina Setlac	(Poland)	Tatyana Gavrilova	(Russia)
George Totkov	(Bulgaria)	Tea Munjishvili	(Georgia)
Gurgen Khachatryan	(Armenia)	Valeria Gribova	(Russia)
Hasmik Sahakyan	(Armenia)	Vasil Sgurev	(Bulgaria)
Iliia Mitov	(Bulgaria)	Vitalii Velychko	(Ukraine)
Juan Castellanos	(Spain)	Vladimir Donchenko	(Ukraine)
Koen Vanhoof	(Belgium)	Vladimir Ryazanov	(Russia)
Krassimira B. Ivanova	(Bulgaria)	Yordan Tabov	(Bulgaria)
Leonid Hulianytskyi	(Ukraine)	Yuriy Zaichenko	(Ukraine)

**IJ IMA is official publisher of the scientific papers of the members of
the ITHEA® International Scientific Society**

IJ IMA rules for preparing the manuscripts are compulsory.

The **rules for the papers** for ITHEA International Journals are given on www.ithea.org.

The camera-ready copy of the paper should be received by ITHEA® Submission system <http://ij.ithea.org>.

Responsibility for papers published in IJ IMA belongs to authors.

International Journal "INFORMATION MODELS AND ANALYSES" Volume 5, Number 1, 2016

Edited by the **Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA**, Bulgaria, in collaboration with
Institute of Mathematics and Informatics, BAS, Bulgaria,
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of NAS, Ukraine,
Universidad Politecnica de Madrid, Spain,
Hasselt University, Belgium
Institute of Informatics Problems of the RAS, Russia,
St. Petersburg Institute of Informatics, RAS, Russia
Institute for Informatics and Automation Problems, NAS of the Republic of Armenia,

Publisher: **ITHEA®**

Sofia, 1000, P.O.B. 775, Bulgaria. www.ithea.org, e-mail: info@foibg.com

Technical editor: **Ina Markova**

Printed in Bulgaria

Copyright © 2016 All rights reserved for the publisher and all authors.

© 2012-2016 "Information Models and Analyses" is a trademark of ITHEA®

© ITHEA is a registered trade mark of FOI-Commerce Co.

ISSN 1314-6416 (printed)

ISSN 1314-6432 (Online)

FUZZY MODELS AND METHODS OF RATIONAL RESOURCE ALLOCATION

Olexii Voloshyn, Vasyl Laver

Abstract: We consider the application of fuzzy sets theory to classical rationing problem. Fuzzy generalizations of classical methods are proposed, the theory is illustrated by a numeric example. The fuzzy methods are compared with their crisp analogs using the inequality measures.

Keywords: rationing problem, rational distribution, fuzzy models and methods, inequality measures.

ACM Classification Keywords: H.4.2 Information Systems Applications - Types of Systems - Decision Support

Introduction

Rational ("fair", "optimal") distribution of joint costs (or collectively produced goods) between agents with different contributions to the production or with different types of input (or output) resources is an important social and economic problem. So it can be considered as a central theme of transferable utility games theory [Moulin, 2001]. Various interesting axiomatic results of modern microeconomic theory have been obtained in this field.

In particular, a simple problem of distributing one resource according to a profile of claims (that describe individual preferences or needs) is also a rich field for axiomatic analysis. This model of resource allocation is often referred to as "bankruptcy problem". Among the first papers, dedicated to this model were [O'Neill, 1982], [Aumann, Maschler, 1985], [Young, 1988]. Recent reviews on the topic are given in [Thomson, 2013] and [Moulin, 2001]. However, the classical models, as a rule, do not take into account the uncertainty of input data, that is common for real processes.

The model

A rationing problem is defined by a triple (N, c, b) , where N is a finite set of agents, the nonnegative real number c represents the amount of resources to be divided, the vector $b = (b_i)_{i \in N}$ specifies for each

agent i a claim b_i , and these numbers are such that $\sum_{i=1}^n b_i > 0$ and

$$0 \leq b_i, \forall i \in N : 0 \leq c \leq \sum_{i=1}^n b_i. \quad (1)$$

A solution to the rationing problem is a vector $x = (x_i)_{i \in N}$, specifying a share x_i for each agent i , such that

$$0 \leq x_i \leq b_i, \tag{2}$$

$$\forall i \in N : \sum_{i \in N} x_i = c. \tag{3}$$

A rationing method (rule) is a function r that associates with each triple (N, c, b) a unique vector $x = (x_i)_{i \in N}$, $x = r(N, c, b)$. There are different ways of interpreting the rationing problem. Without reducing the generality, let us consider the rationing problem as a cost sharing problem. Thus, c is interpreted as the production cost of an indivisible public good, b_i are interpreted as initial amount of money of agent i . Both c and b_i are non-negative real numbers.

In general, it is not correct to talk about the "optimality" ("reasonableness", "justice") of allocation. It seems more adequate to use the concept of "rationality", which was proposed by a Nobel-prize winner Herbert A. Simon. In [Simon, 1947] the concept of "administrative man" who (in contrary to "economic man" who makes "optimal" decisions) makes "rational" decisions using simplified view of reality and heuristic approach is proposed.

Fuzzy approach

In general, there can be a situation, where some of the agents will not be satisfied with their shares, which can lead to the collapse of maximal coalition.

To prevent such situations, it may be reasonable to allow certain flexibility in determining the agents' shares. Thus, we should allow agents to deviate from their shares to some degree. We propose to present the set of agents N as two subsets – the subset of "poor" agents N_1 and subset of "rich" agents N_2 , where $N_1 \cup N_2 = N$, $N_1 \cap N_2 = \emptyset$ [Voloshyn, Laver, 2013]. We can set the threshold values α and β , where $(1-\alpha)\hat{x}_i$ is the most desired share by agent $i \in N_1$ and $(1+\beta)\hat{x}_j$ is the maximal share that agent $j \in N_2$ can afford. The way in which N is divided into subsets N_1 and N_2 is determined by the person, who makes the decisions.

Agents' shares can be presented as right-sided triangular fuzzy numbers $((1-\alpha)\hat{x}_i; (1-\alpha)\hat{x}_i; \hat{x}_i)$ for each $i \in N_1$ and $(\hat{x}_j; \hat{x}_j; (1+\beta)\hat{x}_j)$ for each $j \in N_2$.

Denote $x_i^L = \begin{cases} (1-\alpha)\hat{x}_i, i \in N_1; \\ \hat{x}_i, i \in N_2, \end{cases}$ $x_i^R = \begin{cases} \hat{x}_i, i \in N_1; \\ (1+\beta)\hat{x}_i, i \in N_2, \end{cases}$ for each $i \in N$. In these notations, the

agents' shares can be presented as fuzzy numbers (x_i^L, x_i^L, x_i^R) .

The process of finding the optimal distribution can be reduced to the following linear programming problem:

$$\lambda \rightarrow \max, \tag{4}$$

$$\mu_i(x_i) \geq \lambda, \forall i \in N, \tag{5}$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = c, \tag{6}$$

$$0 \leq x_i \leq b_i, \forall i \in N, 0 \leq \lambda \leq 1. \tag{7}$$

Denote

$$\lambda_0 = \mu_{\Sigma}(c) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^R - c}{\sum_{i=1}^n x_i^R - \sum_{i=1}^n x_i^L} \tag{8}$$

In [Voloshyn, Laver, 2014] it is shown that $\lambda = \lambda_0$ is the unique solution of (4)-(7). The agents' shares can be found using the formula

$$x_k = x_k^R - \lambda_0(x_k^R - x_k^L), \forall k \in N. \tag{9}$$

Speaking about the presenting N as two subsets, we can propose this general approach: we compute

the average agent money amount $\frac{\sum_{i \in N} b_i}{n}$ and include in N_1 all the agents whose initial money amount is

less or equal to this number, all other agents we include in N_2 . However, there can be other approaches to dividing N into subsets.

We propose the following algorithm for finding the agents' shares for fuzzy generalization of rationing method r :

1. We find the crisp shares $\hat{x}_i = r(N, c, b)$ using r .
2. Break the set N into two subsets N_1 and N_2 (using some rule, defined by the decision-maker).
3. Set the threshold values for each subset α ($i \in N_1$) і β ($j \in N_2 = N \setminus N_1$).
4. Using (8)-(9) find $(x_1, x_2, \dots, x_n; \lambda_0)$.
5. If λ_0 doesn't satisfy the decision-maker, then go to 3. Otherwise, stop the process.

Case of Fuzzy Costs

Let the cost value be a triangular fuzzy number $C = (c, \hat{c}, \bar{c})$. One of the approaches to the solution of this problem is dividing it in two subproblems – “optimistic” scenario (cost are low, i.e. $c \in [c, \hat{c}]$) and “pessimistic” scenario (costs are high, i.e. $c \in [\hat{c}, \bar{c}]$). For optimistic case [Voloshyn, Laver, 2015]

$$c_0 = \frac{\hat{c} \sum_{i=1}^n x_i^R - \underline{c} \sum_{i=1}^n x_i^L}{\sum_{i=1}^n x_i^R - \sum_{i=1}^n x_i^L + \hat{c} - \underline{c}}. \tag{10}$$

λ_0 and $x_k, \forall k \in N$ are computed using (8) and (9), taking into account that $c = c_0$.

Pessimistic case can be reduced to finding optimal distribution for $c_0 = \hat{c}$ with agents' shares membership functions computed for \bar{c} .

As a solution of the initial problem we take the distribution with higher rate of λ_0 .

Case of Fuzzy Initial Money Amounts

Let the agents' money amounts be a triangular fuzzy numbers $B_i = (\underline{b}_i, \hat{b}_i, \bar{b}_i), \forall i \in N$ [Voloshyn, Laver, 2015].

Denote

$$\begin{aligned} \hat{x}_i^L &= \min\{r(N, c, \underline{b}_i), r(N, c, \bar{b}_i)\}, \forall i \in N; \\ \hat{x}_i^C &= r(N, c, \hat{b}_i), \forall i \in N; \\ \hat{x}_i^R &= \max\{r(N, c, \underline{b}_i), r(N, c, \bar{b}_i)\}, \forall i \in N. \end{aligned}$$

Agents' shares can be approximately presented as triangular fuzzy numbers $\hat{X}_i = (\hat{x}_i^L, \hat{x}_i^C, \hat{x}_i^R)$. At the same time the desired shares are right-sided triangular fuzzy numbers $X_i = (\underline{x}_i, \hat{x}_i^C), \forall i \in N_1$, $X_i = (\hat{x}_i^C, \bar{x}_i), \forall i \in N_2$, where $\underline{x}_i = (1 - \alpha)\hat{x}_i^C$ i $\bar{x}_i = (1 + \beta)\hat{x}_i^C$.

Resulting membership function of agents' shares will be $\mu_i(\tilde{x}_i) = \min\{\mu_i(\hat{x}_i), \mu_i(x_i)\}, \forall i \in N_1$.

Taking into account the shape of corresponding membership functions, we obtain that $\tilde{X}_i = (\tilde{x}_i^L, \tilde{x}_i^C, \tilde{x}_i^R) = (\hat{x}_i^L, \tilde{x}_i^C, \hat{x}_i^C), \forall i \in N_1$. We can find \tilde{x}_i^C . In this point the following equality holds:

$$\frac{\hat{x}_i^C - \tilde{x}_i^C}{\hat{x}_i^C - \underline{x}_i} = \frac{\tilde{x}_i^C - \hat{x}_i^L}{\hat{x}_i^C - \hat{x}_i^L},$$

Thus,
$$\tilde{x}_i^C = \hat{x}_i^C \frac{\alpha \hat{x}_i^L + \hat{x}_i^C - \hat{x}_i^L}{\alpha \hat{x}_i^C + \hat{x}_i^C - \hat{x}_i^L}.$$

As the highest rate of λ is when \tilde{x}_i^C , put $x_i = \tilde{x}_i^C$ for $\forall i \in N_1$ and $\tilde{c} = c - \sum_{i \in N_1} x_i$.

Shares of the agents from second group are right-sided triangular fuzzy numbers $(\hat{x}_i^C, \hat{x}_i^C, x_i^{\max}), \forall i \in N_2$, where $x_i^{\max} = \max\{\hat{x}_i^R, \bar{x}_i\}$.

Denote $x_i^L = \hat{x}_i^C$ and $x_i^R = x_i^{\max}$. We obtain linear programming problem:

$$\lambda \rightarrow \max, \frac{x_i^R - x_i}{x_i^R - x_i^L} \geq \lambda, \forall i \in N_2, \sum_{i \in N_2} x_i = \tilde{c}, 0 \leq \lambda \leq 1.$$

The solution of this problem can be found using (8) (9).

Fully Fuzzy Case

Let the costs and initial money amounts be triangular fuzzy numbers $C = (\underline{c}, \hat{c}, \bar{c})$, $B_i = (\underline{b}_i, \hat{b}_i, \bar{b}_i), \forall i \in N$.

Agents' shares are triangular fuzzy numbers $\hat{X}_i = (\hat{x}_i^L, \hat{x}_i^C, \hat{x}_i^R)$ where \hat{x}_i^L are computed for cost equal to \underline{c} and initial money amounts \underline{b}_i (analogically we find \hat{x}_i^C and \hat{x}_i^R). When the shares for \underline{c} are bigger than the shares for \bar{c} , we take for \hat{x}_i^L the shares computed for \bar{c} , and for \hat{x}_i^R shares computed for \bar{c} .

Desired agents' money amounts are right-sided triangular fuzzy numbers $X_i = (\underline{x}_i, \underline{x}_i, \hat{x}_i^C), \forall i \in N_1$, $X_i = (\hat{x}_i^C, \hat{x}_i^C, \bar{x}_i), \forall i \in N_2$, where $\underline{x}_i = (1 - \alpha)\hat{x}_i^C$ i $\bar{x}_i = (1 + \beta)\hat{x}_i^C$. Resulting shares are found as in the previous case

As the highest level of λ is reached on \tilde{x}_i^C , put $x_i = \tilde{x}_i^C$ for $\forall i \in N_1$. Then

$$\tilde{C} = \left(\underline{c} - \sum_{i \in N_1} x_i; \hat{c} - \sum_{i \in N_1} x_i; \bar{c} - \sum_{i \in N_1} x_i \right).$$

For the agents from the second group the problem is reduced to the problem with the fuzzy costs and can be solved using the abovementioned techniques.

Fuzzy Rationing Methods and Inequality

Important question is "How to compare obtained distributions of resources?". One of the ways to do so is to use inequality measures (Gini, Theil, Atkinson e.t.c. [De Maio, 2007]) for corresponding vectors of shares. In this case the "better" distribution is one that has lower inequality rate [Voloshyn, Laver, 2015].

As the abovementioned methods are based on the redistribution of resources between agents, the following statement holds:

Theorem. Let us consider some rationing method $r(N, c, b)$ (with exception of uniform gains method) and its fuzzy generalization. Suppose that for corresponding shares vectors $x \in R^N$ and $x' \in R^N$ is true that $b_i - x_i \geq 1$ and $b_i - x'_i \geq 1$ for each $i \in N_2$. Then $I \geq I'$, where I is some inequality measure

(Gini, Theil, Atkinson), computed for agents' "free money" (which is left after the distribution) $(b_i - x_i)$ using r and I' - the corresponding inequality measure for $x' \in R^N$.

The proof of this theorem is given in [Voloshyn, Laver, 2015].

Generalizations, Based on the Use of Fuzzy Arithmetic

Other approach to generalization of rationing methods is based on the use of fuzzy arithmetic. In this approach, we use fuzzy analogs of arithmetic operations and for comparison of fuzzy numbers we use their expected values [Laver. 2015].

Let the agents' shares and cost value be trapezoidal fuzzy numbers $\tilde{b}_i = (b_i^{L_1}; b_i^{L_2}; b_i^{R_1}; b_i^{R_2})$, $\forall i \in N$, and $\tilde{c}_i = (c^{L_1}; c^{L_2}; c^{R_1}; c^{R_2})$. In this approach, the use of triangular fuzzy numbers and crisp numbers can be viewed as a particular case. For triangular fuzzy numbers we have $b_i^{L_2} = b_i^{R_1}$ or $c^{L_2} = c^{R_1}$, in the case of crisp numbers we have to deal with trapezoidal fuzzy numbers where all the four components are equal.

The easiest for computation in this type of generalization is the proportional method. We can get the corresponding formula for this case:

$$\tilde{x}_i = \left(\frac{b_i^{L_1}}{\sum_{i=1}^n b_i^{R_2}} c^{L_1}; \frac{b_i^{L_2}}{\sum_{i=1}^n b_i^{R_1}} c^{L_2}; \frac{b_i^{R_1}}{\sum_{i=1}^n b_i^{L_2}} c^{R_1}; \frac{b_i^{R_2}}{\sum_{i=1}^n b_i^{L_1}} c^{R_2} \right) \quad (11)$$

In the case of other rationing methods, we use the classical algorithms, using fuzzy arithmetic and using expected values of fuzzy numbers for comparison.

Let us consider an illustrative example.

There are five agents. We have to distribute $c=(29,30,31)$ among them. Agents' initial money amounts are $(3,4,5)$, $(11,12,13)$, $(19,20,21)$, $(23,24,25)$, $(29,30,31)$.

Consider the proportional method. As triangular fuzzy numbers are a particular case of trapezoidal fuzzy numbers, we can use (11). We get following shares: $(0,92;1,33;1,82)$; $(3,36;4,4,74)$; $(5,8;6,67; 7,66)$; $(7,02; 8; 9,12)$; $(8,85; 10; 11,31)$.

Consider the uniform losses method. If we divide the costs equally, the share of each agent will be $(5,8;6;6,2)$.

The expected value of this fuzzy number is $\frac{1}{4}(5,8+2 \cdot 6+6,2)=6$. Let us compare it with the expected value of the first agent's initial money amount: $\frac{1}{4}(3+2 \cdot 4+5)=4 < 6$. So, the first agents share will be his money amount, thus $(3;4;4,5)$.

We have to distribute $(29,30,30,31) - (3,4,4,5) = (26,26,26,26)$ cost units. This number has to be divided between four agents. The share of each agent will be $(6,5;6,5;6,5;6,5)$, which is equivalent to the crisp number 6,5 (which is the expected value of this fuzzy number). Expected value of the second agent is $\frac{1}{4}(11+2 \cdot 12+13) = 12 > 6,5$, so the second agent's share is $(6,5;6,5;6,5;6,5)$. As other agent's initial money amounts are also bigger (it's easy to check this by computing the expected values of these fuzzy numbers), the shares of all the remaining agents also will be equal to $(6,5;6,5;6,5;6,5)$. So we can present the shares as triangular fuzzy numbers $(3,4,5)$; $(6,5;6,5;6,5)$; $(6,5;6,5;6,5)$; $(6,5;6,5;6,5)$; $(6,5;6,5;6,5)$.

Consider the uniform gains method. Let us find $\frac{\sum_{i=1}^n \tilde{b}_i - \tilde{c}}{n}$ ("free money" amount of the maximal coalition). The result is trapezoidal fuzzy number $(10,8; 12; 12; 13,2)$. The expected value of this number is 12. As $12 > 4$ (the expected value of the first agent's initial money amount), the first agent's share will be $(0;0;0;0)$. So we have to find the shares of four more agents. Let us compute the amount of "free money" left:

$$\frac{\sum_{i=2}^5 \tilde{b}_i - \tilde{c}}{4} = (12,75; 14; 14; 15,25).$$

The expected value of this fuzzy number is $56/4 = 14$. As the expected value of the second agent's initial money amount is $12 < 14$, the second agent's share will also be $(0;0;0;0)$. Exclude the second agent from the distribution and compute the new value of "free money". We have:

$$\frac{\sum_{i=3}^5 \tilde{b}_i - \tilde{c}}{3} = (13\frac{1}{3}; 14\frac{2}{3}; 14\frac{2}{3}; 16).$$

The expected value of this fuzzy number will be $14\frac{2}{3}$. This is less than 20 (expected value of the third agent's money). So the third agent's share will be a fuzzy number

$$\tilde{b}_3 - \frac{\sum_{i=3}^5 \tilde{b}_i - \tilde{c}}{3} = (3; 5\frac{1}{3}; 5\frac{1}{3}; 6\frac{2}{3}).$$

There are $\tilde{c} - \tilde{x}_3 = (22\frac{1}{3}; 24\frac{2}{3}; 24\frac{2}{3}; 28)$ cost units left to distribute. As the expected values of the fourth and fifth agent's initial money amounts are also larger than $14\frac{2}{3}$, we can find their shares - $(7; 9\frac{1}{3}; 9\frac{1}{3}; 11\frac{2}{3})$ and $(13; 15\frac{1}{3}; 15\frac{1}{3}; 17\frac{2}{3})$. So the shares are $(0,0,0)$; $(0,0,0)$; $(3; 5\frac{1}{3}; 6\frac{2}{3})$; $(7; 9\frac{1}{3}; 11\frac{2}{3})$; $(13; 15\frac{1}{3}; 17\frac{2}{3})$. We can find the agents' shares using Talmudic, reverse Talmudic and Piniles' methods [Thomson, 2013]. As these methods are based on uniform gains and uniform losses methods, we can omit the calculations. Resulting shares are $(1,5,2,2,5)$; $(5,5,6,6,5)$; $(6,67,7,33,8)$; $(6,67,7,33,8)$;

(6.67,7.33,8) for Talmudic method, (0,0,0); (1.25,2.75,4.25); (5.25,6.75,8.25); (7.25,8.75,10.25); (10.25, 11.75,13.25) for reverse Talmudic method, (1.5,2,2.5); (5.5,6,6.5); (6.67,7.33,8); (6.67,7.33,8); (6.67,7.33,8) for Piniles' method.

New Approach to the Fuzzy Generalizations

The abovementioned generalizations allow to take into account the fuzziness of input data, but it is hard to build an axiomatic characterization for them. To avoid these difficulties, we propose to construct fuzzy generalizations using the arithmetic operations on fuzzy numbers proposed in [Gani, Assarudeen, 2012].

Consider the proportional method.

Let the agents' money amounts and the cost value be triangular fuzzy numbers: $B_i = (b_i^L; b_i^C; b_i^R)$, $C_i = (c_i^L; c_i^C; c_i^R)$. To find the agents' shares we will use operations of addition and multiplication of fuzzy numbers and generalized division operation.

Suppose that the following condition holds:

$$\left| \frac{(b_i^R c^R - b_i^L c^L) / 2}{(b_i^R c^R + b_i^L c^L) / 2} \right| \geq \frac{\left| \left(\frac{\sum_{i=1}^n b_i^R - \sum_{i=1}^n b_i^L}{2} \right) / 2}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n b_i^R + \sum_{i=1}^n b_i^L}{2} \right) / 2} \right|, \text{ thus } \frac{b_i^R c^R - b_i^L c^L}{b_i^R c^R + b_i^L c^L} \geq \frac{\sum_{i=1}^n b_i^R - \sum_{i=1}^n b_i^L}{\sum_{i=1}^n b_i^R + \sum_{i=1}^n b_i^L}, \forall i \in N. \quad (12)$$

Then we can use the division operation, proposed in [Gani, Assarudeen, 2012]:

$$PR_i = \left(\frac{b_i^L}{\sum_{i=1}^n b_i^L} c^L; \frac{b_i^C}{\sum_{i=1}^n b_i^C} c^C; \frac{b_i^R}{\sum_{i=1}^n b_i^R} c^R \right), \quad (13)$$

where PR_i - fuzzy share of i-th agent, found by using the proportional method.

Let us consider the numerical example.

There are three agents, their initial money amounts are triangular fuzzy numbers: (2,3,4), (4,5,6), (11,12,13). We have to distribute (9,10,11) cost units among them. To use (13) we have to check (12) on each step.

$$\text{As, } \sum_{i=1}^n B_i = (17; 20; 23), \text{ we have } \frac{\sum_{i=1}^n b_i^R - \sum_{i=1}^n b_i^L}{\sum_{i=1}^n b_i^R + \sum_{i=1}^n b_i^L} = \frac{23 - 17}{23 + 17} = \frac{6}{40} \approx 0,15.$$

$$\text{So: } \frac{b_1^R c^R - b_1^L c^L}{b_1^R c^R + b_1^L c^L} = \frac{4 \cdot 11 - 2 \cdot 9}{4 \cdot 11 + 2 \cdot 9} = \frac{26}{62} \approx 0,4194 > 0,15; \quad \frac{b_2^R c^R - b_2^L c^L}{b_2^R c^R + b_2^L c^L} = \frac{30}{102} \approx 0,2941 > 0,15;$$

$$\frac{b_3^R c^R - b_3^L c^L}{b_3^R c^R + b_3^L c^L} = \frac{44}{242} \approx 0,18 > 0,15$$

That means that we can find the shares using (13): $\left(\frac{18}{17}; 1.5; \frac{44}{23}\right); \left(\frac{36}{17}; 2.5; \frac{66}{23}\right); \left(\frac{99}{17}; 2.5; \frac{143}{23}\right)$.

The advantage of this approach is that finding the agents' shares in this case is reduced to finding the solution of three separate problems – left, central and right (for corresponding parts of triangular fuzzy numbers). So the characterization of the crisp proportional method can be used for its fuzzy generalization.

But we should check (12) on every step and this makes the use of this generalization rather difficult. On the other hand, this type of generalization gives us an opportunity to build the characterization of fuzzy rationing methods. Therefore, this type of generalization is worth of further research.

Conclusion

There are many ways of how we can obtain fuzzy generalizations of classical rationing methods. In this article we considered three of them. Every approach has its benefits and disadvantages. The first approach allows to lower the inequality between agents, but for this approach (as well as for the second one) it is difficult to build the characterization. For the third approach it is easy to build the characterization, but it can be used for a limited set of problems.

Acknowledgements

The paper is published with financial support by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA Bulgaria www.ithea.org, and the Association of Developers and Users of Intelligent Systems ADUIS Ukraine www.aduis.com.ua.

Bibliography

- [Aumann, Maschler, 1985] Aumann R. and Mashler M. Game theoretic analysis of a bankruptcy problem from the Talmud. - Journal of Economic Theory, 36, 1985, - P. 195-213.
- [De Maio, 2007] De Maio, Fernando G. Income inequality measures.- Journal of Epidemiology and Community Health. 61(10), 2007. P. 849-852.
- [Gani, Assarudeen, 2012] Gani A.N., Assarudeen S.N. A New Operation on Triangular Fuzzy Number for Solving Fuzzy Linear Programming Problem // Applied Mathematical Sciences, № 6(11), 2012. – P. 525-532.

- [Laver, 2015] Laver V. Fuzzy Generalizations of Classical Rationing Methods // Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series: Physics and Mathematics, № 3, 2015 – P. 94-99. (in Ukr.).
- [Moulin, 2001] Moulin, H. Axiomatic Cost and Surplus-Sharing // Working Papers 2001-06, Rice University, Department of Economics, 2001. – 152 p.
- [O'Neill, 1982] O'Neill B. A problem of rights arbitration from the Talmud. - Mathematical Sciences, 2, 1982. - pp. 345-371.
- [Simon, 1947] Simon, Herbert A. Administrative Behavior, a Study of Decision-Making Processes in Administrative Organization // New York: The Macmillan Co., 1947. – P. xvi-259.
- [Thomson, 2013] William Thomson. Axiomatic and game-theoretic analysis of bankruptcy and taxation problems: an update, Working Papers 578, University of Rochester, 2013. – P.157-182.
- [Voloshyn, Laver, 2013] Voloshyn O., Laver V. Generalization of Distributing Methods for Fuzzy Problems // "Information Theories & Applications", Vol. 20, Number 4, 2013. – P. 303-310.
- [Voloshyn, Laver, 2014] Voloshyn O., Laver V. Axiomatic Characterization of the Fuzzy Rationing Methods // Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series: Physics and Mathematics, № 1, 2014. – P. 128-132 (in Ukr.).
- [Voloshyn, Laver, 2015] Voloshyn O., Laver V. Fuzzy Generalizations of Rationing Methods in the Case When the Cost Value and Agents' Initial Money Amounts are Fuzzy Numbers // Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series: Physics and Mathematics, special issue, 2015 - P. 311-314. (in Ukr.).
- [Young, 1988] Young, H.P. Distributive justice in taxation. - Journ. of Econ.Theory, 1988, - P. 321-335.

Authors' Information



Olexii Voloshyn – professor, Taras Shevchenko National University of Kyiv, faculty of cybernetics; e-mail: olvoloshyn@ukr.net

Major fields of scientific interests: decision making, informational technologies, decision support systems, mathematical economics, fuzzy analysis, expert systems, e-learning



Vasyi Laver –assistant, Uzhhorod National University, faculty of mathematics; e-mail: v.laver@gmail.com

Major fields of scientific interests: fuzzy analysis, mathematical economics, decision making, informational technologies, e-learning

RECOGNITION OF OBJECTS ON OPTICAL IMAGES IN MEDICAL DIAGNOSTICS USING FUZZY NEURAL NETWORK NEFCLASS

Yuriy Zaychenko, Vira Huskova

Abstract: *In the article the application of fuzzy neural network NefClass with Gaussian and triangular membership functions to pattern recognition of objects on medical images obtained by colposcopy. The characteristics of each group of diseases of cervix uterus are analyzed. Using the values of features by the color model RGB the class of the input sample is determined. Received samples are processed using fuzzy neural network RBF and a class of sample is determined. A comparative analysis of the recognition results using the fuzzy network with obtained results of crisp RBF neural network is performed.*

Keywords: *medical images, pattern recognition, fuzzy neural network*

Introduction

An important application sphere of pattern recognition systems is the problem of classification of optical medical images and diagnostics in medicine. Especially it relates to state recognition of human organs tissue and early detection of possible cancer. One of such tasks is cervix epithelium state analysis and diagnostics using optical images obtained with colposcope (a method of survey of a mucous membrane of part of a neck of a uterus in the conditions of additional lighting and optical increase with the help of a colposcope) [1]. As a result of carrying out a colposcopy by the doctor the increased pictures of images with preliminary splitting into classes of diseases are provided. The problem of classification cervix epithelium state using images obtained with colposcope was considered in [1,2] where for its solution was suggested the application of crisp neural networks Back propagation, neural networks with radial basis functions (RBFNN) and cascade RBFNN and their efficiency investigated. The goal of this paper is the investigation of fuzzy neural network NEFClass for recognition of state of cervix epithelium in medical diagnostics and comparison of its efficiency with conventional RBF network.

Problem Statement

The problem of classification represents a problem of referring a sample to one of sets (classes). The medical problem in this case consists in classification of obtained medical images using special medical tools: computer tomography, magneto-resonance tomography, colposcope etc.

In medical images values of the color model RGB represent components of input vector and based on this information it's needed to define, which class it should be referred to. The classifier thus refers object to one of classes according to a certain splitting of N-dimensional space which is called as input space, and dimension of this space is a number of vector components.

Preparation of basic data. For creation of classes it is necessary to define, what parameters influence on classification results. Thus there can be such problems:

1. If the number of parameters isn't enough, there can be a situation when the same set of basic data corresponds to the examples which belong to different classes. Then it is impossible to train a neural network, and the system will not correctly work.
2. Basic data have to be surely consistent. For the solution of this problem it is necessary to increase dimension of features space (quantity of input vector components). But at increasing in dimension of feature space there can be a situation when the number of examples can become insufficient for training of a network, and instead of generalization, FNN simply remembers examples from the training selection and isn't able to operate correctly.

For the solution of cervix epithelium state analysis and diagnostics problem using optical images the NefClass network with Gaussian membership function was suggested.

Architecture and training algorithm of FNN Nefclass

The NEFClass model is used for definition of a class or category of the received input sample (so-called patterns). Patterns are feature vectors $X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R^n$ of a certain object, and a class is, respectively, some set *in* R^n . We assume that crossing of two different classes is empty. A feature of a pattern (sample) is represented by a fuzzy set, and classification is defined by a set of linguistic rules. For each input feature x_i there are q_i fuzzy sets described by membership functions (MF) $\mu_1^i, \dots, \mu_{q_i}^i$.

Also there is a rules base which contains k fuzzy linguistic rules, such as R_1, \dots, R_k . Fuzzy rules which describe data, have the following form [3]:

if x_1 is μ_1 and x_2 is μ_2 and ... and x_n is μ_n ,
then the sample (x_1, x_2, \dots, x_n) belongs to a class i ,

where μ_1, \dots, μ_n are fuzzy sets.

The main task of NEFClass is the definition of these rules, and also a type of membership functions for fuzzy sets.

The rules base represents function approximation (which it is unknown): $\phi(x): R^n \rightarrow \{0,1\}^m$ and describes a classification task, such that $c_i = 1, c_j = 0 (j = \overline{1, m}, \forall j \neq i)$, if x belongs to a class C_i , where $\phi(x) = (C_1, \dots, C_m)$. Fuzzy sets and linguistic rules which perform such approximation define resultant NEFClass system. The NEFClass system is presented in figure 1, which classifies input samples with two features and two separate classes, using five linguistic rules.

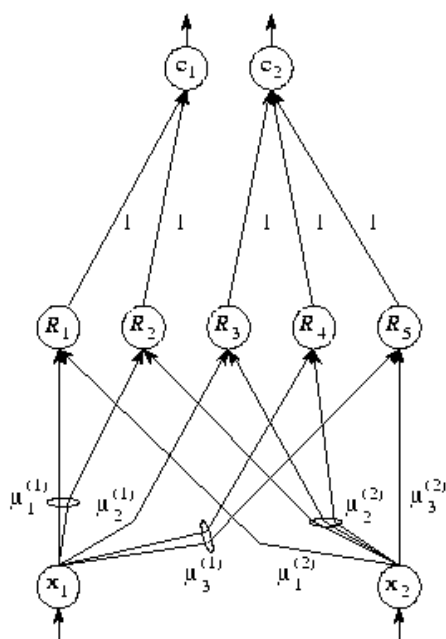


Figure 1. Architecture of FNN Nefclass

Apparently from Figure1 the NEFClass system has three-layer architecture. The first layer is a layer of input neurons which contain the input samples. Activation of neuron of this layer doesn't change input value. The hidden layer contains fuzzy rules, and the third layer consists of output neurons of each class.

Training algorithm of rules base. Let's consider NEFClass system with n input neurons x_2, \dots, x_1, x_n , $k \leq k_{max}$ rules neurons and m output neurons C_1, C_2, \dots, C_m . The training set of samples is $L = \{(p_1, t_1), \dots, (p_s, t_s)\}$, its each element consists of an output sample $p \in R^n$ and a desirable sample $t \in \{0,1\}^m$. The initial algorithm consists of two stages.

Generation of rules base. The purpose of the first stage is creation of k of rules neurons of NEFClass system. Stage steps are the following.

Choose a sample (pattern) (p, t) from L

For each input neuron of $x_i \in U_1$ find such membership function $\mu_{ji}^{(p)}$, which satisfies the following condition: $\mu_{ji}^{(p)} = \max_{j_i=\overline{1,q_i}}\{\mu_{j_i}(p_i)\}$, where $x_i = p_i$.

If the number of rule nodes k is less than k_{max} also and the node of the rule R , such that $W(x_1, R) = \mu_{j_1}, \dots, W(x_n, R) = \mu_{j_n}$, doesn't exist then create such node and connect it to the output node C_i , if $t_i = 1$.

If still there are not-processed samples in L and $k \leq k_{max}$, then go to step 1, otherwise stop.

Gradient algorithm of training fuzzy sets. At this stage training of membership functions of fuzzy sets is performed. The training algorithm with the teacher of NEFClass system has to adapt its fuzzy sets. Let the training criterion be:

$$e(W) = \sum_{i=1}^M (t_i - NET_i(W))^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

where t_i – desirable output value of a neural network;

$NET_i(W)$ is the actual value of the i -th output of a neural network for a weight matrix $W = [W^I, W^O]$. $W^I = W(x, R) = \mu_j(x)$, $W^O = W(R, C)$.

Criterion of $e(W)$ is an mean squared error of approximation .

Let function of activation for neurons of the hidden layer (neurons of rules) be

$$O_R = \prod_{i=1}^n \mu_{ji}^{(i)}(x_i), \quad j = 1, \dots, q_i,$$

where $\mu_{ji}^{(i)}$ – membership function which has the form:

$$\mu_{ji}^{(i)}(x) = e^{-\frac{(x-a_{ji})^2}{b_{ji}^2}}$$

and activation function of output neuron layer is:

$$NET_c = \max_{R \in U_2} W(R, C) O_R$$

Training of NEFClass system. The NEFClass system can be constructed on partial knowledge of samples. The user has to define quantity of initial fuzzy sets for each of object feature, and set value k_{max} - the maximum number of nodes rules which can be created in the hidden layer. Membership functions of Gauss and gradient algorithm of training of fuzzy sets are used for training.

Consider the gradient learning algorithm of FNN NEFClass [3].

Let $W(n)$ - be the current value of the weights matrix. The algorithm has the following form:

$$W(n+1) = W(n) - \gamma_{n+1} \nabla_w e(W(n)), \quad (2)$$

where γ_n - the step size at n -th iteration;

$\nabla_w e(W(n))$ - gradient (direction), which reduces the criterion (1).

1. At each iteration, we first train (adjust) the input weight W , which depend on the parameters a and b (see the expression 5.14)

$$a_{ji}(n+1) = a_{ji}(n) - \gamma_{n+1} \frac{\partial e(W)}{\partial a_{ji}}, \quad (3)$$

$$b_{ji}(n+1) = b_{ji}(n) - \gamma'_{n+1} \frac{\partial e(W)}{\partial b_{ji}}, \quad (4)$$

where γ'_{n+1} - step size for parameter b .

$$\frac{\partial e(W)}{\partial a_{ji}} = -2 \sum_{k=1}^M ((t_k - NET_k(w)) \cdot W(R, C)) \cdot O_R \cdot \frac{(x - a_{ji})}{b_{ji}^2}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial e(W)}{\partial b_{ji}} = -2 \sum_{k=1}^M ((t_k - NET_k(w)) \cdot W(R, C)) \cdot O_R \cdot \frac{(x - a_{ji})^2}{b_{ji}^3}. \quad (6)$$

2. We find (train) output weight:

$$\frac{\partial e(W^O)}{\partial W(R, C_k)} = -(t_k - NET_k(W^O)) \cdot O_R \quad (7)$$

$$W_k^O(n+1) = W_k^O(n) - \gamma_{n+1}'' \frac{\partial e(W^O)}{\partial W(R, C_k)}. \quad (8)$$

3. $n := n + 1$ and go to the next iteration.

Stages of recognition process and experimental investigations

Let's consider stages of recognition process.

1. *Work with data.* Construct a database of examples, characteristic for this task. Split all data set into two sets: training and test in the following ratio:
 - training 50%, test 50%;
 - training 60%, test 40%;
 - training 70%, test 30%;
 - training 80%, test 20%;
 - training 90%, test 10%;
2. *Preliminary processing.* Choose system of features, characteristic for this task, and transform data appropriately that is to be fed into network inputs. As a result it is desirable to receive linearly separated space of a set of samples. As input data for medical images of benign processes, are used namely:
 - inflammatory processes in the form of branching of vessels;
 - cervical erosion;
 - traumatic deformation;
 - large cervical ectropion.
 - small cervical ectropion.

Each of these diseases is presented by a number of features which is to be classified by a neural network and are shown in the figures 2-6.

3. *Designing, training and assessment* of a network work quality. At this stage the number of rules, quantity of fuzzy sets and percentage ratio of training and testing samples are determined.
4. *Choosing algorithm* of a network training. As a training algorithm the gradient method was used. At this stage it is necessary to specify the accuracy, the steps size for all variables and a number of iterations.
5. *Application and diagnosing.* At the last stage we receive result of application of the neural NefClass network to a problem of medical diagnostics. We observe splitting images into RGB to

the color scheme and a class to which the sample initially belonged. Also we obtain the result of recognition – a class to which the sample after training of a neural network belongs. The amount of misclassifications and an average error on sample are determined. Sample size is 70 elements.

6. The results of classification after training at training and test samples are presented in the table1.
- 7.

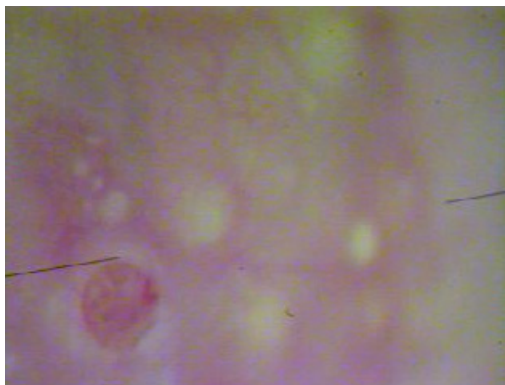


Figure 2. Inflammatory processes

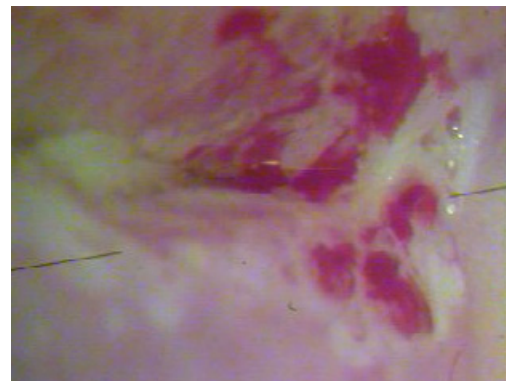


Figure 3. Cervical erosion

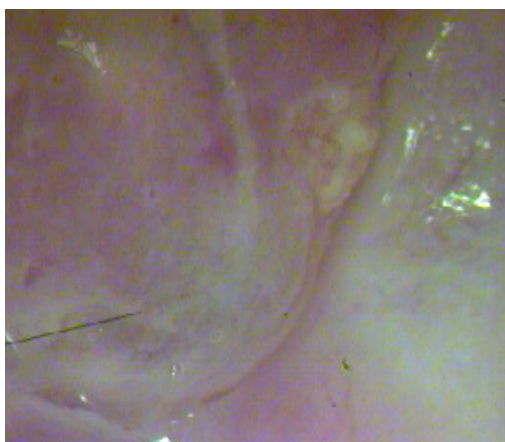


Figure 4. Traumatic deformation

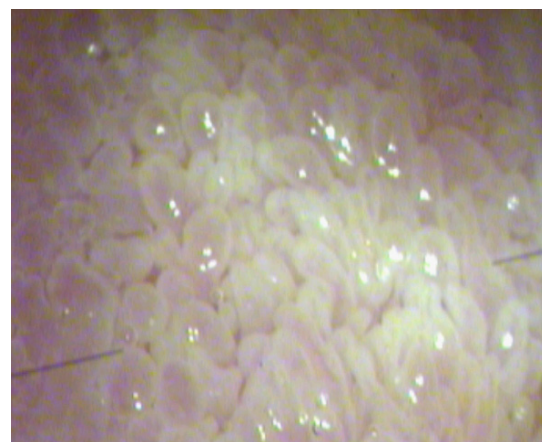


Figure 5. Large cervical ectropion



Figure 6. Small cervical ectropion

Table 1. Performance results of NEFClass.

# of sets	Number of patterns in training/ test samples	Ratio training/test sample %	misclassified patterns training	misclassified patterns testing	MSE training	MSE testing	% Misclassification
3	35-35	50-50	13	16	0,559	0,588	45.12%
	42-28	60-40	17	12	0,588	0,551	42.1%
	49-21	70-30	20	9	0,570	0,549	42.85%
	56-14	80-20	23	6	0,562	0,540	42.857%
	63-7	90-10	25	4	0,551	0,562	57.14%
6	35-35	50-50	2	9	0,1697	0,336	25.71%
	42-28	60-40	2	9	0,1699	0,330	32.14%
	49-21	70-30	3	6	0,167	0,306	28.57%
	56-14	80-20	2	2	0,1495	0,254	14.28%
	63-7	90-10	2	0	0,154	0,197	0%
7	35-35	50-50	2	9	0,116	0,314	25.71%
	42-28	60-40	4	8	0,118	0,341	28.57%
	49-21	70-30	3	8	0,108	0,407	38.09%
	56-14	80-20	3	3	0,109	0,335	21.42%
	63-7	90-10	2	2	0,127	0,263	28.5%
11	35-35	50-50	3	11	0,091	0,440	31.42%
	42-28	60-40	1	7	0,055	0,466	25%
	49-21	70-30	1	8	0,0434	0,550	38.09%
	56-14	80-20	2	4	0,054	0,377	28.57%
	63-7	90-10	1	1	0,064	0,221	14.28%

Figures 7, 8, 9 and 10 shows the dependence of ratio training/testing samples on the mean squared error and misclassification % (MAPE) for different number of fuzzy sets for each variable (feature) .

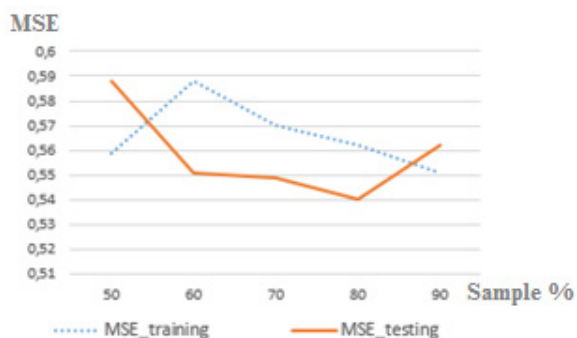


Figure 7. MSE for 3 sets

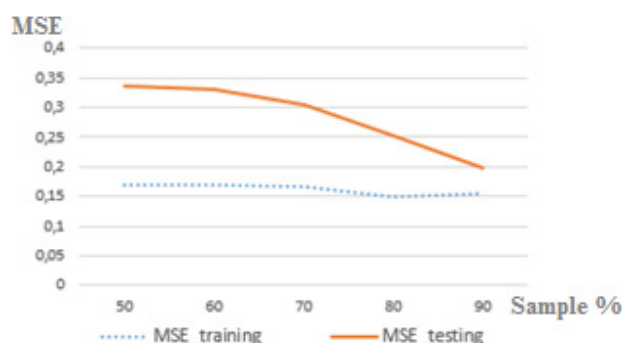


Figure 8. MSE for 6 sets

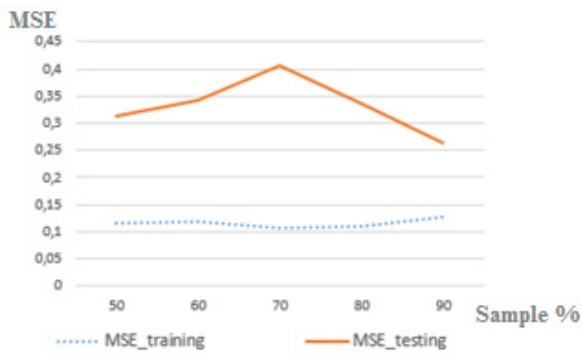


Figure 9. MSE for 7 sets

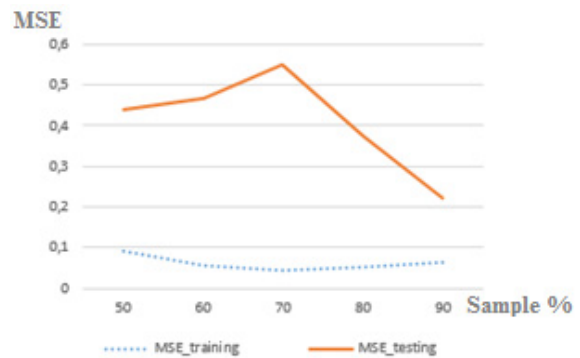


Figure 10. MSE for 11 sets

The next step in experiments was calculating of results change due to variation of the rules number. For each number of fuzzy sets (3, 6, 7, and 11) training/test sample ratio was used. It should be noted there is a number of rules, after which there is no change in the classification of samples and in the mean square error. The results are shown in Table 2.

Table 2. Results of the neural network with change of the rules number

	3	6			7			11		
rule	for all rules	7	15	50	7	12	50	7	15	50
Sample %	90-10	90-10	90-10	90-10	80-20	80-20	80-20	70-30	70-30	70-30
mismatch training	23	23	3	2	15	5	3	13	3	1
mismatch testing	4	3	0	0	7	6	3	14	9	8
MSE training	0,550	0,426	0,163	0,154	0,335	0,170	0,1090	0,363	0,1647	0,0434
MSE testing	0,536	0,344	0,214	0,197	0,492	0,442	0,335	0,664	0,556	0,550
% Misclassification	57.142%	42.85%	0%	0%	50%	42.85%	21.42%	66.6%	42.85%	38.09%

Figures 11, 12, 13 and 14 show the dependence of rules number on classification accuracy (%).

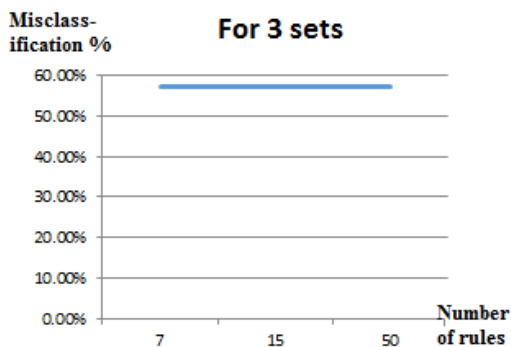


Figure 11. Misclassification for 3 sets

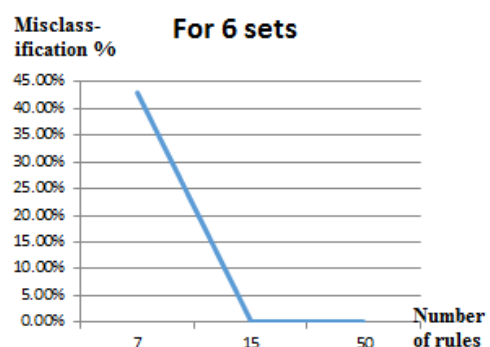


Figure 12. Misclassification for 6 sets

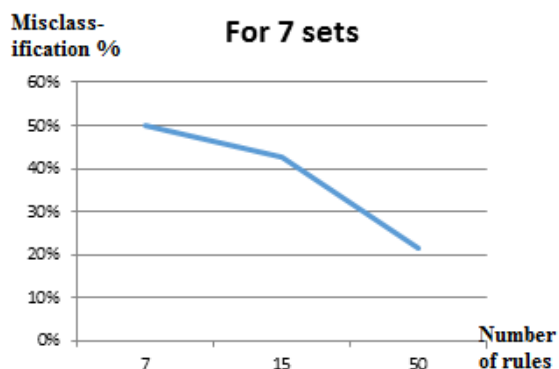


Figure 13. Misclassification for 7 sets

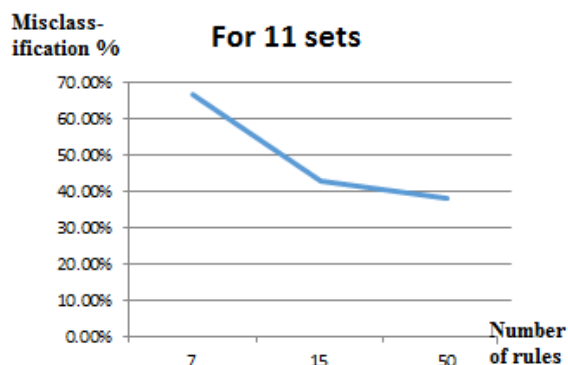


Figure 14. Misclassification for 11 sets

Compare the work of fuzzy neural network NefClass with the work of the neural network RBF. The results of RBF are shown in Table 3.

Table 3. Results of RBF network.

	50-50	60-40	70-30	80-20	90-10
number of coincidences	20	16	17	10	6
number of non coincidences	15	12	3	4	1
% Misclassification	42.9%	42.9%	19%	28.6%	14.3%

Figure 15 shows a comparison of misclassification error(%) of the fuzzy neural network NefClass with a non-fuzzy neural network RBF.

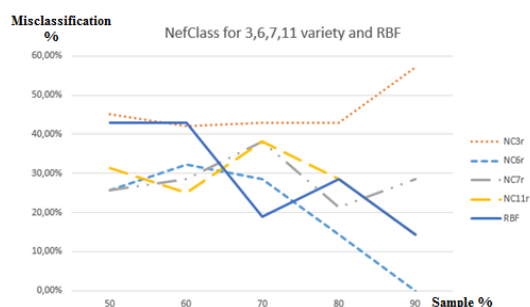


Figure 15. Comparison of NefClass with RBFN

Presented curves indicate that the fuzzy neural network NefClass shows the better results than non-fuzzy RBF network.

Conclusion

1. The problem of recognition of objects on medical images in medical diagnostics is considered. The investigations were performed on the cervix uterus images obtained using colposcope. 70 images were selected which contained 5 classifications of diseases .
2. Fuzzy neural network NefClass and non fuzzy neural network RBF were used for classification. Experiments were carried out on training / test samples in the ratios: 50/50, 60/40, 70/30, 80/20 and

90/10. In process of experiment with NefClass number of fuzzy sets varied 3, 6, 7 and 11, the number of rules – 50, for each sample the value of MSE (training and testing) was calculated. The best result was obtained for samples ratio 90-10, which in the case of 6 sets were correctly classified all the patterns, with 11 sets 6 patterns were correctly classified, 1 was classified incorrectly. The worst results were with 3 and 7 sets.

3. While changing the number of rules it was found that there exists an optimal number of rules after which the recognition error of the sample does not change, and the time spent on experiments, only grows.
4. The experiments with non-fuzzy RBF neural network had shown the best result was obtained for training/test sample ratio 90-10, with an error of classification 14.3%. The results of the fuzzy neural network proved to be much better than the RBFN. Additionally, for NefClass FNN it is possible to change the number of fuzzy sets and the number of rules

Bibliography

1. Малышевская Е.Н. Анализ использования нейронных сетей для диагностики рака шейки матки по мультиспектральному изображению / Е.Н. Малышевская // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2010. – №2 –С. 64-71
2. K. Malyshevska The analysis of neural networks' performance for medical image classification / K. Malyshevska // International Journal "Information Content and Processing", Volume 1, Number 2, 2014. – С.194-199.
3. М.З. Згуровский, Ю.П. Зайченко. Основы вычислительного интеллекта. _ Киев: Изд. Наукова Думка, 2013.- 406 стр.

Acknowledgement

The paper is published with financial support by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA (www.ithea.org) and the Association of Developers and Users of Intelligent Systems ADUIS Ukraine (www.aduis.com.ua)

Authors' Information



Yuri Zaychenko – Professor, doctor of technical sciences, Institute for applied system analysis, NTUU “KPI”, 03056, Ukraine, Kyiv, Peremogi pr. 37, Corpus 35; e-mail: baskervil@voliacable.com

Major Fields of Scientific Research: Information systems, Fuzzy logic, Decision making theory



Vira Huskova – student, Institute for applied system analysis, NTUU “KPI”, 03056, Ukraine, Kyiv, Peremogi pr. 37, Corpus 35; e-mail: guskovavera2009@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: Neural networks, forecasting

STATISTICAL STEGANALYSIS OF MULTISTAGE EMBEDDING METHODS

Dmytro Progonov

Abstract: *The paper is devoted to comparative analysis of performance the modern methods of statistical steganalysis in case of message hiding in digital images with usage of multidomain and multistage embedding methods. It is considered the case of applying of statistical models of cover images in spatial (SPAM model) and frequency (CC-PEV model) domains, as well as universal CDF model for revealing the stego image with messages, embedded with usage of standard (Discrete Cosine and Wavelet Transforms) and special (Singular Value Decomposition) transforms of cover images and stegodata. It is shown that applying of modern methods of statistical steganalysis allows reliably revealing stego images, formed according to multistage embedding methods. Usage special transforms of cover images, for instance Singular Value Decomposition, allows significantly decrease the performance of statistical steganalysis, which requires development of new statistical models of cover images for steganogram detection.*

Keywords: *statistical steganalysis, multidomain embedding methods, multistage embedding methods, digital images.*

ACM Classification Keywords: *D.4 Operating Systems – Security and protection – Information flow controls.*

Introduction

Today the businesses as well as governments are widely using the information warfare methods and cyber weapons for achieving the competitive advantages in economic, political and military spheres. In most cases the cyber weapons are used for gaining the remote control and/or destruction of adversary's critical infrastructure (ACI) – assets that are essential for functioning of a society and economics, e.g. water supply, electricity generation, transportation systems, public health.

Successful attack on ACI requires usage of protected communication channels, created with applying of cryptographic algorithms, for data transmission between intelligence agencies, spies and bot-nets of infected computers. Due to juristic limitations on usage the cryptographic methods for creation the private protected channels in most countries, it is widely used the specialized communication systems, based on applying of steganographic methods. Peculiarity of steganography-based communication systems (SCS) is embedding of communicational channel into the existed information flows in telecommunication systems (TCS), such as e-mail services, social networks, chats etc. It allows

breaking the existed systems of traffic control like firewalls, deep packet inspection systems etc. Therefore, creation of methods for reliably revealing and destruction of embedded messages (steganograms) is crucial and unresolved issue of the day.

As cover files for message hiding in SCS there can be used the various types of digital data – for instance texts, multimedia data, and service attributes of files etc. Applying of specified types of cover files is highly depends on prescribed requirements of robustness the obtained steganograms to known methods of passive and active analysis, as well as channel capacity (volume of data embedded per each cover file) [Fridrich, 2010]. For obtaining the trade-off between mentioned requirements, in most cases message hiding is provided into multimedia files, especially digital images (DI).

Existed methods of message hiding in DI can be divided into four groups [Katzenbeisser, 2000] [Fridrich, 2010] – via mimicking natural processing of digital images (e.g. stochastic modulation of pixel's brightness, dither quantizers of pixel's brightness), steganalysis-aware methods (for instance, HUGO algorithm, UNIWARD methods), message hiding embedding in spatial domain (LSB-methods) and transformation domain (TD). Considerable disadvantage of practical usage of first three types of steganographic methods is relatively high "sensitivity" to any alteration of steganogram during its storing, processing and transmission in TCS. As a consequence, significant amount of modern SCS is based on stegodata embedding in TD, which gives opportunity to achieve the trade-off between robustness of obtained steganograms to known methods of passive as well as active steganalysis.

For revealing the stego images, formed according to mentioned methods there were developed great amount of passive steganalysis methods. Proposed methods can be divided into three groups – signature [Gribunin, 2002] [Agranovskyi, 2009], statistical [Fridrich, 2010] [Katzenbeisser, 2000] and structural [Progonov, 2014] [Progonov, 2015a] steganalysis. Signature steganalysis is widely used for preliminary investigation of digital images and based on revealing the stego images by detection the distinctive changes (signatures) of cover image attributes or parameters, for instance service attributes, parameters of used graphical format etc. Methods of structural steganalysis are based on usage of methods for hierarchical statistical modeling and multifractal analysis for revealing the alteration the correlation and fractal parameters of digital images, caused by message hiding.

One of the most widespread approaches for revealing the stego images is statistical steganalysis (SS). Methods of SS is based on creation the statistical models (SM) of covers with usage of peculiarities of digital images, for instance significant correlation of brightness the adjacent pixels. Known methods of statistical steganalysis allows revealing with high accuracy the the stego images in case of message hiding in spatial or frequency domain (for instance with usage of two-dimensional discrete cosine or wavelet transforms).

For increase the robustness of stego images to known methods of statistical steganalysis there are proposed to use the special transforms (e.g. Singular Vector Decomposition, SVD) or composition of several transforms the cover images and stegodata (multistage methods) for message hiding. Creation of effective methods for revealing the mentioned steganographic methods requires analysis of

performance the known statistical models. Obtained results of investigation the performance of modern methods of SS in case of forming the stego images with usage of multidomain and multistage methods will be used for creation the improved SM.

Related Works

Known statistical models of digital images can be divided into two groups – simple and rich models. Simple models allow investigating only separate parameters of digital images such as histogram (chi-square test, Pairs-of-Value analysis), co-occurrence matrix of pixel's brightness (Sample-Pairs analysis) or changes the parameters of distribution the pixel's brightness, caused by applying the calibration function to the images (Regular-and-Singular analysis). Simple SM gives opportunity to detect with high accuracy only the known LSB-methods (± 1 embedding) or JPEG-based embedding methods (JSteg, F5, OutGuess algorithms) [Fridrich, 2010]. For overcome the mentioned limitation it was proposed to use the rich SM (RSM), obtained by consolidation of several simple statistical models [Fridrich, 2012]. RSM allow noticeably increasing the accuracy of stego image detection in most complicated cases – with usage of modern adaptive steganographic methods, such as HUGO algorithm [Pevny, 2010b], UNIWARD algorithm's families [Holub, 2013a], Synch algorithms [Denemark, 2015] etc.

Creation of effective methods for revealing the stego images with data, embedded in spatial (LSB-methods) or frequency (JPEG-based steganography) domains of cover images, requires development of corresponding RSM only for mentioned domains. It is complicated task, required the deep analysis of modern methods the DI analysis, such as wavelet transform with anisotropic basis functions (e.g. ridgelets, curvelets, bandlets), sparse and redundant dictionaries. For provide the high accuracy of stego image detection regardless of embedding domain there were proposed the universal RSM, based on consolidation of known statistical models of DI in spatial as well as frequency domains.

Development of new methods for message hiding in several domains (multidomain methods [Progonov, 2015b]) and multistage methods, based on composition of several transforms the cover image and stegodata, significantly complicates the detection of formed stego images. Unfortunately in the literature there is no information about the performance of modern statistical stegodetector in case of message hiding in several domains according to multistage methods. Therefore it is represented the interest investigation of performance the modern RSM for detection the stego images, formed with usage of special transforms of cover image, and multistage methods.

The Goal and Contribution

The goal of paper is comparative analysis of accuracy the stego images detection, in case of stegodata embedding in transformation domain of digital images according to multidomain and multistage methods, with usage of modern methods of statistical steganalysis.

Modern Methods of Data Embedding in Transformation Domain of Digital Images

One of the well-known methods for message hiding in transformation domains of digital images are one-stage methods of Dey [Dey, 2011] and Agarwal [Agarwal, 2008], multistage embedding methods of Joseph [Joseph, 2013] and Khan [Khan, 2013], as well as complex methods of Elahian [Elahian, 2011] and Gunjal [Gunjal, 2011]. High robustness of stego images, formed according to one-stage methods, to active steganalysis (e.g. image filtering, lossy compression) is provided by applying to cover image and stegodata, represented as \mathbf{D} , the two-dimensional discrete wavelet transform (DWT) and SVD. Usage of several stage of cover image processing according to multistage methods allows achieving the trade-off between robustness of formed stego images to passive steganalysis and influence of sporadic (channel noise) or intentional (active steganalysis) changes by their storage, processing and transmissions in TCS. Peculiarity of complex embedding methods is presence of preliminary stage of cover image (for instance, change the color system) and embedding messages (e.g. encoding) processing for increasing the robustness of formed stego images to passive steganalysis.

Forming of stego images according to mentioned steganographic methods is provided by weighted summation of coefficients the cover image $W(\mathbf{I})$ and stegodata $W(\mathbf{D})$, represented as \mathbf{D} , decomposition in fixed basis of transformation $W(\cdot)$:

$$W(\mathbf{S}) = W(\mathbf{I}) + G \times W(\mathbf{D}),$$

where $W(\mathbf{S})$ – coefficients of formed stego image, G – weighted coefficients, which is depends on energy the hidden message. Processing of separate color channel the cover image and stegodata is provided with usage of standard and special transforms – two-dimensional discrete cosine [Oppenheim, 2010] [Gonzalez, 2008] and wavelet [Gonzalez, 2008] transforms (2D-DCT and 2D-DWT), singular value decomposition [Murphy, 2012].

For obtaining the stego image in spatial domain, it is applied the inverse transform to obtained coefficients $W^{-1}(W(\mathbf{S}))$. Extraction of embedded message is provided according to further formula:

$$W(\mathbf{D}) = (W(\mathbf{S}) - W(\mathbf{I})) / G.$$

For achieving the trade-off between robustness of hidden message to passive ($G \rightarrow G_{\min}$) and active ($G \rightarrow G_{\max}$) steganalysis there were determined the range of values the weighted coefficient G . Values of G were changed from G_{\min} (lower bound of stegodata reconstruction on receiver's side the SCS) to G_{\max} (appearance the visual distortion of cover image by message hiding) with step Δ_G .

Shaping of stego images $\mathbf{S}_{M \times N}$ according to Agarwal methods is provided by applying the SVD to cover image $\mathbf{I}_{M \times N}$ and stegodata $\mathbf{D}_{M \times N}$, represented as grayscale images with resolution $M \times N$ pixels [Agarwal, 2008]:

$$\mathbf{I}_{M \times N} = \mathbf{U}_{M \times M}(\mathbf{I}) \times \mathbf{Q}_{M \times N}(\mathbf{I}) \times \mathbf{V}_{N \times N}^T(\mathbf{I}),$$

$$\mathbf{D}_{M \times N} = \mathbf{U}_{M \times M}(\mathbf{D}) \times \mathbf{Q}_{M \times N}(\mathbf{D}) \times \mathbf{V}_{N \times N}^T(\mathbf{D}),$$

$$\mathbf{V}(\mathbf{S}) = \mathbf{V}(\mathbf{I}) + \mathbf{G} \times \mathbf{V}(\mathbf{D}),$$

where $\mathbf{U}_{M \times M}(\mathbf{I}), \mathbf{V}_{N \times N}(\mathbf{I})$ – correspondingly, matrices of left-singular and right-singular vectors of matrix $\mathbf{I} \times \mathbf{I}^T$ ($\mathbf{I}^T \times \mathbf{I}$); $\mathbf{Q}_{M \times N}(\mathbf{I}) = \mathbf{E}_{M \times N} \times \mathbf{\Lambda}(\mathbf{I})$ – diagonal matrix of singular values; $\mathbf{E}_{M \times N}$ – unit matrix; $\mathbf{\Lambda}(\mathbf{I}) = \{\sqrt{\lambda_1}, \sqrt{\lambda_2}, \dots, \sqrt{\lambda_K}\}$ – vector of singular values; $K = \min(M, N)$ – number of singular values.

Simultaneously change of matrices $\mathbf{U}_{M \times M}(\mathbf{I})$ and $\mathbf{V}_{N \times N}(\mathbf{I})$ – shifts of rows $\mathbf{u}_{i \times M}(\mathbf{I}), i \in [1; M]$ and columns $\mathbf{v}_{N \times j}(\mathbf{I}), j \in [1; N]$ on Δ_x positions – does not change the stego image [Bolshakov, 2007], which leads to –ambiguity by message extraction at the receiver side of SCS. For solve the mentioned problem it is proposed to use the singular values of cover image for message hiding:

$$\mathbf{\Lambda}_{K \times 1}(\mathbf{S}) = \mathbf{\Lambda}_{K \times 1}(\mathbf{I}) + \mathbf{G} \times \mathbf{\Lambda}_{K \times 1}(\mathbf{D}), \mathbf{\Lambda}_{K \times 1}(\mathbf{D}) = (\mathbf{\Lambda}_{K \times 1}(\mathbf{S}) - \mathbf{\Lambda}_{K \times 1}(\mathbf{I})) / \mathbf{G}.$$

For minimization the color alteration by message hiding according to complex methods of Elahian [Elahian, 2011] and Gunjal [Gunjal, 2011] it is provided the changes of color system the cover image (from RGB to YCbCr or YIQ) as well as stegodata (from RGB to Grayscale). Stegodata are embedded into Y (luma) component (Elahian method) or I (chroma) component (Gunjal method) of cover image. Changes of color system for cover image an stegodata are provided according to standard formulae [Gonzalez, 2008] [Gunjal, 2011].

Also, for increasing of robustness the formed stego images to passive steganalysis it is applied the Arnold mapping (AM) to the embedding messages $\mathbf{D}_{M_D \times N_D}$, represented as grayscale image with resolution $M_D \times N_D$ ($M_D = N_D$) [Elahian, 2011]:

$$\begin{pmatrix} x_{i+1} \\ y_{i+1} \end{pmatrix} = \text{mod} \left(\mathbf{R}_{2 \times 2} \times \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix}, M_D \right), \mathbf{R}_{2 \times 2} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix},$$

where x, y – correspondingly, position of elements the \mathbf{D} (number of row/column); $\text{mod}(a, b)$ – modulo operation; i – current iteration of Arnold mapping. It should be mentioned that period of AM – number of iteration after which the initial view of stegodata is recovered – significantly depends on stegodata size, which complicates the further passive steganalysis of formed stego images.

Stages of processing the cover image and stegodata according to one-stage, multistage and complex methods are represented in Table 1.

Table 1. Stage of cover image and stegodata processing according to one-stage, multistage and complex steganographic methods

		Embedding method					
		Dey	Agarwal	Joseph	Khan	Elahian	Gunjal
Color system change	Cover	RGB → RGB				RGB→YCbCr	RGB→YIQ
	Stegodata	RGB → RGB				RGB → Grayscale	
Stage of cover processing	First	2D-DWT	SVD	2D-DWT	2D-DWT	2D-DWT	2D-DWT
	Second	–	–	SVD	2D-DCT	–	2D-DCT
	Third	–	–	–	SVD	–	–
Stage of stegodata processing	First	2D-DWT	SVD	SVD	SVD	AM	AM
	Second	–	–	–	–	2D-DWT	–
Weighted coefficient G	G_{max}	0.02	0.02	0.10	0.50	1.00	5.00
	G_{min}	0.08	0.08	2.00	4.00	12.00	14.00
	Δ_G	0.02	0.02	1.00	1.00	3.00	3.00

Statistical Steganalysis of Digital Images

Rich statistical models (RSM) can be divided into three groups, depending on domain where digital images are modelling – in spatial (SPAM [Pevny, 2010a], SRM [Fridrich, 2012], PSRM [Holub, 2013b] models) or frequency (CC-PEV [Pevny, 2007], CC-JRM [Kodovský, 2012b] models) domains, as well universal models (CDF [Kodovsky, 2010], J+SRM [Kodovský, 2012b] models), obtained by consolidation of SM the digital images in spatial and frequency domains. In the article we investigated the performance of well-known RSM the digital images in spatial (SPAM model) and frequency (CC-PEV model) domain as well as universal (CDF model) statistical models.

Subtractive Pixel Adjacency Matrix (SPAM) model of digital images is based on modeling the differences between brightness of adjacent pixels with usage of Markov chains. Estimation of parameters the Markov chains for horizontally adjacent pixels the grayscale image $I_{x,y}$ with resolution $M \times N$ pixels is provided with usage of co-occurrences matrices $C_{x,y}$ [Pevny, 2010a]:

$$C^{\rightarrow}(u, v) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N-1} \left([D_{i,j}^{\rightarrow} = u]_I \times [D_{i,j+1}^{\rightarrow} = v]_I \right),$$

$$C^{\rightarrow}(u, v, w) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N-2} \left([D_{i,j}^{\rightarrow} = u]_I \times [D_{i,j+1}^{\rightarrow} = v]_I \times [D_{i,j+2}^{\rightarrow} = w]_I \right),$$

where

$$D_{i,j}^{\rightarrow} = I_{i,j} - I_{i,j+1}, i \in [1; M], j \in [1; N - 1],$$

is differences arrays; $[\cdot]_I$ – Iverson bracket; u, v, w ($u, v, w \in [-T; T]$) – values of Markov chain elements (differences of brightness the adjacency pixels); T – threshold value, which is used for achieving the trade-off between the accuracy of modeling the differences between brightness of adjacent pixels and number of SPAM model parameters.

Transition probability matrices for Markov chains first ($\mathbf{M}_{u,v}$) and second ($\mathbf{M}_{u,v,w}$) orders are calculated according to further formulae:

$$\mathbf{M}_{u,v}^k = \frac{C^k(u, v)}{\sum_{u=(-T)}^T \sum_{v=(-T)}^T C^k(u, v)}, k \in \{\rightarrow, \leftarrow, \uparrow, \downarrow, \searrow, \swarrow, \nearrow, \nwarrow\},$$

$$\mathbf{M}_{u,v,w}^k = \frac{C^k(u, v, w)}{\sum_{u=(-T)}^T \sum_{v=(-T)}^T \sum_{w=(-T)}^T C^k(u, v, w)}, k \in \{\rightarrow, \leftarrow, \uparrow, \downarrow, \searrow, \swarrow, \nearrow, \nwarrow\}.$$

As parameters of SPAM model is used the averaged transition probability matrices for Markov chains 1st (\mathbf{F}') and 2nd (\mathbf{F}'') orders:

$$\mathbf{F}' = \left(\mathbf{M}_{u,v}^{\rightarrow} + \mathbf{M}_{u,v}^{\leftarrow} + \mathbf{M}_{u,v}^{\uparrow} + \mathbf{M}_{u,v}^{\downarrow} + \mathbf{M}_{u,v}^{\searrow} + \mathbf{M}_{u,v}^{\swarrow} + \mathbf{M}_{u,v}^{\nearrow} + \mathbf{M}_{u,v}^{\nwarrow} \right) / 8,$$

$$\mathbf{F}'' = \left(\mathbf{M}_{u,v,w}^{\rightarrow} + \mathbf{M}_{u,v,w}^{\leftarrow} + \mathbf{M}_{u,v,w}^{\uparrow} + \mathbf{M}_{u,v,w}^{\downarrow} + \mathbf{M}_{u,v,w}^{\searrow} + \mathbf{M}_{u,v,w}^{\swarrow} + \mathbf{M}_{u,v,w}^{\nearrow} + \mathbf{M}_{u,v,w}^{\nwarrow} \right) / 8.$$

According to recommendation [Pevny, 2010a] threshold value was chosen equal to $T = 3$. Total amount of SPAM model parameters in such case is equal to $d_{SPAM} = 686$.

The CC-PEV model was proposed for reliably detection of stego images with message, hidden in frequency domain according to JPEG-based embedding methods [Pevny, 2007]. Peculiarity of CC-PEV model is preliminary stage of digital image calibration, used for suppress the distortion of successive JPEG-compression with different quality factor (quantization tables). Calibration of DI is provided by its decompression in spatial domain, cropping to four rows/columns and further JPEG-compression with initial JPEG Quality Factor (JQF).

At the second stage, initial $\mathbf{I}_{x,y}$ and calibrated $\mathbf{I}_{x,y}^C$ images are divided into n_l non-overlapping blocks with size 8×8 pixels. Then to each block the two-dimensional discrete cosine transform (DCT) is applied. At the third stage, further correlation parameters for obtained coefficients the discrete cosine transform inter and intra blocks $d_{ij}(k), k \in [1; n_l]$ [Pevny, 2007] are calculated:

1. Histogram \mathbf{H} of all $64 \times n_l$ luminance DCT coefficients;

2. Histograms \mathbf{h}^j of coefficients of 5 individual DCT modes $(i, j) \in \{(1, 2), (2, 1), (3, 1), (1, 3), (2, 2)\}$;

3. Dual histograms \mathbf{g}_{ij}^d :

$$\mathbf{g}_{ij}^d = \sum_{k=1}^{n_i} \delta(d, d_{ij}(k)),$$

where $\delta(\cdot, \cdot)$ – Kroneker delta;

4. Functionals V , captured inter-block dependency among DCT coefficients;

5. Blockiness functional B_α , which is calculated from the decompressed JPEG-image and represented an integral measure of inter-block dependency over all DCT modes over the whole image;

6. Co-occurrence matrix \mathbf{N} of neighboring DCT coefficients;

7. Averaged transition probability matrices \mathbf{M} of Markov chain first order, which are used for modeling the differences between adjacency pixels in horizontal, vertical and diagonal directions.

The parameters of CC-PEV models are obtained by calculating the differences of mentioned parameters for initial and calibrated images. Total number of CC-PEV model's parameters is equal to $d_{CC-PEV} = 548$.

The universal statistical model CDF was proposed in [Kodovský, 2010] by consolidation of SPAM and CC-PEV model for detecting the stego images in case of stegodata embedding in spatial as well as frequency domains. Total number of CDF model's parameters is equal to $d_{CDF} = 1234$.

Results

For analysis the accuracy of stego image detection there were trained and tested the stegdetectors (SD), based on usage the statistical models of digital images in spatial (SPAM model, SD_{SPAM}) and frequency (CC-PEV model, SD_{CC-PEV}) domains as well as universal CDF model (SD_{CDF}). Due to great number of parameters for used RSM – $d_{SPAM} = 686$, $d_{CC-PEV} = 548$, $d_{CDF} = 1234$ – as stegdetector it was used the ensemble of Fisher's Linear Discriminants (FLD) [Kodovský, 2012a]. Separate FLD was tuned for minimization of total detection error P_E on training subset the test packet:

$$P_E = \min_{P_{FA}} \frac{1}{2} [P_{FA} + P_{MD}(P_{FA})],$$

where P_{FA}, P_{MD} denote, correspondingly, the probabilities of false alarm and missed detection. Assessments of P_{FA} and P_{MD} were provided according to bootstrap estimation algorithm by training each base classifier B_l on pseudo random selected subset of training set [Kodovský, 2012a]:

$$\mathbf{X}_l = \left\{ \mathbf{x}_m^{(D_l)}, \bar{\mathbf{x}}_m^{(D_l)} \right\}_{m \in \mathfrak{N}_l^p},$$

where x_m, \bar{x}_m – training samples of cover and stego images respectively; $D_l, l \in \{1, 2, \dots, d_{FLD}\}$ – pseudo randomly selected subset of features from general feature space with dimensionality d_{ALL} ($d_{FLD} \ll d_{ALL}$); \mathfrak{M}_l^b – bootstrap sample from set $\{1, 2, \dots, N^{tm}\}$; N^{tm} – amount of test cover images at training stage.

The total detection error P_E (out-of-bag (OOB) error) for SD after training phase was computed according to formula:

$$P_{E-OOB}^{(n)} = \frac{1}{2N^{tm}} \sum_{m=1}^{N^{tm}} [B^{(n)}(x_m) + 1 - B^{(n)}(\bar{x}_m)].$$

Analysis of accuracy the stego image detection by usage of statistical stegdetectors was provided for two cases – with utilization of all or separate stegodata at the training/testing stage, as well as usage of true color or grayscale (separate color channels) the test digital images. As indices for analysis the accuracy the stego image detection there were used the standard metrics from ROC-analysis [Murphy, 2012] [Mathews, 1975] – Area-Under-ROC curve (AUC), Sensitivity, Specificity, Matthews Correlation Coefficient. Estimation of mean value and variance of the OOB-error P_E and mentioned metrics was provided by repeating the training and testing stage 10 times.

Investigation of accuracy the steganogram detection by usage of modern RSM was provided on standard image database MIRFlickr-25k [Huiskes, 2008]. For training and testing of stegodetector were used the subset of 9,000 pseudo randomly selected and scaled DI from packet. Cardinalities of training and testing set of digital images were equal to 4,500 images. As stegodata were used three DI – engine’s draft, map and portrait. Characteristics of the stegodata are represented in Table 2:

Cover image payload – fraction of changed coefficients of cover image $W(\mathbf{I})$ relatively whole number of coefficients –was changed from 5% to 25% with step 5% and from 25% to 95% with step 10%. Weighted coefficient G , for each investigated embedding method, was changed from G_{min} up to G_{max} with step Δ_G (Table 1).

Table 2. Characteristics of used test digital images and stegodata

Characteristics	Cover image	Stegodata		
		Engine’s draft	Map	Portrait
Resolution, pixels	512 × 512	567 × 463	800 × 800	565 × 850
Color system	RGB			
Format	JPEG, TrueColor	BMP		

At the Figure 1-3 it is represented the dependency of AUC metrics on cover image payloads by variation the weighted coefficients G for statistical stegdetector SD_{SPAM} , SD_{CC-PEV} and SD_{CDF} .

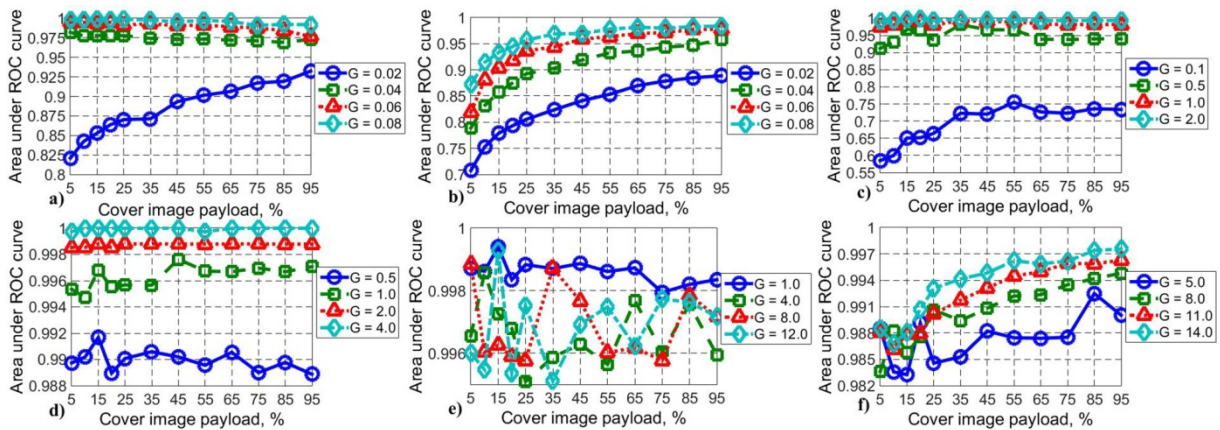


Figure 1. Dependency of AUC metrics on cover image payloads by variation the weighted coefficients G for statistical stegdetector SD_{SPAM} . Message was embedded according to: (a) – Dey method; (b) – Agarwal method; (c) – Joseph method; (d) – Khan method; (e) – Elahian method; (f) – Gunjal method.

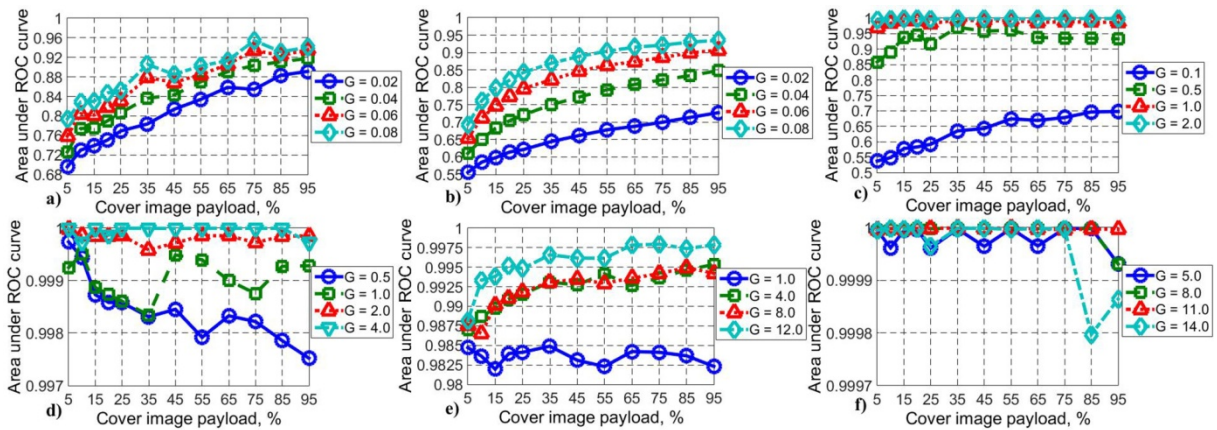


Figure 2. Dependency of AUC metrics on cover image payloads by variation the weighted coefficients G for statistical stegdetector SD_{CC-PEV} (JPEG Quality Factor – 100). Message was embedded according to: (a) – Dey method; (b) – Agarwal method; (c) – Joseph method; (d) – Khan method; (e) – Elahian method; (f) – Gunjal method.

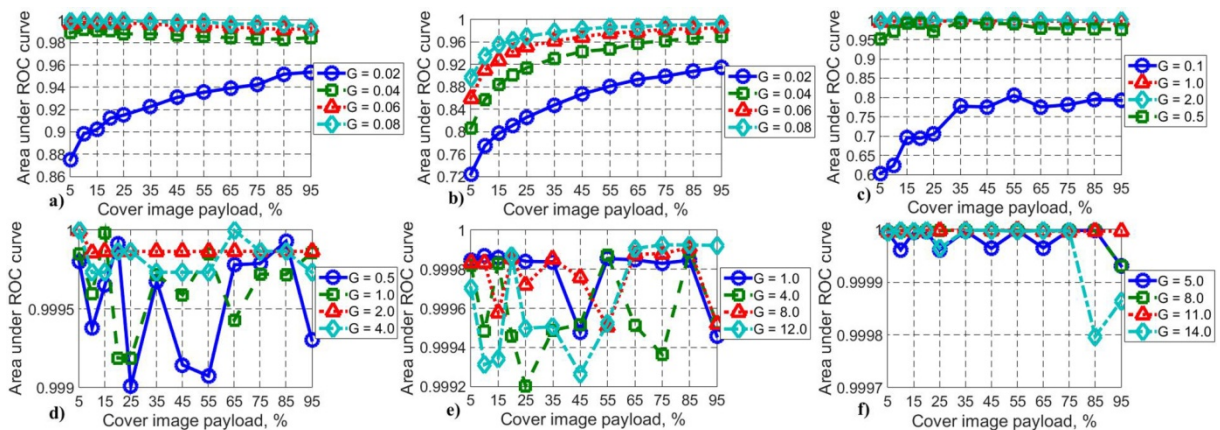


Figure 3. Dependency of AUC metrics on cover image payloads by variation the weighted coefficients G for statistical stegdetector SD_{CDF} (JPEG Quality Factor – 100). Message was embedded according to: (a) – Dey method; (b) – Agarwal method; (c) – Joseph method; (d) – Khan method; (e) – Elahian method; (f) – Gunjal method.

Usage of SPAM model allows detecting with high accuracy ($AUC > 0.99$) the stego images, formed according to multistage Khan method (Fig.1d), as well as Elahian (Fig.1e) and Gunjal (Fig.1f) complex methods, irrespective to the cover image payload and value of coefficient G . It is preliminary unexpected results, since these methods were proposed for increasing the robustness of steganograms to statistical steganalysis. Relatively low robustness of stego images in this case is explained by significant decreasing the correlation between brightness of adjacent pixels (parameters of SPAM models) in comparison with corresponding values for cover images.

Usage of one-stage embedding methods of Dey and Agarwal, as well as multistage Joseph method gives opportunity to significantly decrease the accuracy of stego images detection (Fig. 1a-b), especially in case of low cover image payload ($\Delta_C < 10\%$) and minimal values of coefficient G . Obtained results are explained by simultaneously applying of spectral (2D-DWT) and special (SVD) transform of cover image by message hiding.

Passive steganalysis of DI with usage of CC-PEV model is characterized by relatively low accuracy of stego images detection in case of message hiding with usage of spectral transformation of cover images (Dey and Joseph methods, Fig.2b-c) and low cover image payload ($\Delta_C < 10\%$). Revealed diminution of detection accuracy is connected with peculiarity of CC-PEV model – usage of coefficients the 2D-DCT, obtained for detached blocks, by calculations of model's parameters. Therefore changes of statistical parameters of cover images, caused by message hiding, in these blocks are relatively low, which decrease the effectiveness of applying the CC-PEV model for stego images revealing.

Despite of significantly increasing of dimensionality the feature space by usage of CDF model in comparison with SPAM and CC-PEV models ($d_{SPAM} = 686$, $d_{CC-PEV} = 548$, $d_{CDF} = 1234$), increasing of detection accuracy is relatively small – $\Delta AUC \leq 0.055$. For comparison values of AUC metrics in case of low cover image payload, minimum values of weighted coefficient G and usage the statistical stegdetector SD_{SPAM} , SD_{CC-PEV} and SD_{CDF} are represented in Table 3.

It should be mentioned, that lossy JPEG-compression of DI (JPEG Quality Factor is less than 100) lead to additional decreasing the detection accuracy (table 3). It is explained by usage during message hiding of of approximation coefficients the 2D-DWT and the greatest singular values, that corresponds to low-frequency 2D-DCT coefficients. In consequence, alteration of stego images due to JPEG-compression is relatively small.

Applying of universal CDF model allow achieving the high detection accuracy only in case of forming the stego image according to multistage and complex embedding methods (table 3). On the other hand, usage of spectral (2D-DWT) and special (SVD) transform gives opportunity to significantly decrease the detection accuracy.

Table 3. Values of AUC metrics in case of low cover image payload, minimum values of weighted coefficient G and usage the statistical stegdetector SD_{SPAM} , SD_{CC-PEV} and SD_{CDF}

	Statistical model of digital image			
	SPAM	CC-PEV (JQF = 90)	CC-PEV (JQF = 100)	CDF
Dey method	0.843	0.710	0.730	0.898
Agarwal method	0.753	0.542	0.586	0.775
Joseph method	0.585	0.569	0.549	0.623
Khan method	0.990	0.932	0.999	0.999
Elahian method	0.999	0.622	0.984	0.999
Gunjal method	0.984	0.999	0.999	0.999

Conclusion

On the basis on conducted analysis the detection accuracy of stego images, formed according to one-stage, multistage and complex methods, by usage of modern statistical stegdetectors it is established that:

1. Utilization of well-known statistical models of digital images in spatial (SPAM model) and frequency (CC-PEV model) domains, as well as CDF universal model does not gives opportunity to achieve the high detection accuracy in case of message hiding with usage of one-stage Dey and Agarwal methods, as well multistage Joseph methods. It is explained by usage of low-frequency (approximation) coefficients and the greatest singular values, which correspond to image's components with highest energy, (Dey and Agarwal methods) or message hiding at the level of intrinsic noise of digital images (Joseph method). Accurate modelling of mentioned components requires creation a new statistical models.
2. Forming of stego images according to multistage Khan method, as well as Elahian and Gunjal complex methods leads to significant changes of correlation between brightness of adjacent pixels the cover images. It leads to considerable increase of detection accuracy ($AUC > 0.99$), despite of usage of several domains for message hiding and applying the preliminary stage for processing cover image and stegodata.

Acknowledgements

The paper is published with partial support by the project ITHEA XXI of the ITHEA ISS (www.ithea.org) and the ADUIS (www.aduis.com.ua).

Bibliography

- [Agarwal, 2008] Agarwal R., Santhanam M.S. Digital watermarking in the singular vector domain. International Journal of Image and Graphics, 2008. Vol. 8. pp. 351-362.
- [Agranovskyi, 2009] Agranovskyi A.V., Balakin A.V., Gribunin V.G., Sapogonnikov S.A. Steganography, Digital Watermarking and Steganalysis. Moskow, Vyzovskaya Kniga, 2009. 220 pp. ISBN 978-5-9502-0401-2. (in Russian)
- [Bolshakov, 2007] Bolshakov A.A., Karimov R.N. Methods of multidimensional signals processing. Moskow, Goryachaya Liniya – Telekom. 2007. 522 pp. ISBN 5-93517-287-9. (in Russian)
- [Denemark, 2015] Denemark Tomáš, Fridrich Jessica. Improving Steganographic Security by Synchronizing the Selection Channel. Proceedings of the 3rd ACM Workshop on Information Hiding and Multimedia Security. New York, NY, USA, 2015. DOI 10.1145/2756601.2756620.
- [Dey, 2011] Dey N., Roy A.B., Dey S. A novel approach of color image hiding using RGB color planes and DWT. International journal of computer application, 2011. Vol. 36, No.5. pp.19-24.
- [Elahian, 2011] Elahian A., Khalili M., Shokouhi S.B. Improved robust DWT-watermarking in YCbCr color space. Global journal of computer application and technology. 2011. Volume 1, Issue 3. pp. 300-304. ISSN 2249-1945.
- [Fridrich, 2010] Fridrich J. Steganography in Digital Media: Principles, Algorithms and Applications. Cambridge University Press, New York, USA. 2010. 437 p.
- [Fridrich, 2012] Fridrich J., Kodovsky J. Rich models for steganalysis of digital images. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2012. Vol. 7, Issue 3. pp. 868-882.
- [Gonzalez, 2008] Gonzalez R., Woods R. Digital Image Processing. International version 3rd edition. Pearson Education Press, 2008. 1103 p.
- [Gribunin, 2002] Gribunin V.G., Okov I.N., Tyrintsev S.V. Digital Steganography. Moskow, Solon-Press, 2002. 265 pp. ISBN 5-98003-011-5. (in Russian)
- [Gunjal, 2011] Gunjal Baisa L., Mali Suresh N. Secured color image watermarking technique in DWT-DCT domain. International Journal of Computer Science, Engineering and Information Technology (IJCSSEIT). 2011. Volume 1, Issue 3. pp. 36-44. DOI 10.5121/ijcsseit.2011.1304.
- [Holub, 2013a] Holub V., Fridrich, J. Digital image steganography using universal distortion. Puech, W., Chaumont, M., Dittmann, J., and Campisi, P., eds. In 1st ACM IH&MMSec. Workshop, June 17-19, 2013.
- [Holub, 2013b] Holub V., Fridrich J. Random Projections of Residuals for Digital Image Steganalysis. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2013. Vol. 8, Issue 12. pp. 1996-2006.
- [Huiskes, 2008] Mark J. Huiskes, Michael S. Lew. The MIR Flickr Retrieval Evaluation. Proceedings of the 2008 ACM International Conference on Multimedia Information Retrieval, Vancouver, Canada. ACM Press, New York, NY, USA. DOI 10.1145/1460096.1460104.
- [Joseph, 2013] Joseph A., Anusudha K. Robust Watermarking Based on DWT-SVD. International Journal on Signal & Image Security, 2013. Issue 1, Vol. 1.
- [Katzenbeisser, 2000] Katzenbeisser S., Petitcolas P. Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking. Artech House, Boston, USA. 2000. 237 p.
- [Khan, 2013] Khan M.I., Rahman M., Sarker I.H. Digital Watermarking for image Authentication Based on Combined DCT, DWT and SVD Transformation. International Journal of Computer Science Issues, IJCSI, 2013. Volume 10, Issue 3, No. 1. pp. 223-230.

- [Kodovský, 2010] Kodovský Jan, Pevny Tomas, Fridrich Jessika. Modern steganalysis can detect YASS. Proc. SPIE 7541, Media Forensics and Security II. San Jose, California, USA, 2010. Ed. Memon Nasir D., Dittmann Jana, Alattar Adnan M., Delp Edward J. pp. 1–11. DOI 10.1117/12.838768.
- [Kodovský, 2012a] Kodovský J., Fridrich J., Holub V. Ensemble Classifiers for Steganalysis of Digital Media. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2012. Vol. 7, No. 2. pp. 432-444.
- [Kodovský, 2012b] Kodovský J., Fridrich J. Steganalysis of JPEG Images Using Rich Models. Proc. SPIE, Electronic Imaging, Media Watermarking, Security, and Forensics XIV, San Francisco, CA, January 23–25, 2012. DOI: 10.1117/12.907495.
- [Mathews, 1975] Mathews B.W. Comparison of the predicted and observed secondary structure of T4 phage lysozyme. Biochimica Et Biophysica Acta (bba), Protein Structure, BIOCHIM BIOPHYS ACTA PROTEIN. 1975. Volume 402, Issue 2. pp. 442–451. DOI 10.1016/0005–2795(75)90109–9.
- [Murphy, 2012] Murphy Kevin P. Machine Learning: A Probabilistic Perspective. Massachusetts Institute of Technology Press, 2012. 1071 p.
- [Oppenheim, 2010] Oppenheim Alan V., Shaffer Ronald W. Discrete-Time Signal Processing. 3rd edition. Pearson Education Press, 2010. 1046 p.
- [Pevny, 2007] Pevny T., Fridrich J. Merging Markov and DCT features for multiclass JPEG steganalysis. Proceedings SPIE, Electronic Imaging, Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents IX. San Jose, CA, USA, 2007. Ed. Delp E.J., Wong P.W. pp. 1–14.
- [Pevny, 2010a] Pevny T., Bas P., Fridrich J. Steganalysis by Subtractive Pixel Adjacency Matrix. IEEE Trans. on Information Forensics and Security, 2010. Vol. 5, Issue 2. pp. 215-224.
- [Pevny, 2010b] Pevný T., Filler T., Bas P. Using high-dimensional image models to perform highly undetectable steganography. Proceedings of Information Hiding, 12th International Workshop. Lecture Notes in Computer Science. Ed. Böhme R., Safavi-Naini R. Calgary, 2010. pp. 161–177.
- [Progonov, 2014] Progonov D. O., Kushch S. M. Revealing of steganograms with data, which are hidden in transformation domain of digital images. Visn. NTUU KPI, Ser. Radiotekh. radioaparotobuduv., 2014. No. 57, pp. 128-142. (in Ukrainian).
- [Progonov, 2015a] Progonov Dmytro, Kushch Serhii. Spectral analysis of Steganograms. Scientific Journal "Radio Electronics, Computer Science, Control", 2015. Volume 2 (33). pp. 71-81. DOI 10.15588/1607-3274-2015-2-9. (in Ukrainian).
- [Progonov, 2015b] Progonov Dmytro, Kushch Serhii. Passive Steganalysis of Multidomain Embedding Methods. International Journal "Information Theories & Applications", 2015. Volume 22, Issue 1. pp. 86–99. ISSN 1310–0513.

Authors' Information



Dmytro Progonov – the 3rd year postgraduate student, the Assistant, Faculty of Information Security, Institute of Physics and Technology, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"; Postal Code 03056, Prospect Peremohy, 37, Kyiv, Ukraine;
e-mail: progonov@gmail.com.
Major Fields of Scientific Research: Digital Media Steganalysis, Advanced Signal Processing, Machine Learning.

BUILDING OF THE VIRTUAL ENVIRONMENT FOR GRID APPLICATIONS

Volodymyr Kazymyr, Dmytro Melnychenko, Olga Prila, Mykola Kryshchenko

Abstract: *The article considers the problems of configuring grid resources to perform computational tasks in the grid environment. The technology of automated configuration environment to perform tasks in the grid environment using virtualization was proposed. The results of the evaluation of the effectiveness of the proposed technology based on the developed simulation model were presented.*

Keywords: *grid-computing, virtualization, effectiveness, simulation.*

ACM Classification Keywords: *C.2.4 Distributed Systems, D.4.1 Process Management.*

Introduction

Grid computing is a form of distributed computing, in which a virtual supercomputer is presented in the form of loosely coupled heterogeneous computing resources, connected to a global network and used to solve computational problems of large dimension. Using the idle capacity of distributed resources instead of increasing the power of local resources is a cost-effective solution.

Ukrainian national grid infrastructure consists of about 26 clusters. In recent years a number of projects of state scientific and technical program were carried out the purpose of which is the application of grid technologies for solving computational problems of various scientific fields such as astrophysics, molecular biology, physics, geochemistry, environmental monitoring, economic forecasting, population-based studies in the field of cardiology and other tasks. Virtual organization implies a dynamic community of people and organizations that share a dedicated set of grid resources in accordance with agreed rules for solving tasks of particular scientific field.

In the presence of a large number of computing tasks of different scientific areas that require significant computing power according to monitoring data (<http://www.nordugrid.org/monitor/>) to date there is a high percentage of idle resources of the Ukrainian national Grid infrastructure, which is primarily explained by the complexity of the processes of computational tasks preparation for solving in the grid environment as well as configuration the runtime environment for task execution on a remote computing resource. The article studies the following problems of using a distributed grid environment:

- the complexity of administration grid computing resources in the terms of configuring environments for different tasks' execution;
- the inability to execute computing tasks on grid resources using administrator privileges;

- the absence of full-featured high-level tools for the preparation and running computing tasks in grid environment;
- the problem of deployment licensed software on remote grid resources and using correspondent software for task execution;
- the incompatible versions of the operating systems (OS) running on a computing grid resource and those required for the execution of the user application task.

For example, there is often the need to perform computing tasks using the software under Microsoft Windows OS where as the server grid middleware is to use the Linux OS. The incompatibility of the required version of the OS with the hardware characteristics of grid resources is also possible.

EMI grid middleware providers (<http://www.eu-emi.eu/>) don't support automated environment configuration for computing task execution. Under the environment the requirements for the software to be installed on the computing resource for task execution are implied.

Using the virtual machine technology the virtual image (VI) with necessary settings can be formed and used when submitting and executing computing task on grid-resources. This will solve the problem of using licensed software in grid-environment and task execution with administrator privileges.

The important aspect of widespread using of grid technologies is to provide the required level of quality of service (QoS) that for a non-commercial environment is most often defined as the guaranteed time of successful calculations completion. The virtual machine technology using in grid-environment determines the problem of designing effective structure of virtual images distributed storage in grid-environment to minimize communication costs and the development of appropriate scheduling algorithms.

The usage of virtualization technologies when performing tasks in the grid environment

The term virtualization refers to the abstraction of computing resources and providing the user of the system that "encapsulates" (hides) your own implementation. The term virtual machine (VM) means a product of virtualization software and hardware platform. There are the following advantages [Bogdanov, 2008] [Jain, 2012] [Mann, 2006] [Romanova, 2011] of using virtualization:

- ability to create the required hardware configurations;
- ability to support legacy operating systems to ensure compatibility;
- on the same host could be running multiple virtual machines, connected into a virtual network;
- possibility of cloning and backup virtual machines.

The use of virtual machine technology in grid environments will allow users to form virtual image settings and define it as the virtual environment, which needed to perform a task on a remote grid resource.

Requirements for running tools of applied computational problems with the ability to define a virtual environment: the ability to define a virtual environment as a parameter the specification of the grid task, the search of the required virtual environment, transfer and deployment to a remote resource in an automated mode.

The authors conducted a research of existing technologies for constructing virtual environment for execution of computational tasks on a remote resource in a distributed environment according to the following criteria:

- transfer VI on the remote resource;
- store the virtual images in a distributed repository, including the presence of replication facilities;
- ability to select a virtual environment to complete the task;
- ability to solve computational tasks of various types (serial, parallel, data processing, workflows) [Prila, 2014] of different application areas;
- optimization of planning with the peculiarities of the distributed environment;
- a high-level interface;
- expandable.

Table 1 presents a comparative analysis of existing technologies of constructing virtual environments, such as Nimbus, skifGrid, Rainbow and the software package "virtual container".

Table 1 – Comparative analysis of existing technologies of constructing virtual environment

Assessment criterion	The software package "virtual container"	Skif Grid	Rainbow	Nimbus
Transfer VI on the remote resource	+	+	+	-
Store the virtual images in a distributed repository, including the presence of replication facilities	-	-	-	+
Ability to select a virtual environment to complete the task	+	-	+	+
Ability to solve computational tasks of various types	+	+	+	+
Optimization of planning with the peculiarities of the distributed environment	-	+	+	-
A high-level interface	-	-	-	+
Expandable	-	-	-	+

Notes:

1. “-” it means the absence of the implementation of this requirement in the considered decision.
2. “+” it means the presence of implementation of this requirement.

The Nimbus service package (<http://www.nimbusproject.org>) with open source allows users to run virtual machines on FutureSystems hardware, and focused on providing infrastructure as a service (IaaS) for the scientific community [Keahey, 2005].

Nimbus provides an implementation of cloud computing, allowing users to use computing resources by deploying virtual machines on these resources. Additional Nimbus tools provide the possibility of implementing scalable cloud storage.

Nimbus Context Broker implements the ability to create shared configuration resources, which are available from several clouds, distributed support providers. Such tools are oriented to work in a multi-user cloud environment and a combination of private and public cloud capabilities, called by sky computing tools.

Nimbus software package provides to developers a highly customizable and extensible implementation (IaaS) open source. For this Nimbus package supports different implementations of virtualization (Xen or KVM), resource management (including schedulers such as PBS), interfaces (including Compatibility with Amazon EC2 [Keahey, 2012]) and many other options.

Services package Nimbus does not support software for building cloud infrastructure, which is included in the standard EMI (ARC Nordugrid, gLite, Legion (<http://legion.virginia.edu/index.html>), Condor (<http://www.cs.wisc.edu/condor/>), Unicore (<https://www.unicore.eu/about-unicore/>)) and used in the Ukrainian national grid (UNG). Focusing on the use of cloud infrastructure determines the complexity extensions for use in diverse heterogeneous grid environment.

The software package Rainbow («ARC in the Cloud») was developed within the project the UNG for tasks of interactive analysis of medical data "Medgrid" virtual organization (<http://medgrid.immsp.kiev.ua/>). The app is aimed at hardware acceleration of virtual machines on the worker nodes of the cluster and focused on the use of middleware software (middleware) Nordugrid ARC. A processor computing element and manager work cycle of a virtual machine used RunTimeEnvironment mechanism (RTE) of software Nordugrid ARC [Ellert, 2007].

The implementation uses the finished elements network infrastructure the Linux operating system. Interactive access to platforms based on Windows is performed by using a remote connection protocol to RDP desktop.

Rainbow provides the end user with several file-sharing scenarios with the virtual machine. If data access is needed only in the read mode, the ISO method allows you to connect a virtual CD-ROM with the files. To access the recording mode DISK method connects the virtual hard disk to a predetermined size and selected file system. Transferring files, resulting from the work, back to the Grid environment in a similar way - the files are extracted from the virtual disk and transferred to stage-out mechanism of the software grid. The software package Rainbow presents RPMs in repository [Salnikov, 2015].

However, the solution is focused on starting and completing specific computational tasks of medical data analysis and involves the use of the same type VI, pre-installed on the grid resource. Software Rainbow does not include the possibility of extensibility.

Middleware SKIF-GRID (skifGrid) (<http://grid.basnet.by/projects/skifgrid/wiki>) is designed to unite distributed high-performance computing resources in a unified grid network and for the organization of user access to virtualized server platforms.

Unlike middleware included in the EMI standard, components skifGrid realized the possibility of a virtual service organization.

Components skifGrid:

- skifGrid-srv is designed to virtualize server hardware and system management of virtual servers, uses the implementation of middleware Ganeti (<http://code.google.com/p/ganeti/>);
- the manager of computing resources (skifgrid-crm) uses middleware QosCosGrid (<http://www.qoscogrid.org>);
- broker computing resources (skifgrid-crb);
- the client console access resources (skifgrid-cli);
- monitoring of the grid network (skifgrid-mon).

Middleware skifGrid is free software that is allowed to distribute and modify in accordance with the terms of the GNU General public license (GPL) version 3 (<http://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html>).

The installation files are represented by packages .deb in repository, however, the distributions skifGrid not available, which hampers the possibility of expanding the tool.

Also were developing in the research computing centre of Moscow state University M. V. Lomonosov on using virtual machines in grid technologies for solving problems in computational chemistry. This concept describes the use of virtual machines as the outgoing distributed tasks, which provides the user with the required quality of service, without affecting the operation of the main components of resource services. Thus, the user of a distributed environment may be provided by a fully isolated virtual computing environment (virtual container). The properties of a virtual «container» are not inferior to the physical server, in which any of its own computing service can be provided. In this application, implemented in the VM, it means absolutely no dependence on the operating system and environment. Also it considered as the complete separation of a specific service or program from the external environment, and the environment from it. This is possible through the use of an additional layer of software – the virtual hardware, allowing carrying out a regular application, as if it were running on a separate computer.

The user is able to create a virtual machine image with preinstalled operating system and fully configured applications aimed at solving a specific problem. This image is transmitted to a distributed resource, and there is executed as a grid application, without the need for configuring this node for

specific tasks. This greatly facilitates the adaptation of application software to operate in distributed environments. An additional advantage is the fact that these technologies make it possible to run virtual machine images with operating systems that are different from those installed on the resources [Volofov, 2009].

However, this method is considered to use virtual machines for specific tasks in computational chemistry. Also this concept was not considered the option of using a high-level interface.

Technology automated configuration environments in grid resources

The virtual machine technology will allow generating a virtual image with the settings and using it when launching and running computational tasks on the grid resources. This is a solution to the problem of using the licensed software for solving tasks in grid-environment.

The authors planned the practical implementation on the existing framework for the development of grid applications [Kazymyr, 2013] with the use of the developed technology. Technology needs to provide the following services (Fig. 1):

1. The formalization of the parameters of the VM environment.

Before submitting a request to the task execution in the grid environment, a user or automated select a number of hardware and software options. Further are given the opportunity to use it for the desired software applications in the relevant grid resources.

2. The possibility of determining the required VM image to perform the task.

3. The initial load of the image.

Also it should be transmitted the image of a virtual machine, if previously it was not transmitted in the previous tasks. A description of the task and the task itself are sent in the form of a virtual image to meta scheduler of grid.

Figure 2 shows the architecture of the framework for the creation of grid-enabled applications of modern grid middleware, which has been extended by the following modules: module of accommodation VI, scheduling tasks module with the use of VI, statistics module.

Services scheduling tasks module with the use of VI implements automatic search for the desired VI. And it selects of computing resource for image deployment, and task execution.

The parameters collected (most requested tasks for execution in the grid environment) by the statistics module used in the design of the replication scheme VI. The mechanism for deployment on remote computing resources is implemented with using a software platform OpenNebula (<http://opennebula.org>).

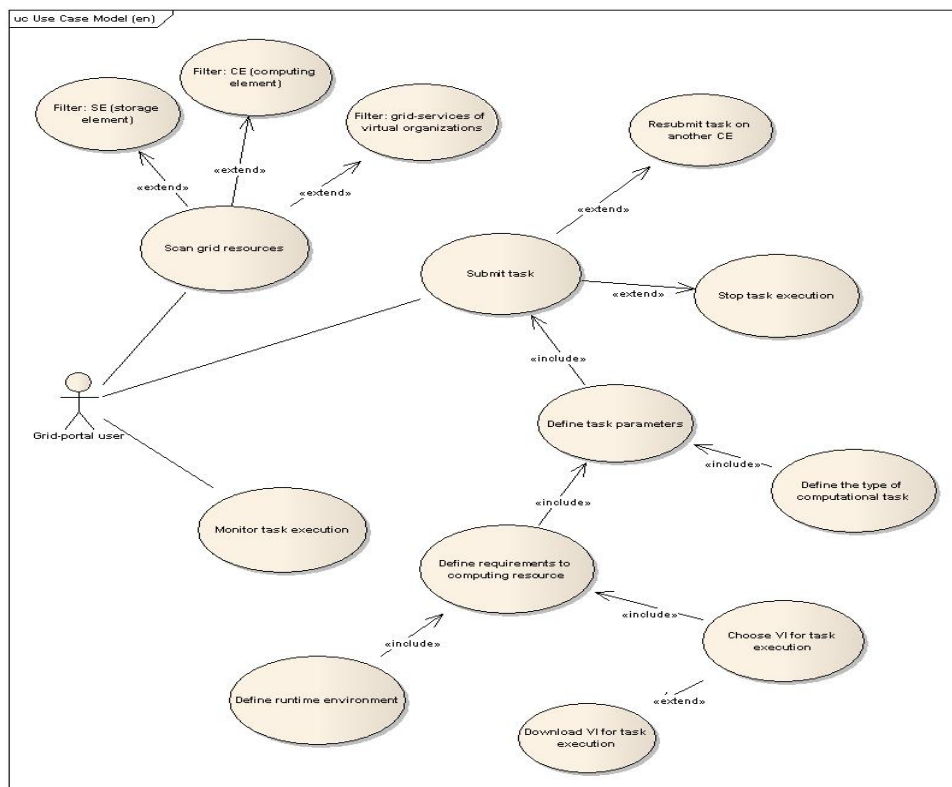


Figure 1. Expansion of the framework of services for the development of high-grid applications.

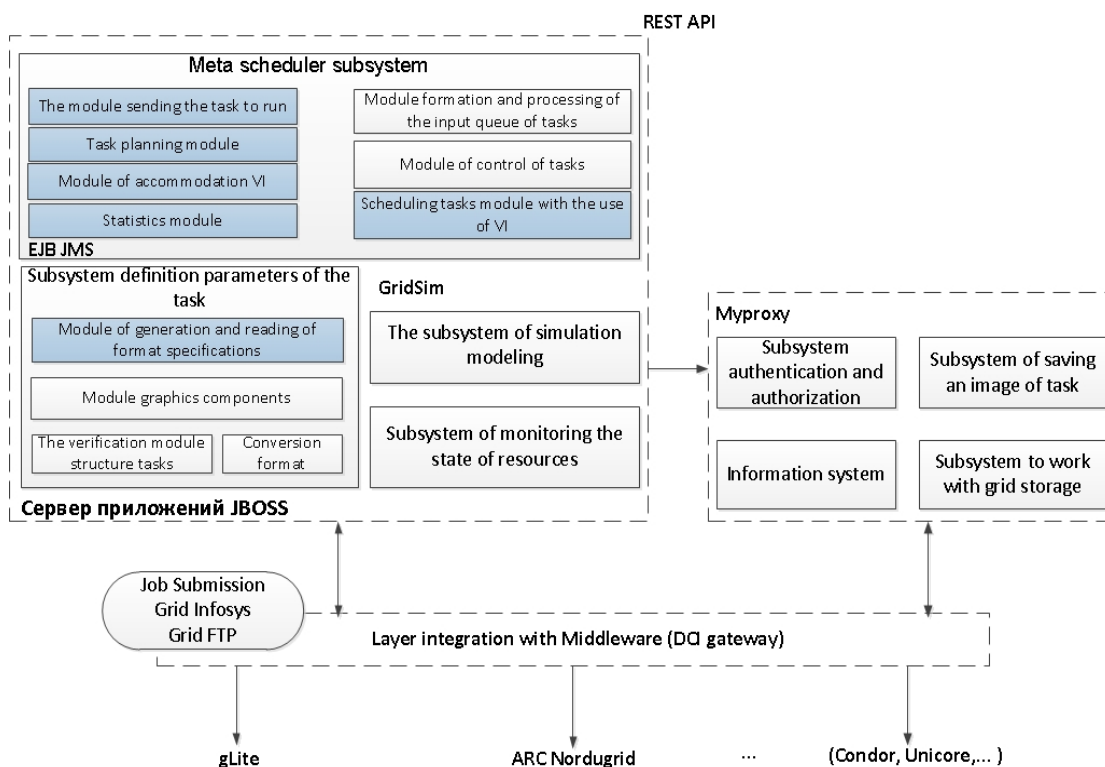


Figure 2. Architecture of a framework for the development of grid applications

Module of accommodation VI determines computing resource to store the virtual image.

A simulation model of grid environment using virtualization

A parallel application is generally modeled by a precedence-constrained task graph, which is a directed acyclic graph with node and edge weights. In this model a task cannot start execution before all of its parents have finished their execution and sent all of the messages to the machine assigned to that task [Forti, 2006].

To assess the effectiveness of the approach was developed process model tasks in grid-environment using virtualization technology based on simulator GridSim [Buyya, 2002]. When developing the above model, a simulation model of grid environment [Bivovno, 2013] was extended with the following options:

1. Size of the virtual image (for OS Linux this value is 1.5-4 GB and ≥ 4 GB for Windows OS, etc.).
2. Time on deployment VI. Figure 3 shows the time estimation to deploy virtual images using Oracle VM VirtualBox 5.0.14 (<https://www.virtualbox.org/>) with the following characteristics (Table 2). Experiments the evaluation time on deployment VI was conducted in a real environment.

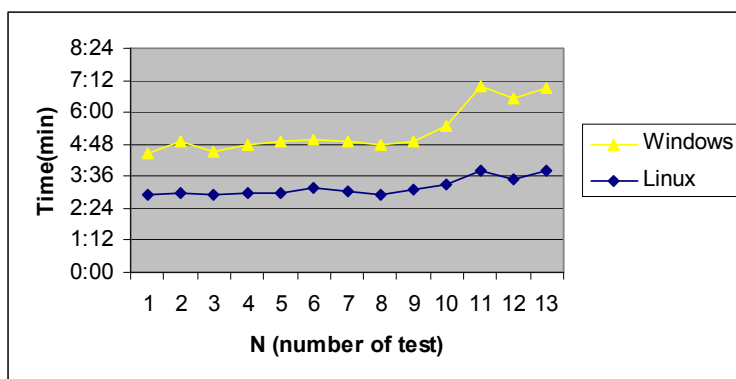


Figure 3. Evaluation time for the deployment of virtual images.

The x-axis in figure 3, N is the number of the experiment.

Table 2 – The characteristics of the tested virtual images.

Settings	Linux	Windows
OS	Ubuntu 14.04 64 bit	Windows 7 64 bit
RAM	1024 MB	1024 MB
Load Order	Net, HDD, Optical disk	Net, HDD, Optical disk
Acceleration	VT-x/AMD-V, Paravirtualization, KVM	VT-x/AMD-V, Paravirtualization, Hyper-V

3. Transmission time to send VI on the grid resource. Test results on the transfer VI from the client to the server grid.stu.cn.ua over TCP using the cantilever cross-platform client-server utility iperf (<https://iperf.fr/iperf-doc.php>) confirmed a linear relationship between the amount of size of VI and the time of transmission.

4. Time of transfer grid task from virtual machine to compute resource. As with the previous experiment, the authors used the iperf utility, the results presented in figures 4-5.


```
Client connecting to 192.168.1.34, TCP port 5001
TCP window size: 43.8 KByte (default)
-----
[ 3] local 10.0.2.15 port 60964 connected with 192.168.1.34 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 3] 0.0- 5.0 sec  591 MBytes  992 Mbits/sec
[ 3] 0.0- 8.6 sec  1.00 GBytes 994 Mbits/sec
```

Figure 4. Network bandwidth parameter when the transmission of VI on the side of VM

```
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 85.3 KByte (default)
-----
[ 4] local 192.168.1.34 port 5001 connected with 192.168.1.34 port 42364
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 4] local 192.168.1.34 port 5001 connected with 192.168.1.34 port 42369
[ 4] 0.0- 8.3 sec  1.00 GBytes 1.04 Gbits/sec
[ 5] local 192.168.1.34 port 5001 connected with 192.168.1.34 port 42375
[ 5] 0.0- 8.5 sec  1.00 GBytes 1.01 Gbits/sec
[ 4] local 192.168.1.34 port 5001 connected with 192.168.1.34 port 42376
[ 4] 0.0- 8.4 sec  1.00 GBytes 1.02 Gbits/sec
[ 5] local 192.168.1.34 port 5001 connected with 192.168.1.34 port 42378
[ 5] 0.0- 7.9 sec  1.00 GBytes 1.09 Gbits/sec
[ 4] local 192.168.1.34 port 5001 connected with 192.168.1.34 port 42379
[ 4] 0.0- 8.1 sec  1.00 GBytes 1.06 Gbits/sec
[ 5] local 192.168.1.34 port 5001 connected with 192.168.1.34 port 42385
[ 5] 0.0- 8.8 sec  1.00 GBytes 977 Mbits/sec
[ 4] local 192.168.1.34 port 5001 connected with 192.168.1.34 port 42386
[ 4] 0.0- 8.6 sec  1.00 GBytes 993 Mbits/sec
```

Figure 5. Network bandwidth parameter when the transmission of VI on the side of the main machine

Next, we consider the results of the simulation of task execution in grid environment connected using virtualization technology on the basis of GridSim simulator.

The input parameters of the extended simulation model the following:

- size of VI;
- the transmission time to send VI;
- time of transfer grid task from virtual machine to compute resource.

In the experiment the value of the parameters of the model are the following: size of VI is equal to 1GB, the transmission time to send VI – 190 minutes, time of transfer grid task from virtual machine to compute resource – 8.3 sec. The augmented model consists of one user and the grid resource on which tasks are performed. Tasks (Task) are performed simultaneously in a queue.

Figure 6 shows the comparison of time execution of tasks in grid and with a run time of grid tasks, given that VI is already on a remote computing resource.

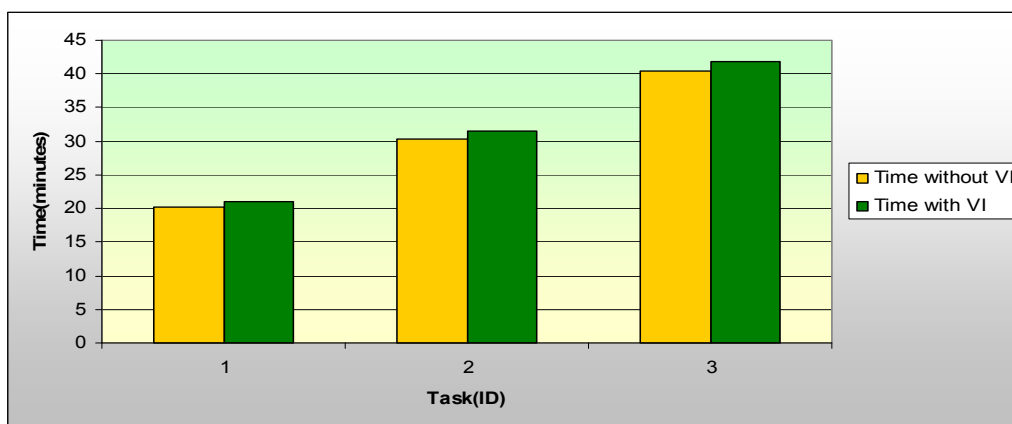


Figure 6. Execution time of tasks in the grid environment without using virtualization, pre-installed virtual image on the remote resource.

Where Time is the execution time of tasks in the grid environment, Time without VI – the time of the task without the use of virtualization and Time with VI refers to the time duration of the task execution provided that, if VI is already on the grid resource. Under the units of Time values in figure 6 refers to minutes.

According to the obtained results (Fig. 6), we can say that the time spent on task execution in grid environment using virtualization does not exceed 5 % than the cost of performing the task without the use of virtualization in the grid environment.

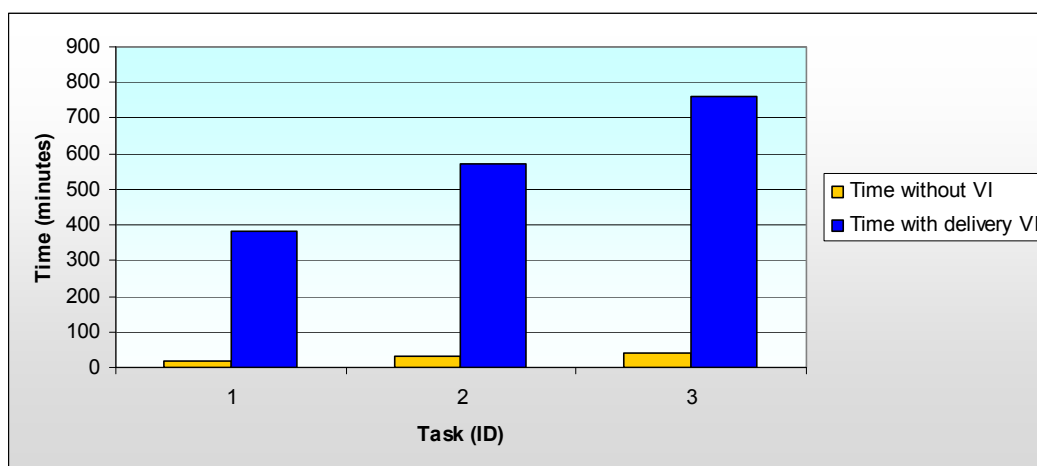


Figure 7. Execution time of tasks in the grid environment without and with the use of virtualization, but without a pre-installed virtual image on the remote resource.

Under Time with delivery VI refers to the execution time of grid tasks with the necessity of transmitting VI. On the basis of this modeling and experimental results (Fig. 7), we can conclude that the relationship between task execution time in grid environment without the use of virtualization technology and using, but without the pre-installed VI on a remote computing resource significantly great. The cost of sending VI can be compensated through the development of schema replication storage virtual images and scheduling algorithm in grid environment based on the use of virtualization. The task of planning the layout of VI is under development.

Conclusion

We considered the problem of environment configuration applied to perform computational tasks in grid environment. The technology of automated environment configuration based on virtualization was proposed. The implementation is designed as an extension of the framework for the high-level grid applications development that provides an API for basic grid operations.

The results of the effectiveness evaluation of the proposed technology by conducting the experiments on the basis of the simulation model as well as in the real grid environment showed that the time required deploying the VI when starting task execution does not exceed 5% in the case of the pre-installed VI on the remote computing resource. The expenses caused by virtual image data transfer to the remote computing resource can be minimized by the development of scheme of virtual images storage replication as well as the scheduling algorithms taking into account the expenses of virtualization. This problem requires further study.

The proposed technology allows to increase the efficiency of grid environment usage, to simplify the processes of grid resources configuration, computing task designing and specification and provides the ability to use licensed software to perform calculations in grid environment.

Acknowledgments

The authors of the paper express their gratitude to Prof. Voloshyn for the invitation to participate in the conference and discussion of the results.

Bibliography

- [Bivoyno, 2013] V. Kazymyr, P. Bivoyno, O. Prila, T. Guza. Methods of thread scheduling tasks in grid environment. *Mathematical machines and systems*, no. 4, pp. 70-82. 2013.
- [Bogdanov, 2008] A. Bogdanov, E. Stankova, V. Mareev. Virtualization: New Opportunities known technology. Russian competitive selection overview and analytical articles on the priority area of "Information and telecommunication systems", p. 31. 2008. [Online]. Available: <http://window.edu.ru/resource/802/58802/files/68359e2-st15.pdf>.
- [Buyya, 2002] R. Buyya. M. Manzur. GridSim: A Toolkit for the Modeling and Simulation of Distributed Resource Management and Scheduling for Grid Computing. *The Journal of Concurrency and Computation: Practice and Experience (CCPE)*, vol. 14, Iss. 13-15. pp. 1179 – 1219. 2002.
- [Ellert, 2007] M. Ellert. Advanced Resource Connector middleware for lightweight computational Grids. M. Ellert [et al.]. *Future Generation Computer Systems*, vol. 23. pp. 219 – 240. 2007.
- [Jain, 2012] Y. Jain. Virtualization Concepts And Applications [Online]. Available: http://www.ieee.ldrp.ac.in/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=2:pdf&id=1:workshop&Itemid=216.
- [Kazymyr, 2013] V. Kazymyr, O. Prila, V. Rudyi. Grid workflow design and management system. *International Journal "Information Technologies & Knowledge"*, vol. 7, no 3. pp. 241 – 255. 2013.
- [Keahey, 2005] K. Keahey, I. Foster, T. Freeman, X. Zhang, and D. Galron. Virtual Workspaces in the Grid. in *Europar.. Lisbon, Portugal, 2005*.

- [Keahey, 2012] K. Keahey, P. Armstrong, J. Bresnahan, D. LaBissoniere, and P. Riteau. Infrastructure outsourcing in multi-cloud environment. FederatedClouds '12: Proceedings of the 2012 workshop on cloud services, federation, and the 8th OpenCirrus summit, San Jose, USA. pp. 33–38. 2012.
- [Mann, 2006] A. Mann. Virtualization 101: Technologies, Benefits, and Challenges. 2006. [Online]. Available: http://www.etomicmail.com/files/dedicated_server/Virtualization%20101.pdf.
- [Prila, 2014] O. Prila. The framework for high level grid applications development. Problems of programming, no 1. pp. 31–39. 2014.
- [Romanova, 2011] A. Romanova. Virtualization in high-performance computing systems. Science and education: scientific publication MSTU. NE Bauman. no 3. 2011. [Online]. Available: <http://technomag.edu.ru/doc/168323.html>.
- [Salnikov, 2015] A. Salnikov, V. Vishnevsky, A. Boretsky. "Platform as a service" in the grid for interactive analysis of medical data. Mathematical Machines and Systems , no1. pp 53 - 64. 2015.
- [Volohov, 2009] V. Volohov, D. Varlamov, N Surkov, A. Pivushkov. Virtual computing environments: the use of polygons on the grid. Herald of South Ural State University. Series: Mathematical modeling and programming, no 17. pp. 24 - 35. 2009.

Authors' Information



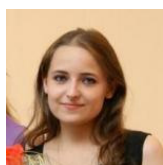
Volodymyr Kazymyr – Dr. Sc. Prof. Chernihiv National University of Technology, Shevchenko street, 95, Chernihiv-27, Ukraine, 14027; e-mail: vvkazymyr@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: Object-oriented programming, Model-based control, Simulation



Dmytro Melnychenko – Senior Lecturer, Chernihiv National University of Technology, Shevchenko street, 95, Chernihiv-27, Ukraine, 14027; e-mail: peek@ukr.net

Major Fields of Scientific Research: System Software, Software engineering, Enterprise systems development



Olga Prila – PhD, Chernihiv National University of Technology, Shevchenko street, 95, Chernihiv-27, Ukraine, 14027; e-mail: olga.prila1986@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: Distributed computing, Simulation, Software engineering, Enterprise systems development



Mykola Kryshchenko – Postgraduate, the assistant lecturer, Chernihiv National University of Technology, Shevchenko street, 95, Chernihiv-27, Ukraine, 14027; e-mail: mykola3451@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: HPC and distributed systems

THE IMPROVEMENT OF THE PROCESS OF PROVIDING GOVERNMENT SERVICES IN MULTIFUNCTIONAL CENTRES IN RUSSIA

Stepan Kovalev

Abstract: *This paper solves the problem of the efficiency of multifunctional centers providing services (MFC) in Russia. It is used the method of process modeling and improvement to business-processes for solving this problem and for improvement of quality of service provision in MFC. It has been indicated key indicators influenced at the efficiency, identified risks and correlation of risks and indicators. The paper considers priority risks, which should be minimized and organizational measures for current risks minimization.*

Keywords: *business-process, efficiency, improvement, government services, multifunctional center*

ACM Classification Keywords: *G.2.2 Graph Theory, H.1 Models and Principles, K.4.3 Organizational Impacts*

Introduction

Nowadays, the theory and practice of management includes wide specter of methods and instruments [Strikh, 2011] aimed at improvement of the business efficiency. In the same time, government structures have begun to adopt some business features. One of these structures is multifunctional center for providing government services to citizens (MFC).

There are some federal enactments aimed at progress and quality improvement of MFC institutes in Russia. According to the federal enactments, it is being informatization MFC by different automated systems, it is being personal training and improvement of interaction with adjacent departments and structures.

Besides interest of government, scientists of different fields also discuss the activity of government structures and particularly MFC. Therefore, L.A. Bershadskaya and A.V. Chugunov [Bershadskaya, 2013] have researched the existed methods of technologies monitoring in e-government. Than they have suggested the own methods of solving this problem. In addition, the problem of government services quality is researched in paper [Styrin, 2012]. Nevertheless, problem of the MFC efficiency and some questions [Ponomarev, 2014] about improvement of the processes of providing state services are highly relevant nowadays.

It is researched the problem of the MFC efficiency in Russia in this paper. The research is based on the processes of government services in MFC in Perm region.

Approach

Improvement of the MFC efficiency will be achieved by the risks minimization of the providing government services process. It is necessary to analyze key indicators influenced on the business-processes of the efficiency evaluation. Therefore, authors [Repin, 2013] have suggested some types of business-process analysis:

- Qualitative analysis of the process based on subjective assessments.
- Visual qualitative analysis of graphical process diagrams.
- Evaluation and analysis of key indicators.

Thus, it should be used method of expert assessments and SWOT-analysis to develop the matrix of indicators of process efficiency. In the same time, it should be noted that group of indicators had to include economic, social and budget indicators of MFC [Gerba, 2013]. To solve this problem we should identify indicators influenced on result of state services categorized by type and activity field.

So, there are some key indicators influenced on the MFC efficiency, they are categorized at 2 types:

1. Indicators of MFC quality of federal evaluation (Table 1).
2. Indicators of MFC quality of regional evaluation (Table 2).

Table 1 Indicators of MFC quality of federal evaluation

Number	Description of the indicator
1	Free access of the applicants to the federal state system of "Single portal of public and municipal services (functions)"
2	Quantity of visits in the federal state system of "Single portal of public and municipal services (functions)"
3	Quantity of applications through a single portal of public and municipal services (functions)
4	Free access of the applicants to the regional portal of state and municipal services (functions)
5	Quantity of visits of the regional portal of public and municipal services (functions)
6	Quantity of applications by the regional portal of public and municipal services (functions)
	...
24	The average duration for acceptance and receiving the service result does not exceed 15 minutes
25	Social index of duration of providing government service
26	Social index of duration of waiting in queue of the applicant
27	Social index of the politeness and competence of operator MFC

Table 2 Indicators of MFC quality of regional evaluation

Number	Description of the indicator
1	The length of the queue
2	The average queue length
3	The quantity of applicants who has registered in system
4	The quantity of served applicants
5	The average quantity of served applicants
6	The quantity of services provided by the current operator
7	The quantity of provided services
8	The waiting time of the applicant in the queue
9	The average waiting time of the applicant in the queue
10	The average workload time of the operator
11	The average workload time of the current desk
12	The duration of filing of applicant's documents
13	The average time of filing of applicant's documents
14	The duration of providing government service
15	The average duration of providing government service
16	The duration of transaction of applicant's documents
17	The quantity of rejects to applicants
18	Social index of duration of providing government service
19	Social index of duration of waiting in queue of the applicant
20	Social index of the politeness and competence of operator MFC
21	Social index of the comfortable conditions in MFC
22	Social index of the availability of information
23	The quantity of positive reviews
24	The quantity of negative reviews
25	The quantity of applicants
26	The quantity of operator's mistakes
27	The quantity of applicants registered in the e-portal
28	The quantity of services provided to applicants through a single e-portal
29	The total amount of checks of payment of public service duties by the applicant

It is necessary to research methods of risks management for improvement processes. E.E. Kukina have suggested qualitative and quantitative methods of risk assessment in her paper

[Kukina, 2012]. Qualitative assessment aimed at:

- Identify the risks inherent in the proposed solutions implementation.
- Identify quantitative structure of risks.
- Identify the most risky fields.

Quantitative assessment proposes audits, particularly evaluation of risks at the "check-points". The author [Antipova, 2014] describes this method, so, it looks good to use this risks localization method to research processes of state services providing. In addition to, authors [Antipova, 2014] suggest some group of risks:

- Risks, associated with the peculiarities of the work.
- Organizational risks.

As a method of risk management, it is advisable to apply the approach proposed by the author [Lapusta, 1997]:

- Indicate of the alleged risk.
- Evaluate this risk.
- Use methods of risk management.
- Result assessment.

Thus, there are methods and steps, which should be used to improve processes of providing of government services:

- Risks localization method.
- Qualitative analysis based on key indicators of the MFC efficiency.
- Minimization of the indicated risks, influenced on key indicators.

Business-processes of providing of government services improvement

Processes of providing of state services improvement is based on the method suggested by author [Andersen, 2003]. This method consists of points:

- Process documentation.
- Measurement of the indicators.
- Indicators assessment.
- Planning for improvement.
- Improvement.

Process documentation. Process documentation is based on modeling methodology in this paper. The models of the processes of providing government services has been built in BPMN 2.0 notation [Kovalev, 2016]. After analyze of these models we have common structure of business-process with indication of risks presented in the table 3.

Table 3 Common structure of business-processes with risks

The process of providing of government services in MFC					
The segments	Reception and registration of the applicant's documents		Check/Inspection of documents	Result	
Roles	MFC operator	Applicant	Related departments	MFC operator	Applicant

Business-conditions	The waiting time in the queue of the applicant should not exceed the established regulations	Thorough inspection of the applicant documents	MFC operator must notify the applicant of the result of readiness for state services
	Duration of getting applicant's documents by the operator should not exceed the established regulations	Interdepartmental requests	The applicant must appear in the MFC for the result of the public service not later than the deadline set by the regulations
	MFC provides the primary checks of the applicant's documents set by the operator	Inspection, interdepartmental requests shall not exceed the established regulations	
	Compliance established standards and requirements		
Risks	Exceeding the established regulations of duration of waiting in queue	Return of documents to the applicant	The failure of the applicant for the result in due date
	Exceeding the established regulations of duration acceptance of documents	Suspension of providing of public services	
	Reject to acceptance of applicant documents by operator	Exceeding duration of inspection of documents	

Measurement of the indicators. According to results of qualitative analysis based on expert assessments, it was indicated indicators of MFC quality of regional and federal evaluation (table 4 and table 5). These indicators are influenced by risks.

Table 4 Indicators of MFC quality of regional evaluation

Number	Number in table 2	Symbol	Description
1	5	r1	The average quantity of served applicants
2	7	r2	The quantity of provided services
3	10	r3	The average workload time of the operator
4	11	r4	The average workload time of the current desk
5	19	r5	Social index of duration of waiting in queue of the applicant
6	24	r6	The quantity of negative reviews
7	25	r7	The quantity of applicants
8	1	r8	The length of the queue
9	2	r9	The average queue length
10	8	r10	The waiting time of the applicant in the queue
11	9	r11	The average waiting time of the applicant in the queue
12	20	r12	Social index of the politeness and competence of operator MFC

13	17	r13	The quantity of rejects to applicants
14	29	r14	The total amount of checks of payment of public service duties by the applicant
15	26	r15	The quantity of operator's mistakes
16	14	r16	The duration of providing government service
17	15	r17	The average duration of providing government service
18	18	r18	Social index of duration of providing government service

Table 5 Indicators of MFC quality of federal evaluation

Number	Number in table 1	Symbol	Description
1	24	f1	The average duration for acceptance and receiving the service result does not exceed 15 minutes
2	25	f2	Social index of duration of providing government service
3	26	f3	Social index of duration of waiting in queue of the applicant
4	27	f4	Social index of the politeness and competence of operator MFC

The correlation between risks and indicators on a segment "Reception and registration of the applicant's documents" is presented as a graph in Figure 1.



R1 – risk "Exceeding the established regulations of duration of waiting in queue".

R2 – risk "Exceeding the established regulations of duration acceptance of documents".

R3 – risk "Reject to acceptance of applicant documents by operator".

The symbols of graph elements are given in Table 6.

Table 6 Symbols of graph elements

Graphical symbol	Description
	Risk
	Indicator of regional or federal evaluation

The correlation between risks and indicators at the segment "Check/Inspection of documents " is presented as a graph in Figure 2.

R4 – risk "Return of documents to the applicant".

R5 – risk "Suspension of providing of public services".

R6 – risk "Exceeding duration of inspection of documents".

The correlation between risks and indicators on a segment "Result" is presented as a graph in Figure 3.

R7 – risk "The failure of the applicant for the result in due date".

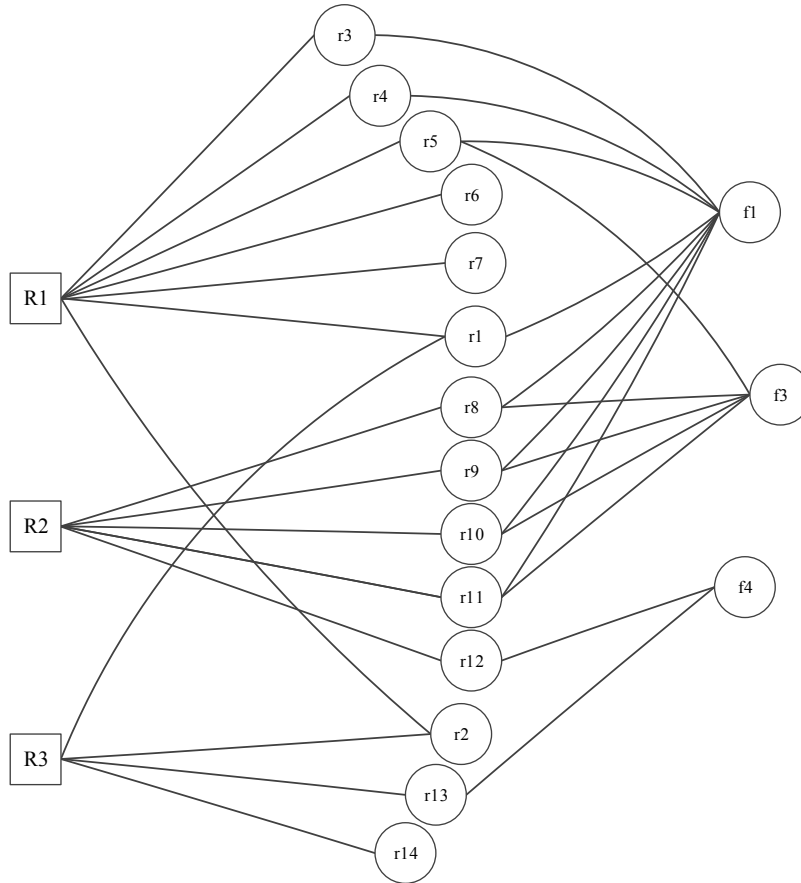


Figure 1 The correlation between risks and indicators at the segment “Reception and registration of the applicant’s documents”

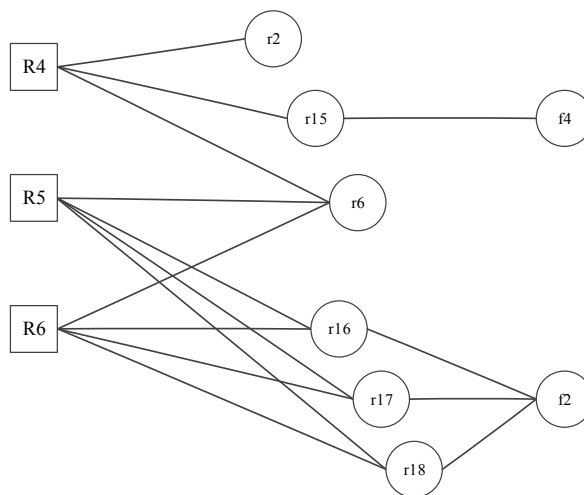


Figure 2 The correlation between risks and indicators at the segment “Check/Inspection of the documents”



Figure 3 The correlation between risks and indicators at the segment “Result”

Indicators assessment. It is used the method of expert assessments for development the matrix of key indicators. Matrix of MFC quality indicators of regional evaluation is presented at Figure 4. Matrix of MFC quality indicators of federal evaluation is presented at Figure 5.

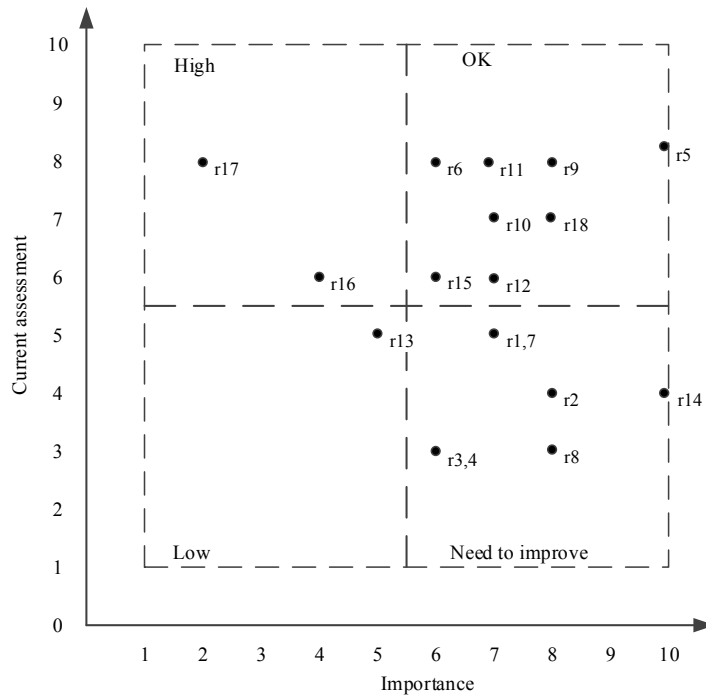


Figure 4 Matrix of MFC quality indicators of regional evaluation

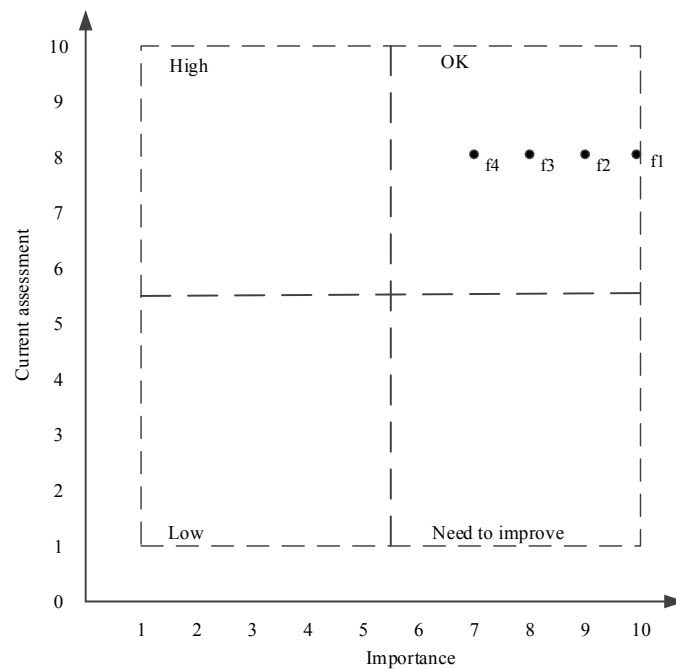


Figure 5 Matrix of MFC quality indicators of federal evaluation

In according to these results we have another graph (Figure 6) with indicated risks. In addition, we can calculate priority of risks and indicators accordance to expert assessments (Figure 3, 4)

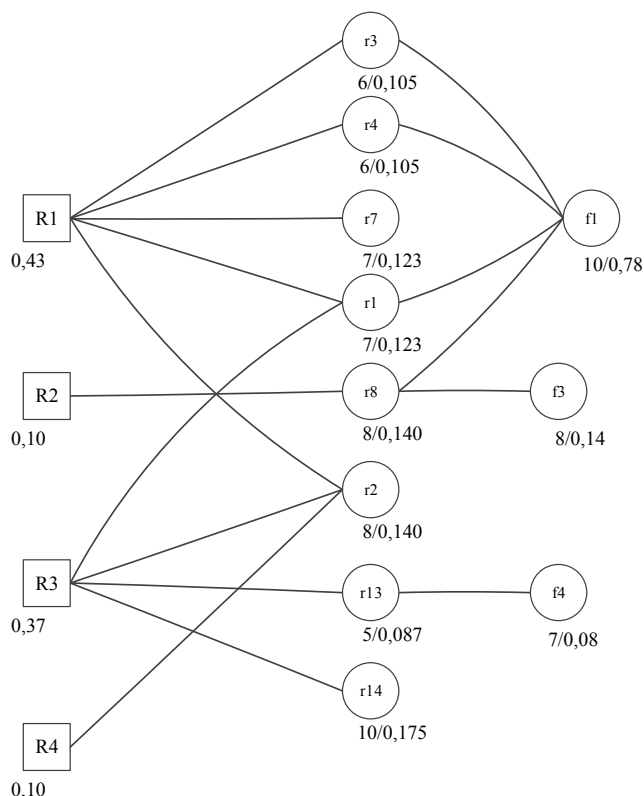


Figure 6 The correlation between indicated indicators and risks with high priority

The improvement. Based on the results obtained in this paper and identification of priority risks, improvement should be made by carrying out some organizational measures. Implementation of measures will lead the minimization of risks, improvement of the quality indicators of regional and federal evaluation and increase the efficiency of the MFC in Perm. Therefore there are some measures for indicated risks minimization: the increasing of working places quantity, extension of the MFC operators quantity, informing applicants about the required set of documents and rules of filling of it's components more thoroughly.

Also, it is rather necessary to develop and apply the applicants traffic management method for distributing the flow branches depending on the time, location and service type.

Conclusion

This research has been conducted at the MFC, leading in Russia over the last 3 years. So it has been revealed short stack of significant risks in the process of the state services providing which should be minimized. However, the method of service providing modeling with further analysis and definition of risk points proved to be a way to increase the efficiency of MFC operations and process.

The results obtained by this method, may be a justification for further stages of the modernization of the MFC structure in Perm region.

Bibliography

- [Andersen, 2003] B. Andersen. Business-processes. Improvement tools. M: RIA, 2003. 269 p.
- [Antipova, 2014] E.I. Antipova. Psychophysiological risks caused by working conditions of social work specialists. Ed. E.I. Antipova, D.Z. Shibkova. Chelyabinsk: Chelyabinsk University Publishing, 2014, 5p.
- [Bershadskaya, 2013] L.A. Bershadskaya. Research of the e-government structure methods. Ed. L.A. Bershadskaya, A.V. Chugunov. M: Problems of the government and municipal management, 2013. 23p.
- [Gerba, 2013] V.A. Gerba. Estimation of efficiency of the system of providing state services. Habarovsk: Habarovsk University Publishing, 2013, 5 p.
- [Kovalev, 2016] S.S. Kovalev. Models development of providing state and municipal services. Perm: Perm University Publishing 2016. 5p.
- [Kukina, 2012] E.E. Kukina. Economic risks at the enterprises of the real sector of economy: classification, estimation, control system. M: Social-economics processes, 2012. 4 p.
- [Lapusta, 1997] M.G. Lapusta. Risks in management. M: Ankil, 1997. 50 p.
- [Ponomarev, 2014] S.V. Ponomarev. The problems of the implementation information technologies into the system of the government management in Russia. Perm: The resources management, 2014. 15p.
- [Repin, 2013] V.V. Repin. Process-based management. The modeling of business-processes. Ed. V.V. Repin, V.G. Eliferov. M: Mann, 2013.
- [Strikh, 2011] N.I. Strikh. Business management theory developed on the basis of system approach and business engineering tools. Ed. N.I. Strikh and A.N. Strikh. M: MIP, 2011. 97 p.
- [Styrin, 2012] E.M. Styrin. System of the government services as an object of monitoring in Russian Federation. Ed. E.M. Styrin, S.M. Plaksin. HSE: Problems of the government and municipal management, 2012. 17 p.
-

Authors' Information

Stepan Kovalev – Engineer at ICS IT-company, e-mail: stepashka2014@gmail.com.

Major Fields of Scientific Research: information flows, modeling.

ESTABLISHING MOBILE LEARNING IN THE UKRAINE: PROBLEMS AND PROSPECTS

Oleksiy Voychenko, Nazar Mykhailiv, Larysa Savyuk

Abstract: *The article discusses the possibility of rapid deployment in the educational system of Ukraine mobile learning technologies, taking into account the peculiarities of development and implementation of information and communication technologies in the state. Conducted analysis of statistical data that reveal the results of mobile marketing in Ukraine through questionnaires of social networks users. The results of pilot experiments to create micro lessons for the mobile platform Android and the use of podcasting technology in the structure of distance learning courses, demonstrate loyalty to the chosen strategy of developing multi-platform applications for educational purposes.*

Keywords: *podcasting, mobile learning, LMS MOODLE, interface, multi-platform, native applications, Information Technology, infrastructure*

ACM Classification Keywords: *K.3.1 Computer Uses in Education - Collaborative learning; Distance learning*

Introduction

Mobile learning is closely connected with electronic and distance learning, the difference is the use of mobile devices. Training takes place regardless of location and is using portable technologies. In other words, the mobile learning reduces the restrictions of education at the location using portable devices.

Of particular importance is mobile learning for all age groups, who for various reasons are separated from stationary opportunities for education. In Ukraine today, many settlers from the east of the country, young people should be in anti-terrorist operations. For such people becomes necessary access to information and educational resources using mobile devices.

In addition, mobile learning technologies, able to solve a number of important task is related to overcoming gender issues and problems of social inequality of people with disabilities.

Therefore, today it is necessary to solve the problem of immediate implementation of mobile learning technologies in the life of Ukrainian society. The best way to implement mobile learning technologies is to develop cross-platform applications for educational purposes.

These mobile training applications can be used in the structure of higher education institutions humanitarian and technical training, as well as pre-school, school and vocational education.

Problems of implementation of mobile learning technologies in the post-Soviet educational space

The During the 9th Ministerial Conference on May 14-15, 2015 in Yerevan (Republic of Armenia), which was attended by 47 European ministers responsible for higher education and research activities, there was approved the updated "Standards and Guidelines for the guarantee quality in the European higher education area" (Environmental, Social And Governance (ESG) Criteria) [ESG,El.Res.]. This document deeply and meaningfully describes the procedures for internal quality assurance of higher education and defines the relationship between the education quality and the Bologna process.

Minister of Education and Science of Ukraine during the meeting of the Accreditation Commission noted that higher education institutions (HEIs) of Ukraine in their activity should be guided by the provisions of this document. The updated "Standards and Guidelines for Quality Assurance in the European Higher Education Area" identified priorities in higher education in Europe: preparing students for active citizenship, future career with the employability development, support their personal development, a broad base of excellence creation and encouraging researches and innovations.

When implementing the accepted standards and recommendations regarding higher education quality it is recommended to use models of student-centered learning, teaching and assessment with the maximum students' involvement in the educational process on the basis of intrinsic motivation and self-examination. Needs of each student should be taken into account through the flexible learning paths creation, use of different ways in educational services providing and advanced teaching methods as well as innovative technologies.

At the UNESCO headquarter in March 7-11, 2016 there was a week of training with the help of mobile technologies. The event organizers focused on the discussion of the prospects for the mobile learning technologies use in the following areas [Институт ЮНЕСКО, Эл.Рес.]:

- Mobile technology as a tool for the students' education quality improvement;
- Promotion mobile technologies to ensure full employment at the global labor market;
- Use of mobile technologies lifelong learning;
- Strategy of equal access to the mobile educational services for the female population, especially in the Third World.

When discussing the introduction of mobile technologies in the educational process one should consider the specificity of the post-Soviet countries. In particular, it is necessary to take into consideration several following factors.

The first factor is related to the characteristics of the mobile internet access. In Ukraine there is no so intensive Wi-Fi coverage as in the developed countries. Ukrainian cellular providers do not offer 4G and existing 3G coverage is not covering large areas so it is not available for all users. Accordingly, a

significant part of the Ukrainian people are still using the second generation standard EDGE coverage and thus can hardly obtain a sufficient connection speed to view live video or download educational content at the high connection speed. Another factor that should be taken into consideration is the variety of the mobile devices used by the students of Ukrainian universities. Latest models of smartphones and tablets are not accessible for the wide audience. In particular, the latest models of Apple mobile devices are not widely distributed. Due to economical reasons, the availability of such devices is rather low. Accordingly, the majority of educational services consumers are not using the latest mobile devices models. The specificity of our country is that the variety of mobile devices used by the students is impressively wide. They have mobile devices with OSs ranging from Symbian to iOS, from Windows Mobile to Windows Phone as well as almost all versions of Google Android [Мобільний маркетинг в Україні]. This factor has a significant impact on the development and integration the mobile technologies in the education system, so it should be taken into account when developing a mobile learning strategy.

The third factor is closely connected with the specific features and functionality of mobile learning content. Such content for mobile learning, especially in the conditions described above, requires a specific approach to its development. In particular, it is necessary to adopt it to relatively small mobile devices' screens, and especially to the low speed of Internet connection.

In the developed countries the traditional approach is to create native applications for mobile learning. Implementation of such approach in Ukraine faces some difficulties. In particular, there is a need to create native applications for a significant number of different mobile platforms. Accordingly, the cost of such native applications development is rather high and the most of Ukrainian educational institutions can hardly afford it.

Also in labor market of post-soviet countries there is a lack of professionals able to effectively develop native apps for various mobile platforms.

Taking into consideration all mentioned above it becomes clear that for effective and massive introduction of mobile technologies in the educational process in Ukraine it is necessary to look for alternative approaches. Moreover, substantial investments in Information Technology (IT) infrastructure of educational institutions are often problematic. Therefore, the most appropriate approach should mostly base on the existing IT infrastructure for distance learning.

Solutions to problems of implementation of educational mobile technology

To solve this problem we have performed a research and found following solutions:

- Podcasting;
- Web Apps on HTML5;

- Learning content in e-book readers-friendly formats.

Now let's consider mentioned solutions in more details.

When considering podcasting, the optimal way seems to be a usage of an existing LMS as a podcast-generating engine.

In particular we used LMS MOODLE as it is very popular learning management system in Ukraine, used by the majority of the educational institutions.

Podcast generation is not included in the LMS MOODLE default functionality, but there is a free plugin that extends the basic functionality and provides podcasts generation. This approach allows to generate educational podcasts based on the content of already existing in the LMS learning courses. Podcasting is very useful solution for mobile learning introduction as the most mobile platforms have free podcast player applications.

Creating learning podcast on the basis of the existing elearning infrastructure, in our case - LMS MOODLE, allows to cover maximum students audience, regardless on the mobile platforms they use. We have already gained some experience in the educational podcasts development [Oleksiy Voychenko, Larysa Savyuk, 2015]. Pilot experiments demonstrated high effectiveness and relevance of this mobile learning approach.

Example of the podcast mobile interface is presented at Figure 1.

The most important feature of Web Apps on HTML5 is that they are multi-platform, at least they are supported by majority of mobile platforms. Thus, there is no need to engage in the development of mobile learning applications for each platform. Another significant advantage of Web Apps developing is that the development of these applications does not require proprietary software, accordingly, it eliminates investments in the proprietary software acquisition. There are a lot of free software tools for HTML5 development.

Of course, Web Apps have certain limitations in comparison with native ones. Web Apps are unable to use the full range of capabilities of mobile devices such as camera, accelerometer, etc. But the basic functionality, including interactivity, which is provided by the browser, can be successfully used for learning purposes.

In many cases HTML5-based Web Apps may serve as an adequate alternative to the native applications. For example, HTML5 provides all necessary features for performing knowledge control, so it may be successfully used as a replacement for native applications for testing students.

E-book readers are popular in Ukraine due to the relatively low cost, so this class of devices should not be ignored in the mobile learning introduction.

In general, the learning process includes not only interactive and multimedia components. Reading texts is also an essential part of learning activity. Accordingly preparing static educational materials in

different formats suitable for various models of e-book readers, allows to extend the target audience and to ensure that students who do not have a powerful smartphone or tablet may download the prepared learning content to their e-book readers. So they may perform at least some part of learning activity through the available mobile devices they have.

We have developed a mobile application for learning the basics of the theory of automatic control for the most popular platform in Ukraine Android [Михайлів В., Сав'юк Л.О., 2015]. Figure 2 shows fragments of micro lessons with the inclusion of educational content, tests and multimedia pieces for educational purposes.

The main quality of these micro lessons - it's easy to use, easy interface and availability of materials. Easy is not overloaded interface allows even active mobile users in the first few minutes of using the app correctly orient the structure of the course and begin to assimilate training material.

It should be noted that these micro lessons are very popular among students. The next step in the development of the home means - in their transfer type milty educational platform applications.

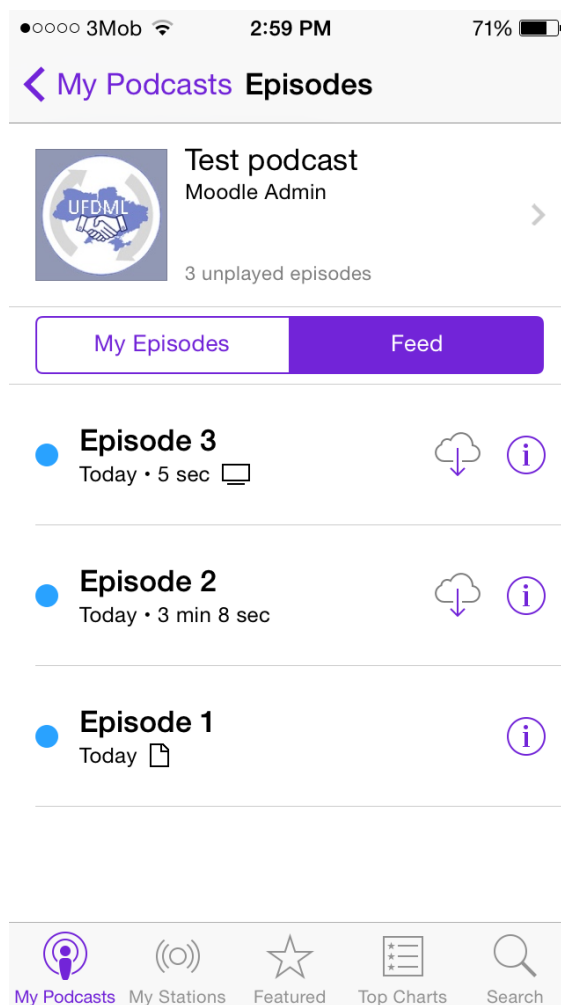


Figure 1. Example of the podcast mobile interface on iOS

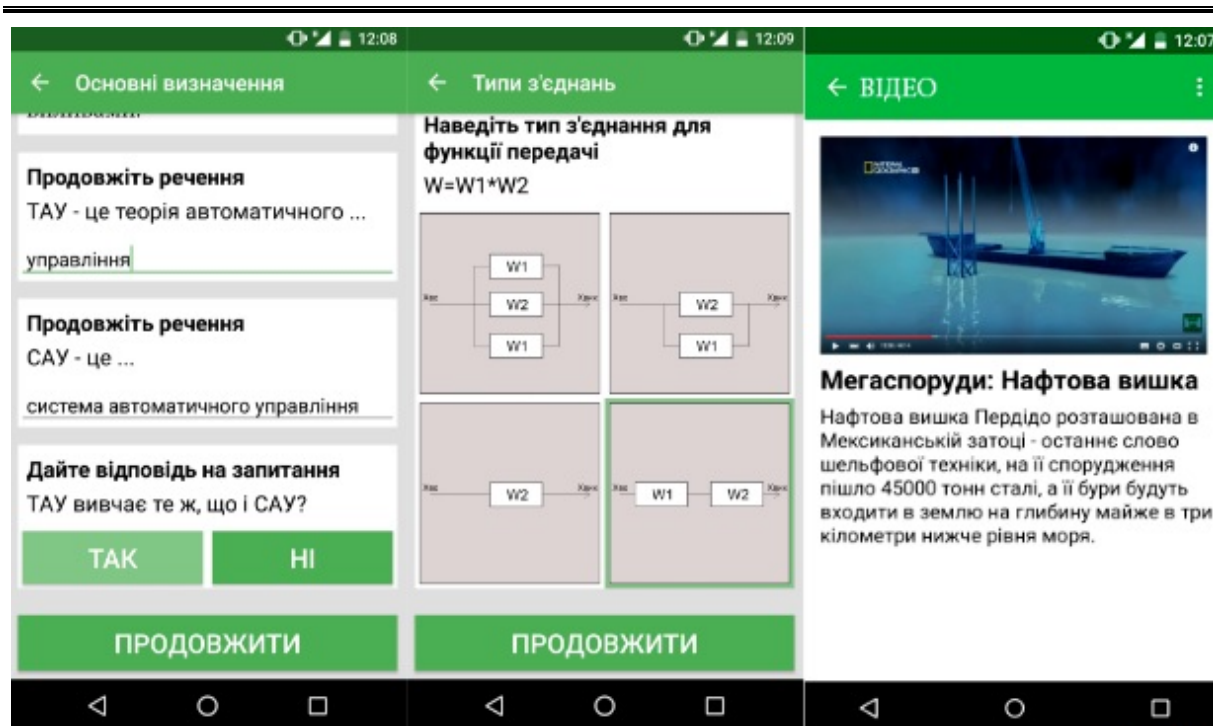


Figure 2. Fragments of micro lessons

Conclusion

In conclusion, at the current stage of technological development in our country, mobile learning is not a full-fledged alternative to the distance learning, but rather may serve as its effective extension.

The introduction of mobile technologies in the teaching process of secondary and higher education should be based on the assumption that the financial situation of the Ukrainian population does not allow them to use in everyday life mobile devices of expensive brands. However, today in Ukraine has not paid enough attention for the deployment of pilot projects to create multi-platform mobile applications educational purposes. This is not consistent with the policy of the European community, that is aimed at providing equal access to educational resources for all members of society with limited material possibilities and people with high needs.

These development are particularly important for Ukraine, which is under a deep economic crisis and military occupation

Bibliography

[ESG,EI.Res.] Environmental, Social And Governance (ESG) Criteria
<http://www.investopedia.com/terms/e/environmental-social-and-governance-esg-criteria.asp>

[Oleksiy Voychenko, Larysa Savyuk, 2015] Podcasts: a bridge from e-learning to m-learning / Oleksiy Voychenko, Larysa Savyuk // International Journal "Information Technologies & Knowledge" .-

Volume 9.- Number 2.- Institute of Information Theories and Application FOI ITHEA,- Sofia, Bulgaria.- 2015.- С. 124-131

[Институт ЮНЕСКО, Эл.Рес.] Институт ЮНЕСКО по информационным технологиям в образовании. Неделя ЮНЕСКО по использованию мобильных технологий <http://ru.iite.unesco.org/anons/29/>

[Михайлів В., Сав'юк Л.О., 2015] Михайлів В., Сав'юк Л.О. Мобільне навчання технічним дисциплінам на платформі Android. – Збірка праць X міжнародної конференції «Нові інформаційні технології в освіті для всіх» (ІТЕА-2015) Ч.2.-26-27 листопада 2015 року.- Київ.- С. 139-145

[Мобільний маркетинг в Україні] Мобільний маркетинг в Україні. Актуальна статистика українських "мобільних" користувачів соцмережі «ВКонтакте» <http://www.mobilemarketing.com.ua/2015/09/17/aktualna-statistika-ukra%D1%97nskix-mobilnix-koristuvachiv-socmerezhi-vkontakte/>

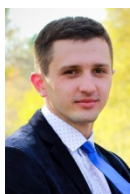
Authors' Information



Larysa Savyuk – Chair of NGO "Ukrainian forum for distance and mobile learning", Ivano – Frankivsk, Promislova st. 2-B; e-mail: larisasavyuk@ufdml.org
Ph D, Assistant professor of Department of information and communication technologies and systems, Ivano - Frankivsk National Technical University of Oil and Gas Ukraine;
Major Fields of Scientific Research: Design of remote and mobile learning systems. Development of E-level interactive content based on individual learning paths. Development of the automated laboratory Remote Access workshops and training facilities to support higher engineering education.



Oleksiy Voychenko –Executive director of Ukrainian forum of distance and mobile learning, researcher at IRTC ITS; A member of program Committee for 11th International Conference on Mobile Learning 2015; e –mail: alvo@ufdml.org
Major Fields of Scientific Research: development of Web-oriented cross-platform applications of the educational purpose, system administrator of the LMS Moodle, a specialist of Web programming.



Nazar Mykhailiv – Chairman of the Technical Committee of NGO "Ukrainian forum for distance and mobile learning", Ivano – Frankivsk, Promislova st. 2-B; PhD student of Department of Department of information and communication technologies and systems, Ivano - Frankivsk National Technical University of Oil and Gas Ukraine. e-mail: nazar.mykhailiv@gmail.com

ЭКСТРАКЦИЯ ФАКТОВ ИЗ СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННОЙ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Нина Хайрова, Наталья Шаронова, Аджит Пратап Сингх Гаутам

Аннотация Извлечение фактов из текстов представляет собой одно из центральных направлений *Natural Language Processing*. Большинство существующих подходов позволяет извлекать факты из хорошо структурированных текстов узкой тематической направленности, тогда как наибольший интерес представляет возможность автоматизации извлечения фактической информации из слабоструктурированных текстов неограниченных предметных областей. Факт, представляющий собой фиксацию некоторого отношения сущностей в предложении, можно записать в виде триплета: *Subject - Predicate - Object*, в котором предикат представляет отношение, а субъект и объект определяют два предмета или понятия. В работе предлагается строгая модель, связывающая смысловые отношения между сущностями с элементами поверхностной структуры предложений естественного языка. Для формализации и явного представления средствами поверхностной структуры участников триплета факта, называемого предложением английского языка, выделены и описаны предметными переменными конечные множества синтаксических и морфологических категорий. В статье рассмотрены три типа фактов и их атрибутов. Разработана программная имплементация полученной модели, предложена метрика формальной оценки эффективности технологии экстракции фактов из слабоструктурированной текстовой информации и обоснован объем экспериментальной выборки текстов, позволившей подтвердить достоверность полученной точности и полноты извлекаемых фактов.

Ключевые слова: извлечение фактов из текста, *Natural Language Processing*, семантические отношения, алгебра конечных предикатов, полнота и точность.

ACM Classification Keywords: H.3.3 .Information Search and Retrieval, I.2.4. Knowledge Representation Formalisms and Methods

Введение

Извлечение фактов из текстов представляет собой одно из центральных направлений автоматической обработки естественного языка — *Natural Language Processing (NLP)*. Существует достаточное количество исследований в данном направлении, но пока не появились

достаточно надежные систем, извлекающих факты из слабоструктурированных текстов [Хайрова, 2015]. Традиционно используемые подходы: поиск по шаблону, поиск опорного элемента, поиск по онтологии и т.д. имеют как свои преимущества, так и недостатки. Но все они работают только на заранее определенных предметных областях, ограничивающих тематику исследуемых текстов, и требуют хорошо структурированных текстов (патентов, библиографических описаний, авторефератов и т.д.). В то же время подавляющая часть текстовой информации, представленной в компьютерных сетях, – это не структурированные и слабоструктурированные тексты различной тематической направленности.

Общая постановка задачи

Факты представляют собой классифицированные, зафиксированные и произошедшие события. Субъектами фактов, как правило, являются сущности, объекты или темы, которые обладают дополнительными выделенными свойствами (временными, пространственными, качественными, количественными и т.д.) [Andersen, 1994]. При этом факт может быть извлечен из текстовой информации (как слабо структурированной, так и не структурированной) и может определять как свойства объекта, так и связь объекта с другими объектами.

Согласно «Логико-философскому трактату» [Витгенштейн, 2005] мир подразделяется на факты, любой факт — это фиксация некоторого отношения. Все факты фиксируются фразами, а структура любого предложения включает несколько каким-то образом связанных объектов, например, элементарное предложение связывает два объекта. Таким образом, для получения фактической картины мира необходимо построить модель, связывающую лингвистические элементы текста с их содержательной формой. При этом, факты выделяются из предложений, содержащих упоминание сущности или анафорические ссылки на нее.

Структурное описание модели

Для извлечения связей между определенными понятиями в тексте необходимо выделить семантические (или понятийные) связи в предложении. Для этого необходимо разработать строгую модель, связывающую информацию, содержащуюся в определении смысловых связей с элементами поверхностной структуры предложений естественного языка.

Для формализации и явного представления средствами поверхностной структуры субъекта и объекта триплета факта *Subject*→*Predicate*→*Object*, называемого предложением английского языка, выделены и описаны предметными переменными следующие конечные множества синтаксических и морфологических категорий:

$$z^{to} \vee z^{by} \vee z^{with} \vee z^{about} \vee z^{of} \vee z^{on} \vee z^{at} \vee z^{in} \vee z^{out} = 1,$$

$$y^{ap} \vee y^{aps} \vee y^{out} = 1, \quad x^f \vee x^l \vee x^{kos} = 1,$$

$$m^{is} \vee m^{are} \vee m^{havb} \vee m^{hasb} \vee m^{hadb} \vee m^{was} \vee m^{were} \vee m^{out} = 1,$$

$$p^{ll} \vee p^{ed} \vee p^l \vee p^{ing} \vee p^{ll} = 1,$$

где z — предметная переменная, определяющая синтаксические характеристики наличия (*to, by, with, about, of, on, at, in*) или отсутствия (*out*) предлога в английской фразе; y — предметная переменная, определяющая наличие (*ap, aps*) или отсутствие (*out*) апострофа в конце слова; x — предметная переменная, определяющая позицию существительного перед (*f*), после (*l*) личным глаголом или после непрямого дополнения (*kos*); m — предметная переменная, определяющая существование любой формы глагола "to be" (*is, are, havb, hasb, hadb, was, were, out*); p — предметная переменная, определяющая форму основного глагола (*lll, ed, l, ing, ll*).

Семантическое значение участников действия, называемых словами предложения, определяется предикатом [Хайрова, 2015]

$$P(x, y, z, m, p) \rightarrow P(x) \wedge P(y) \wedge P(z) \wedge P(m) \wedge P(p).$$

В конъюнкции предикатов, описывающей взаимосвязь грамматических характеристик слов, предикат γ_k исключает часть связей поверхностной структуры, не присущих сущностям триплета факта

$$P(x, y, z, m, p) = \gamma_k(x, y, z, m, p) \wedge P(x) \wedge P(y) \wedge P(z) \wedge P(m) \wedge P(p).$$

где $k \in [1; h]$, h — число рассматриваемых в системе фактов. Предикат γ_k принимает значение 1, если комплекс выбранных характеристик для n -ой фразы формирует некоторое семантическое значение участника триплета, и значение 0 в противном случае.

Рассмотрено несколько профильных типов фактов: 1) утверждения об обладании (или принадлежности) некоторой сущности субъекта некоторой сущностью объекта (рис. 1); 2) утверждение о перемещении субъектом объекта; 3) утверждение о потере (продаже) некоторого объекта некоторым субъектом; а также факты-атрибуты трех вышеупомянутых типов фактов — времени действия, локации действия и иерархической принадлежности субъекта или объекта действия факта иной сущности.

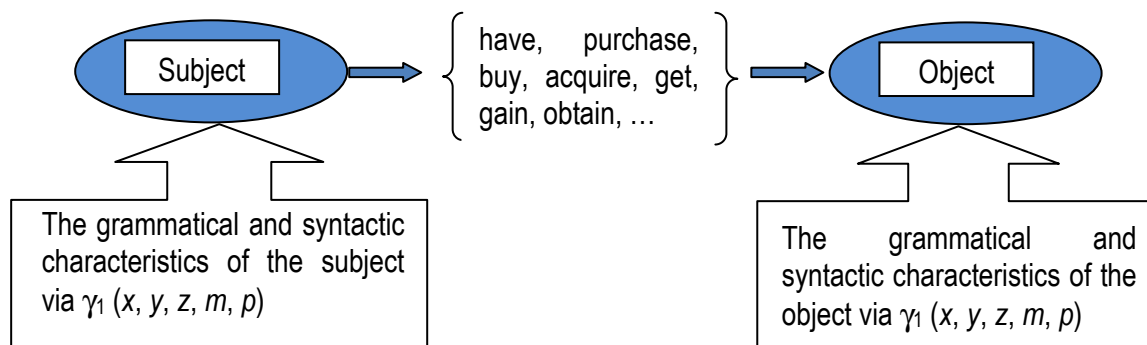


Рис. 1. Структурная схема идентификации факта принадлежности (собственности).

Предикат $\gamma_1(x, y, z, m, p)$ определяет грамматические и синтаксические характеристики *Subject* триплета факта:

$$\begin{aligned} \gamma_1(x, y, z, m, p) = & z^{\text{out}} y^{\text{out}} x^{\text{f}} m^{\text{out}} p^{\text{I}} \vee z^{\text{out}} y^{\text{out}} x^{\text{f}} m^{\text{out}} p^{\text{II}} \vee z^{\text{out}} y^{\text{out}} x^{\text{f}} m^{\text{out}} p^{\text{ed}} \vee \\ & z^{\text{by}} y^{\text{out}} x^{\text{f}} p^{\text{ed}} (m^{\text{is}} \vee m^{\text{are}} \vee m^{\text{havb}} \vee m^{\text{hasb}} \vee m^{\text{hadb}} \vee m^{\text{was}} \vee m^{\text{were}}) \vee \\ & z^{\text{by}} y^{\text{out}} x^{\text{f}} p^{\text{III}} (m^{\text{is}} \vee m^{\text{are}} \vee m^{\text{havb}} \vee m^{\text{hasb}} \vee m^{\text{hadb}} \vee m^{\text{was}} \vee m^{\text{were}}). \end{aligned} \quad (1)$$

Предикат $\gamma_2(x, y, z, m, p)$ определяет грамматические и синтаксические характеристики объекта факта:

$$\begin{aligned} \gamma_2(x, y, z, m, p) = & z^{\text{out}} y^{\text{out}} x^{\text{f}} m^{\text{out}} p^{\text{I}} \vee z^{\text{out}} y^{\text{out}} x^{\text{f}} m^{\text{out}} p^{\text{ed}} \vee z^{\text{out}} y^{\text{out}} x^{\text{f}} m^{\text{out}} p^{\text{II}} \vee \\ & \vee z^{\text{out}} y^{\text{out}} x^{\text{f}} p^{\text{III}} (m^{\text{is}} \vee m^{\text{are}} \vee m^{\text{havb}} \vee m^{\text{hasb}} \vee m^{\text{hadb}} \vee m^{\text{was}} \vee m^{\text{were}}) \vee z^{\text{out}} y^{\text{out}} x^{\text{f}} p^{\text{ed}} (m^{\text{is}} \vee \\ & \vee m^{\text{are}} \vee m^{\text{havb}} \vee m^{\text{hasb}} \vee m^{\text{hadb}} \vee m^{\text{was}} \vee m^{\text{were}}). \end{aligned} \quad (2)$$

Предикат $\gamma_3(x, y, z, m, p)$ определяет грамматические характеристики атрибута времени действия факта:

$$\begin{aligned} \gamma_3(x, y, z, m, p) = & (z^{\text{on}} x^{\text{kos}} y^{\text{out}} \vee z^{\text{in}} x^{\text{kos}} y^{\text{out}} \vee z^{\text{at}} x^{\text{kos}} (p^{\text{III}} \vee p^{\text{ed}} \vee p^{\text{I}} \vee p^{\text{ing}} \vee \\ & \vee p^{\text{II}}) (m^{\text{is}} \vee m^{\text{are}} \vee m^{\text{havb}} \vee m^{\text{hasb}} \vee m^{\text{hadb}} \vee m^{\text{was}} \vee m^{\text{were}} \vee m^{\text{out}}). \end{aligned} \quad (3)$$

Предикат $\gamma_4(x, y, z, m, p)$ определяет грамматические характеристики атрибута иерархической принадлежности субъекта или объекта действия факта иной сущности:

$$\begin{aligned} \gamma_4(x, y, z, m, p) = & z^{\text{out}} x^{\text{f}} (y^{\text{ap}} \vee y^{\text{aps}}) (m^{\text{is}} \vee m^{\text{are}} \vee m^{\text{havb}} \vee m^{\text{hasb}} \vee m^{\text{hadb}} \vee \\ & \vee m^{\text{was}} \vee m^{\text{were}} \vee m^{\text{out}}) (p^{\text{III}} \vee p^{\text{ed}} \vee p^{\text{I}} \vee p^{\text{ing}} \vee p^{\text{II}}). \end{aligned} \quad (4)$$

Предикаты γ_1 и γ_2 определяют первый тип фактов – факты описывающие связь двух сущностей, при этом одна из сущностей будет определяться как субъект, а вторая как объект предикатного действия. Например, “*the company had revenue*” (субъект: *company*, объект: *revenue*, предикат: *had*). Предикаты γ_3 и γ_4 определяют второй тип фактов – факты представляет собой триплет: предмет – атрибут – значение, где предмет – это объект, о котором фиксируется факт, атрибут – некоторое именованное, заранее определенное свойство, а значение представляет собой некоторое значение, область определения которого может быть в некоторых случаях известна. Например, это могут быть факты атрибутов места и времени осуществления некоторого действия.

Примеры идентификации фактов в английских текстах

Рассмотрим несколько примеров извлечения фактов из предложений английского языка. В предложении:

“*The company bought back the business from OTIV*”,

с помощью глагола *bought* → *buy* выделяется факт, относящийся к фактам наличия или приобретения некоторого объекта некоторым субъектом. Согласно уравнению (1) существительное "*company*" определяется как субъект данного факта. Грамматические и синтаксические характеристики данного существительного соответствуют конъюнкции

$$\gamma'_1(x, y, z, m, p) = z^{\text{out}} y^{\text{out}} x^f m^{\text{out}} p^{\text{ll}}.$$

Согласно уравнению (2) существительное "*business*" определяется как объект данного факта. Грамматические и синтаксические характеристики данного существительного соответствуют конъюнкции

$$\gamma'_2(x, y, z, m, p) = z^{\text{out}} y^{\text{out}} x^l m^{\text{out}} p^{\text{ll}}.$$

Второе рассматриваемое предложение:

"The companies' shares were sold by the investor on Tuesday ",

сообщает факт отсутствия или потери некоторого объекта. Факт определяется глаголом *sold* → *sell*. Согласно уравнению (1) существительное "*investor*" определяется как субъект данного факта. Грамматические и синтаксические характеристики данного существительного соответствуют конъюнкции

$$\gamma''_1(x, y, z, m, p) = z^{\text{by}} y^{\text{out}} x^l p^{\text{lll}} m^{\text{were}}.$$

Согласно уравнению (2) существительное "*shares*" (→*share*) определяется как объект данного факта. Грамматические и синтаксические характеристики данного существительного соответствуют конъюнкции

$$\gamma''_2(x, y, z, m, p) = z^{\text{out}} y^{\text{out}} x^f p^{\text{lll}} m^{\text{were}}.$$

Слово "*Tuesday*" определяется как объект атрибута времени факта продажи. Слово выделяется с помощью конъюнкции предиката (3)

$$\gamma''_3(x, y, z, m, p) = z^{\text{on}} x^{\text{kos}} y^{\text{out}} p^{\text{lll}} m^{\text{were}}.$$

Слово "*companies'*" определяется как объект принадлежности субъекта факта продажи. Слово выделяется с помощью конъюнкции предиката (4)

$$\gamma''_4(x, y, z, m, p) = z^{\text{out}} x^f y^{\text{aps}} p^{\text{lll}} m^{\text{were}}.$$

Имплементация технологии в Web-приложение

Разработанная технология была имплементирована в Web-приложение, которое обрабатывает текст или тексты выбранных файлов. Извлеченная фактическая информация представляется в окне (рис. 2), отображающем: (1) исходное предложение, из которого экстрагируется факт; (2) предикат факта, в виде инфинитивной формы глагола; (3) субъект и объект факта, в

канонической форме существительного; (4) возможные атрибуты факта – время, место действия, принадлежность субъекта или объекта.

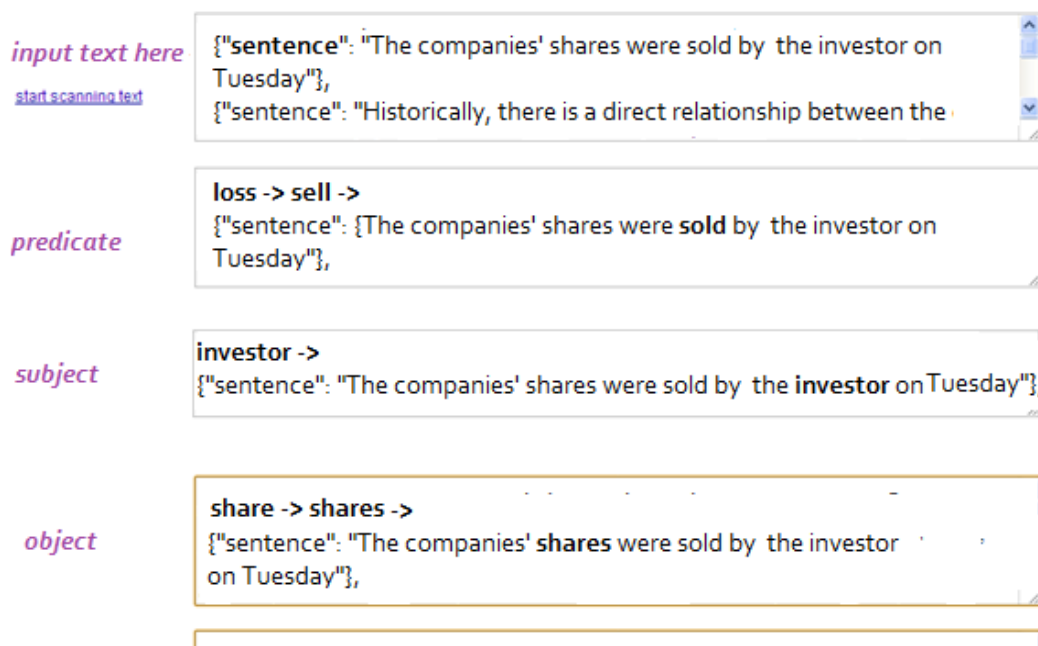


Рис. 2. Пример извлечения фактической информации

В результате работы разработанного приложения отображаются: (1) исходное предложение, (2) предикат и тип предиката факта, (3) субъект и объект факта, (4) атрибуты времени, места действия и принадлежности субъекта или объекта факта.

Приложение определяет профильные типы фактов анализируемых объектов:

- факт наличия или приобретения некоторого объекта некоторым субъектом; в английских предложениях факты данного типа базируются на предикате, определяемом предварительно выделенным множеством глаголов $V_{possess} = \{possess, have, purchase, buy, acquire, get, gain, obtain\}$;
- факт отсутствия некоторого объекта у некоторого субъекта; в английских предложениях факты данного типа базируются на предикате, определяемом предварительно выделенным множеством глаголов $V_{lacking} = \{sell, market, realize, forfeit, lose, \dots\}$;
- факт перемещения некоторого объекта некоторым субъектом; в английских предложениях факты данного типа базируются на предикате, определяемом предварительно выделенным множеством глаголов $V_{transfer} = \{move, relocate, displace, transport, transfer, \dots\}$
- факт атрибута времени, отображающий темпоральную характеристику события, позволяющую определить дату или некоторые временные характеристики (день недели, месяц, год) и их комбинации;
- факт атрибута места расположения (географическое расположение с указанием иерархии географического включения);

-
- атрибут принадлежности субъекта или объекта участников факта;
 - факт атрибута, характеризующего деятельность организации (сферу и продукт ее деятельности).
-

Формальная оценка эффективности технологии экстракции фактов из слабоструктурированной текстовой информации

Для оценки эффективности технологии идентификации знаний из текстового контента необходимо определить метрики, представляющие объективно измеряемые показатели деятельности пользователей до и после внедрения предложенной технологии. На сегодняшний день не существует подобных стандартных метрик, позволяющих измерить качество и эффективность технологий идентификации и экстракции знаний, извлеченных из текстовых массивов [Хайрова, 2014]. В общем случае для оценки эффективности информационной обработки текстов, например классификации, кластеризации или информационного поиска, а также методов Text Mining, Opinion Mining, Web Mining, используется метод тестовых коллекций [Шабанов, 2003; Cormack, 1998]. При этом возникают дополнительные проблемы, связанные с субъективностью мнения эксперта, отсутствием общепринятого определения понятия “качества знания”, а также достоверностью полученного результата для всех рассматриваемых текстов.

Для определения объема экспериментально исследуемых текстов используется метод математической теории выборки, определяющий механизмы формирования репрезентативной выборки, изучение которой позволяет получить информацию о генеральной совокупности, из которой она была выбрана. Оценивая долю признака в генеральной совокупности, которая показывает отношение числа интересующих нас фактов к общему числу фактов в данной коллекции документов, по соответствующей доле признака в выборке, по соотношениям для выборок достаточно большого объема (> 20 элементов), задавшись допустимым для лингвистических исследований значением $Z_{0,05} = 1,96$ и допустимой величиной предельной ошибки $e=0,05$, определяем искомый объем репрезентативной выборки $N_{MAX} = 385$ фактов, [Хайрова, 2014].

Определяя факт в виде триплета: *Subject* \rightarrow *Predicate* \rightarrow *Object*, центральной частью которого является действие, определяемое личным глаголом предложения, а сущности субъекта и объекта определяются существительными актантами данного действия, мы обозначаем возможность выражения факта одним простым предложением. Данное утверждение подтверждается лингвистами, утверждающими, что пропозициональная структура предложения служит способом кодирования языковыми средствами информации о конкретных положениях дел в действительности, т.е. о конкретных фактах и событиях. Этому служат конструктивные схемы с позициями для предиката и актантов [Сусов, 2006]. Так, например, согласно

С. Д. Кацнельсону [Кацнельсон, 1972]: “Непосредственной реальностью мира являются процессы, события, факты, данные в их пространственных и временных границах...; их отображает речь в своих предложениях”. Таким образом, каждое базовое предложение английского языка, представляющее некоторое высказывание, за исключением повелительных предложений, типа “Like sit!”, “And go!”, выражает тот или иной факт.

Обычно в английском языке используются достаточно короткие предложения. Martin Cutts в “Oxford Guide to Plain English” [Cutts, 2010] говорит о максимальной длине понимаемого предложения в 20 слов. В среднем длина предложения определяется как $10 \leq n \leq 20$, где n – количество слов в предложении. В научных текстах наблюдается и допускается большая длина предложений до 25-30 слов [Moore, 2011], но существуют исследования, показывающие уменьшение читабельности и уменьшения понимания таких текстов [Zinsser, 2016].

Кроме того, проведенный анализ показывает, что в деловых предложениях английского языка используются короткие слова. При максимальной длине предложения в 20 слов, средняя длина слова определяется как 5,67 символов [Ку, 2003], тогда средняя длина предложения определяется как 75-100 символов.

Используя знания о средней длине предложения, мы можем определить размер текстовой выборки, позволяющей осуществить достоверное оценивание результата эффективности разработанной информационной технологии:

$$\text{Length}_{\text{byte}} \approx 365 * 100 + 10 * 100 = 37\,500$$

Таким образом, расчеты показывают, что превосходящий объем текста (ASCII кодировки), представляющего репрезентативную выборку предложений, обрабатываемых информационной системой, с учетом вводных и повелительных предложений должен быть приблизительно равен 38 кБайт. При этом, следует заметить, что объем выбран с большим превосходящим запасом и явным преувеличением количества повелительных предложений и междометий в деловых бизнес текстах.

В качестве метрики оценки эффективности разработанной технологии будем использовать интегральные показатели оценки качества извлеченных из разнородных электронных источников знаний [Кураленок, 2002], основанные на показателях количественной оценки эффективности поиска, утвержденные межгосударственным стандартом по информации, библиотечному и издательскому делу. Такими показателями являются: коэффициент точности — *precision*, коэффициент полноты — *recall*.

Для вычисления данных коэффициентов, после проведения эксперимента любой определенной программным приложением факт, представляющий собой триплет (Subject → Predicate → Object), определим как принадлежащий к одному из классов:

- 1) правильно определенные приложением корректные факты;
- 2) неправильно определенные приложением некорректные факты;
- 3) корректные факты, содержащиеся в анализируемом тексте, который не определены приложением.

При этом, факт считается идентифицированным программным приложением корректно, если все элементы триплета (предикат, субъект и объект) определены правильно. Коэффициенты полноты и точности рассчитываются на базе значений следующих параметров:

- n_{yy} — число правильно идентифицированных программным приложением фактов;
- n_{yn} — число идентифицированных программным приложением некорректных фактов (фактов, которые определены экспертом как некорректные);
- n_{ny} — число фактов, которые остались не идентифицированными программным приложением.

Используя выше приведенные параметры, коэффициенты полноты и точности работы программы определяются по формулам:

$$\text{precision} = n_{yy} / (n_{yy} + n_{yn}),$$

$$\text{recall} = n_{yy} / (n_{yy} + n_{ny}).$$

Исследовалось около 400 предложений для каждого типа фактов: (1) факты наличия некоторого объекта у некоторого субъекта, (2) факты отсутствия некоторого объекта у некоторого субъекта, (3) факты перемещения некоторого объекта некоторым субъектом, (4) факты атрибута времени, (5) факты атрибута места расположения, (6) атрибуты принадлежности субъекта или объекта факта, (7) факты характеризующие деятельность корпорации или организации. Результаты проведенного эксперимента показаны в таблице 1

Таблица 1. Результаты расчетов коэффициентов точности и полноты

	Facts of the lack of...	Facts of possession of ...	Facts of a displacement	Attributes of time	Attributes of location	Attributes of belonging	Attributes of industry
recall	0,92	0,91	0,91	0,97	0,96	0,95	0,94
precision	0,81	0,79	0,76	0,90	0,90	0,89	0,84

Средний коэффициент полноты, определяемый отношением числа правильно идентифицированных программным приложением фактов к общему числу корректных фактов данного типа, представленных в тексте, $\text{recall} = 0,94$

Средний коэффициент точности, определяемый отношением числа правильно идентифицированных программным приложением фактов к общему числу определенных системой фактов (как корректных так и не верных), precision = 0,84

Выводы

Разработанная логико-лингвистическая модель позволяет извлекать факты из слабоструктурированных текстов неограниченных предметных областей. В модели смысловые связи между сущностями выражаются через поверхностные характеристики партиципантов предложений английского языка. Рассматривались следующие грамматические характеристики: наличие после главного глагола конкретного предлога, наличие или отсутствие апострофа в конце партиципанта, позицию партиципанта по отношению к главному глаголу, наличие глагола "to be", формы основного глагола. Были введены предикаты: субъекта и объекта трех типов фактов: факт наличия или приобретения некоторого объекта некоторым субъектом; факт отсутствия некоторого объекта у некоторого субъекта и факт перемещения некоторого объекта некоторым субъектом, а также предикаты атрибута времени, атрибута места расположения и атрибута принадлежности субъекта или объекта участников факта. Эффективность имплементированной в программное приложение модели оценивалась с помощью показателей полноты и точности. Для определения объема экспериментальной выборки исследуемых предложений использовался метод математической теории выборки, позволивший оценить объем текстов, экспериментальное исследование которых подтверждает достоверность построенной модели. Полученные средние коэффициенты полноты recall = 0,94 и точности precision = 0,84 выборки всех рассмотренных типов фактов выше, чем в аналогичных системах, работающих с неструктурированной текстовой информацией неограниченных предметных областей.

Литература:

- [Andersen, 1994] Andersen, P. M., Huettner, A. K. Knowledge engineering for the JASPER fact extraction system. *Integrated Computer-Aided Engineering*. – 1 (6), 1994. – 473–493.
- [Cormack, 1998] Cormack G.V. A Efficient construction of large test collections // G. V. Cormack , C. R. Palmer , C. L. Clarke // *Proc. of the SIGIR'98* — P. 282—289.
- [Cutts, 2010] Martin Cutts. *Oxford guide to plain English*. Oxford University Press, USA. – 2010.– 272 p.
- [Ku, 2003] Anne Ku. The joys and pains of writing and editing [Электронный ресурс] // *Le Bon Journal*. 2003. Vol. 2. Issue Режим доступа: <http://www.bonjournal.com/volume2/issue1writing.pdf>
- [Moore, 2011] Andrew Moore. The Long Sentence: A Disservice to Science in the Internet Age. – *Bioessays*, Vol. 33, No. 12. (2011), pp. 193-193

[Zinsser, 2016] William Zinsser. Writing Well / Harper Perennial. – 2016.– 336 p

[Витгенштейн, 2005] Людвиг Витгенштейн. Избранные работы / Пер. с нем. и англ. В. Руднева. М.: Издательский дом «Территория будущего», 2005. — с. 440

[Кацнельсон, 1972] Кацнельсон С.Д. Типология языка и речевое мышление. Ленинград: Наука, 1972. – 213 с.

[Кураленок, 2002] Кураленок И. Оценка систем текстового поиска/ И. Кураленок , И. Некрестьянов // Программирование. — 2002. — N 28(4). — С.226–242.

[Сусов, 2006] Сусов И. П. Введение в теоретическое языкознание М.: Восток - Запад, 2006. 382 с.

[Хайрова, 2014] Хайрова Н., Шаронова Н., Узлов Д. Решение проблемы формальной оценки эффективности технологий идентификации знаний в слабоструктурированной текстовой информации. // International Journal "Information Content & Processing" — Vol. 1, Number 3, 2014. — С. 239 —248.

[Хайрова, 2015] Хайрова Н., Шаронова Н., Аджит Пратап Сингх Гаутам Логико-лингвистическая модель генерации фактов из текстовых потоков информационной корпоративной системы// International Journal Information theories & application – 2015. vol. 22. № 2. – P 142-152.

[Шабанов, 2003] Шабанов В.И. Метод классификации текстовых документов, основанный на полнотекстовом поиске / В.И. Шабанов, А.М. Андреев // Труды РОМИП'2003. — СПб. : НИИ Химии СПб гос. ун-та, 2003. — С.52—71.

Authors' Information



Нина Хайрова – профессор кафедры интеллектуальных компьютерных систем Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, Харьков, 61002, Украина e-mail: nina_khajrova@yahoo.com

Научные интересы: искусственный интеллект, идентификация знаний из текстов, Text Mining, Opinion Mining, Web Mining, Natural language processing



Наталья Шаронова – профессор, заведующий кафедрой интеллектуальных компьютерных систем Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, Харьков, 61002, Украина e-mail: nvsharonova@mail.ru

Научные интересы: искусственный интеллект, математическое моделирование, автоматизированные библиотечные системы, прикладная лингвистика



Аджит Праатап Сингх Гаутам – аспирант кафедры интеллектуальных компьютерных систем Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, Харьков, 61002, Украина. e-mail: apsgautam@gmail.com

Научные интересы: интегрированные корпоративные системы, информационные технологии, модели представления знаний

Facts extraction from the semi-structured text information

Nina Khairova, Nataliya Sharonova, Ajit Pratap Singh Gautam

Abstract: *Fact extraction from the text is one of the most important areas of Natural Language Processing (NLP). Majority of existing approaches allows extracting facts from structured textual information of the specific subject areas. This paper proposes a logical-linguistic model extracting facts from semi-structured texts in English, which belong to unlimited subject areas. A fact is written in the form of a triplet: Subject - Predicate - Object, in which the Predicate defines the relations and Subject and Object define the subjects, objects or concepts. Our model defines meaning relations via grammatical and semantic features of the words in English sentences. In order to formalize and represent the participants of the fact triplet explicitly, we identify subject variables. The subject variables define a finite set of morphological and syntactic features of the words in sentences. The model was successfully implemented in the system of extraction and identification of a few types of the facts: the fact of lacking, the fact of ownership, the fact of transferring, and the fact of the presence of the attribute of time, location, and belonging for the first three fact actions. We estimated the effectiveness of our model via the coefficients of precision and recall. Results of the paper show that using of the model lets increase the numerical values of these coefficients.*

Keywords: *facts extraction from the text, Natural Language Processing, semantic relations, the algebra of finite predicates, recall and precision.*

ЗАДАЧА ВЫБОРА КОММУТАЦИОННОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Галина С. Гайворонская, Борис А. Рыбалов

Аннотация: Рассмотрены преимущества использования оптических технологий для передачи информации по телекоммуникационным сетям. Выполнен анализ методов повышения быстродействия коммутации оптических сигналов с использованием оптического управления. Проведен анализ характеристик одиннадцати типов оптических коммутационных элементов с использованием электронного и оптического управления. Решена двухкритериальная задача выбора реализации оптических коммутационных элементов при использовании шести показателей приемлемости, а именно быстродействие, стоимость, потребляемая мощность, надежность, тип управления коммутацией и чувствительность к шумам. Построены диаграммы Хассе для показателей качества выбранных вариантов оптических коммутационных элементов. По результатам решения задачи выбран оптический коммутационный элемент, на основе интерферометра Фабри-Перо.

Ключевые слова: Оптические телекоммуникационные сети, оптический коммутационный элемент, система коммутации оптических сигналов.

Ключевые слова классификации АСМ: В.4 INPUT/OUTPUT AND DATA COMMUNICATIONS - В.4.3 Interconnections (subsystems), Н.4.3 Communications Applications.

Введение

Современную вычислительную технику, средства связи, управления и обработки сигналов невозможно представить без применения оптических технологий. Это, с одной стороны, является следствием стремительного развития волоконных и интегральных оптических технологий, а с другой стороны – следствием постоянно возрастающих требований по увеличению информационной емкости каналов, скорости обработки сообщений и надежности телекоммуникационных сетей и систем. Тем не менее, широкий круг сетевых задач на сегодняшний день, как и ранее, решаются посредством использования электронных компонентов, что не только ограничивает быстродействие телекоммуникационных сетей (ТС) в целом, но и требует дополнительной инженерной проработки вопросов, связанных с обеспечением согласования и корректного взаимодействия оптических и электронных компонентов. Волоконно-оптические технологии стали неотъемлемой частью современной деятельности не только крупных промышленных предприятий, но и малых организаций,

занимающихся предоставлением услуг в сфере телекоммуникаций или просто использующих преимущества технологии в своих интересах. Основными преимуществами использования оптических технологий для передачи информации по телекоммуникационным сетям являются:

- высокая скорость передачи данных;
- высокая защищенность от посторонних электромагнитных источников;
- высокая секретность передачи данных;
- на сегодняшний день уже не очень высокая стоимость развертывания сети;
- широкий выбор необходимого оборудования.

Применение оптических технологий является следствием стремительного развития электронных коммуникаций и постоянно возрастающих требований по увеличению информационной емкости каналов передачи информации, скорости обработки сообщений и надежности телекоммуникационных и информационных сетей и систем. В результате влияния этих факторов появилась концепция полностью оптических сетей (All-Optical Networks, AON). По мнению специалистов американского агентства «National Communications System», одной из основных тенденцией развития ТС является именно переход к полностью оптическим сетям. В частности, в аннотации к докладу агентства «National Communications System» №00-7 [Technical information bulletin, 2000] говорится: «Ожидается, что полностью оптические сети в ближайшее время покинут лаборатории, популярность их будет расти в течение ближайших лет. Эти сети обеспечат высокую пропускную способность и позволят внедрить множество высокоскоростных информационно-коммуникационных услуг (ИКУ). Предполагается, что коммуникационная инфраструктура будет развиваться для поддержки терабитных и пентабитных скоростей...»

Анализ состояния и перспективных направлений развития ТС ставит проблему разработки средств волоконно-оптической связи на основе применения новой компонентной базы с использованием информационных технологий, оптимизированных с учетом новых характеристик компонентов и узлов. Указанная проблема находится в числе первоочередных задач совершенствования систем связи, ее решение позволит значительно повысить эффективность функционирования оптических сетей.

Построение и функционирование оптических ТС регламентируется международными стандартами и рекомендациями, определяющими ее основные аспекты и элементы:

- рекомендация телекоммуникационного сектора Международного союза электросвязи (МСЭ-Т) G. 709 определяет требования к оптической транспортной иерархии, структуру кадров, заголовки, битовые скорости в оптических сетях;
- рекомендация МСЭ-Т G. 798 «Характеристики оптической транспортной сети иерархии оборудования функциональных блоков» охватывает функциональные требования к функциональности оптических транспортных сетей.

Создание качественно новых типов одномодовых волокон и более совершенных оптических усилителей, а также улучшение технических характеристик компонентной базы в целом

позволило увеличить расстояние и пропускную способность волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Это послужило началом масштабного внедрения новых концепций и технологий построения волоконно-оптических сетей на локальном, региональном и глобальном уровнях. Оптическая телекоммуникационная сеть (ОТС) сочетает в себе гибкость и прозрачность цифровой коммутации с масштабированием сети [Шмидт, 2012].

Актуальность применения ОТС заключается в возможности эффективного использования множества различных ИКУ для удовлетворения разнообразных потребностей пользователей и делает ОТС идеальной мультисервисной сетевой платформой, способной в полной мере обеспечить соответствие неопределенным требованиям завтрашнего дня. Эта платформа позволяет максимально эффективно использовать ресурсы оптической сети, мультиплексирующей на одной длине волны несколько разнородных сетей с различными скоростями передачи, протоколами и источниками синхронизации.

В наше время волоконно-оптические технологии движутся к исчерпанию возможностей оптических направляющих структур. Перестают открываться новые свойства сред и в основном все производители телекоммуникационного оборудования работают в области уже известных явлений и совершенствуют оборудование лишь изменением электронной базы или алгоритмов обработки сигналов. Новые технические задачи, поставленные перед рынком производителями телекоммуникационного оборудования по увеличению скоростей и объемов передачи данных, ведут к пересмотру не только фундаментальных принципов проектирования устройств и сетей, но и физических принципов функционирования их компонентов.

Анализ состояния вопроса

В последние годы наблюдается стремительный рост сетевого трафика, что обусловлено сочетанием ресурсоемких услуг (например, с передачей видео) с беспрецедентным уровнем межсетевого взаимодействия. Для передачи потоков информации на большой скорости (более 10 Гбит/с) с помощью оптического волокна на расстояние в сотни километров нужно решить множество задач. Главными препятствиями на пути построения протяженных оптических сегментов без регенераторов являются: дисперсия оптического сигнала, распространяющегося по волокну, влияние нелинейных эффектов в оптической мультиплексной линии, вносимые шумы и помехи. По мере увеличения объема информации, передаваемой сетью, рано или поздно возникает задача увеличения емкости сети. Менее трудоемким решением является модернизация волоконно-оптических сетей путем замены систем коммутации (СК) на более мощные электронные устройства, а также привлечение ранее не используемых резервных волокон в проложенных ВОЛС. Однако, в ситуации, когда резерв волокон оказывается исчерпанным, а электронная коммутация не дает повышение пропускной способности сети, требуется прокладка новых оптических кабелей, что влечет за собой большие денежные и временные затраты. В сложившихся условиях альтернативным путем является и построение ТС

на основе концепции полностью оптических сетей AON, что делает возможным значительное повышение экономичности, гибкости и надежности сетей, и значительно увеличивает пропускную способность сети за счет применения оптической обработки информационного сигнала и оптического управления коммутацией оптических сигналов.

На сегодняшний день уже существуют полностью оптические фрагменты ТС, в пределах которых отсутствуют электрооптические преобразователи. Такой уровень развития сети, без сомнения, является эффективным вне зависимости от технологий оптической коммутации. Однако, учитывая рост требований к пропускной способности ТС, максимальная эффективность сети будет достигнута в том случае, когда в сети будут использоваться оптические технологии, как в системах передачи, так и в системах распределения информации [Соколов, 2003]. Полностью оптические ТС представляют класс сетей, в функционировании которых главную роль при коммутации, мультиплексировании и ретрансляции играют не электронные (оптоэлектронные), а только оптические технологии [Ершова, 2009].

Исследование концепции AON продемонстрировало эффективность ее применения, в первую очередь, на транспортном уровне при создании разветвленных сетевых архитектур. Однако вместе с тем создание разветвленных ОТС требует решения важнейшей задачи – реализации коммутации оптических сигналов с оптическим управлением. Анализ публикаций, посвященных созданию оптических сетей [Каток, 1999], [Иванов, 1999], [Шарварко, 2006], [Каток, 2006], [Убайдуллаев, 2001] показал, что на данный момент вопросы, относящиеся к функционированию волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) изучены достаточно хорошо. В тоже время вопросы реализации оптических СК рассмотрены поверхностно и требуют проведения дальнейших исследований. Пока существуют только общие концептуальные подходы к построению оптических СК, которые нуждаются в развитии и тщательном анализе.

Длительное время в литературе принципам оптической коммутации было посвящено лишь несколько обзорных журнальных статей. При решении вопроса коммутации оптических сигналов с использованием оптического управления, необходима разработка методов подключения оптического переключателя к сегменту ВОСП, включая также разработку методов расчета эффективности работы оптического переключателя. Эти задачи рассматривали в своих работах Ганьжа Д., Костров С.В, Пименов Ю.В., Вольман В.И, Муравцов А.Д., Слепов Н., Балестра Ч.Л., Шенли Д.Ф., Виллинеу П.Р., Джоаналос Дж. Д., Хаус Г.А., Ешби, Султанов А.Х., Тухватуллин Р.А., Маккавеев В.И. [Маккавеев, 1992]. В последние годы заслуживают внимания работы таких авторов как Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. [Гольдштейн, 2005], Фриман Г. [Фриман, 2003], Складов А.К. [Складов, 2001].

Работа Кострова С.В. [Костров, 2011] заключалась в анализе и синтезе оптического переключателя для ВОЛС на основе многослойного диэлектрического селективного зеркала. Также им разработан частотно-селективный оптический переключатель с включением в многослойную структуру сегнетоэлектрического компонента, который меняет под действием

внешнего электрического поля коэффициент преломления, что позволяет осуществить переключение за счет смещения полосы отражения за пределы рабочей области. Слепов Н. [Слепов, 1999] занимался исследованием устройств ввода-вывода энергии оптического излучения, анализируя различные типы лазеров и методы реализации ОТС с использованием оптической коммутации. Можно также отметить работу Котова В.М. [Котов, 1997], в которой он рассматривал и исследовал принципы акустооптической коммутации оптических излучений.

Такие авторы, как Джоанополос Дж. Д. и Хаус Г.А. [Haus, 1998] исследовали возможность получения прозрачных объемных нанокристаллических образцов, обладающих оптическими свойствами и их использования при проектировании коммутирующих устройств в ОТС. Работа Эшби [Ashby, 1973] заключалась в разработке методов подключения оптического переключателя к сегменту ВОСП, обеспечивающих резервирование полосы пропускания полностью оптическим способом. Им разработана схема сети с автоматическим режимом переключения, что обеспечивает необходимые условия (высокие скорости переключения) для минимизации потерь информационных битов переданных сообщений. Работы Канакова В.И. [Канаков, 2004], П. Джейсона [Jason, 2005] также посвящены исследованию вопросов оптической коммутации. Исследования Канакова В.И. заключались в нахождении новых подходов, позволяющих создавать оптические СК, которые, в отличие от известных, основаны на управлении нелинейными оптическими свойствами нанокристаллического прозрачного кварца, что обеспечивает возможность повышения пропускной способности ОТС. В работе Джейсона П. выполнен анализ способов подключения оптических СК, позволяющих перейти к полностью оптическим ТС, которые в отличие от известных, допускают совместную передачу информационного и управляющего сигналов по одномодовому световоду. Этот способ открывает перспективы создания адаптивных оптических систем передачи. В работах Маккавеева В.И и Фримана Г. выполнен анализ перспективных компонентов ОТС – фотонных коммутаторов. При этом исследованы принципы работы фотонных коммутаторов в сетях с коммутацией каналов и коммутацией пакетов, и сформулированы задачи, которые нужно решить при построении полностью оптических сетей связи с фотонными коммутаторами. Работы Гольдштейна А.Б., Гольдштейна Б.С. и Склярова А.К. заключались в исследовании волоконно-оптических переключателей и свойств термооптического переключателя, изготовленного из трех различных оптических волокон с одинаковыми геометрическими параметрами. В работе Славинской В.В. [Славинская, 2004] исследованы принципы построения оптических СК на основе одноканального дефлектора с использованием изотропного акустооптического взаимодействия (АО-взаимодействия). В этой работе предложен метод расчета параметров дефлектора с акустооптической ячейкой со сплошным пьезопреобразователем на основе требований к характеристикам СК. Произведена оценка эффективности применения ячеек АО с пьезопреобразователем в виде решетки с противофазным возбуждением для улучшения характеристик акустооптической СК. Также исследована возможность построения оптической СК с динамической селекцией длин волн на основе одноканального АО-дефлектора.

Следует отметить исследования таких ученых как Султанов А.Х. и Виноградова И.Л. [Султанов, 2008], исследовавших возможности создания СК оптических сигналов, управляемых оптическим излучением. Они предположили, что управляющее излучение изменяет показатель преломления оптической среды устройства, а с ним и длину волны информационного излучения. Для контроля последней они использовали многолучевой интерферометр. В результате оценки технических аспектов построения устройства и анализа его функционирования, выявлено, что интерференционные СК технически можно реализовать, но существуют такие нерешенные проблемы, как наличие постоянной интерференционной составляющей, а также искажения действием интерференции нелинейных оптических эффектов цифрового оптического сигнала.

В результате выполненного анализа опубликованных источников, видим, что на сегодняшний день практически не решены такие задачи, как разработка «управляемых» коэффициентов отражения и преломления, на базе которых можно было бы получить новые полностью оптические компоненты управления: многоканальные разветвители, фильтры, преобразователи физических величин, оптические бистабильные нелинейные элементы и т.д. В последних генерация нелинейного режима функционирования является основой их работы – обеспечение бистабильного режима прохождения для информационного оптического потока [Jason, 2005] без проявления негативных факторов, связанных с другими нелинейными эффектами.

В последнее время отсутствие научной литературы указанной тематики в определенной степени ликвидирован такими специалистами как Кучерявый Е.А. [Кучерявый, 2012], Гайворонская Г.С., Рябцов А.В., заслугой которых является исследование перспектив развития коммутационных технологий в полностью оптических ТС. Работы Гайворонской Г.С. и Рябцова А.В. [Гайворонская, 2009], [Гайворонская, 2010], [Гайворонская, 2011], [Гайворонская, 2012] заключались в исследовании перспектив внедрения систем оптической коммутации в полностью оптических ТС. В них предложена феноменологическая модель оптической СК с оптическим управлением, которая может найти применение для повышения быстродействия ОТС. Проведен анализ типов пьезоэлектрических коммутационных элементов (КЭ), исследованы различные методы и средства отклонения и модуляции оптического излучения, на основе которых возможно построить полностью оптические СК. Проведен анализ технических аспектов построения оптических СК, анализ современного состояния проблемы создания полностью оптических ТС и выявлены задачи, требующие дальнейших исследований.

Возникающие новые технические задачи, направленные на увеличение скорости обработки информации требуют пересмотра некоторых фундаментальных подходов не только к проектированию объектов телекоммуникаций, но и физических принципов, на базе которых построены компоненты этих объектов. Некоторым аспектам повышения быстродействия АОН посвящена эта работа.

Анализ характеристик оптических коммутационных элементов

На сегодняшний день коммутация в системах связи осуществляется оптико-электронными коммутационными элементами (КЭ). В работах [Gayvoronska, 2015], [Гайворонская, 2015], [Гайворонская, 2016] показано, что повышение быстродействия полностью оптических ТС возможно за счет применения полностью оптических КЭ. В настоящее время в разработке КЭ оптических сигналов сформировалось два технологических направления [Gayvoronska, 2015]. Первое – создание прозрачных полностью оптических КЭ (all-optical switches), а второе – создание оптико-электрических КЭ (optical-electrical-optical), или иначе не прозрачных полностью оптических КЭ. С точки зрения быстродействия оптические коммутационные элементы (ОКЭ) можно разделить на два класса: с оптическим и с электронным управлением. Наиболее перспективными с точки зрения использования в полностью оптических сетях являются ОКЭ с оптическим управлением. Такие ОКЭ могут быть применены при построении оптических СК, реализующих технологии меточного мультиплексирования.

Проанализируем характеристики ОКЭ, к которым относятся: акустооптические, жидкокристаллические, термооптические, электрооптические, электромеханические; ОКЭ, основанные на использовании нелинейного оптического петлевого зеркала; ОКЭ, использующие многолучевой интерферометр Фабри-Перо; ОКЭ на основе кольцевых кремниевых световодов. Среди ОКЭ с электронным управлением выделяют: акустооптические, жидкокристаллические, термооптические, электрооптические, электромеханические.

В **акустооптических** используются акустические волны для создания в твердом теле областей с повышенной и пониженной плотностью [Котов, 1997]. Образующиеся неоднородности плотности отклоняют проходящие световые пучки под различными углами.

Жидкокристаллические (ЖК) используют свойства молекул жидких кристаллов выстраиваться вдоль одного направления, называемого оптической осью. Прикладывая к ЖК электрическое напряжение, можно заставить молекулы изменить свою ориентацию, в результате чего некоторые свойства жидкого кристалла, в частности, показатель преломления изменяются. Способность жидкого кристалла изменять показатель светопреломления может быть использована для реализации СК оптических сигналов.

Поляризационно-зависимый жидкокристаллический ОКЭ показан на Рис. 1. Для переадресации светового пучка из одного порта в другой используется многостадийный процесс [Гринфилд, 2002].

Интерферометр Маха-Цендера (ИМЦ) использует термооптический принцип построения ОКЭ (Рис. 2) в котором коэффициент преломления вещества изменяется под действием температуры, что ведет к изменению разности фаз между двумя плечами интерферометра, вызывающему эффект коммутации входного сигнала с одного выхода на другой [Слепов, 1999].

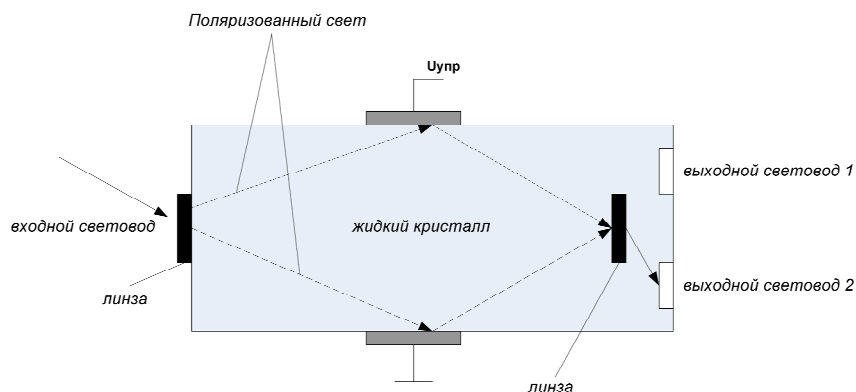


Рис. 1 – Оптический коммутационный элемент на базе жидкого

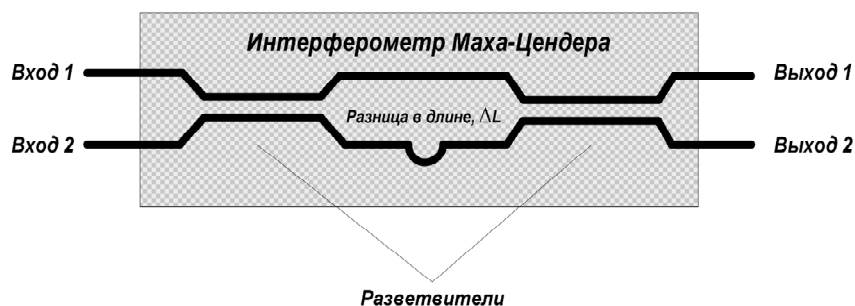


Рис. 2 – Термооптический коммутационный элемент

Электрооптический коммутационный элемент (ЭОКЭ), изображенный на Рис. 3, основан на электрооптическом эффекте Поккельса, заключающегося в изменении показателя преломления материала пропорционально приложенному электрическому напряжению [Убайдуллаев, 2001]. Эффект Поккельса может наблюдаться только в кристаллах, не обладающих центром симметрии. К недостаткам ЭОКЭ относятся относительно высокие поляризационные и вносимые потери.

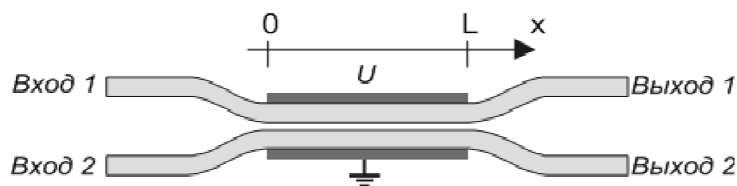


Рис. 3 – Электрооптический коммутационный элемент

Тем не менее, ЭОКЭ, несмотря на электронное управление, обладают высокой скоростью переключения (порядка 10-100 пс), что позволяет применять их для построения СК полностью оптических ТС.

К **электромеханическим** относят ОКЭ, реализующие технологии микроэлектромеханических систем (micro-electro mechanical systems, MEMS). Системы MEMS представляют собой набор подвижных зеркал очень маленького размера, с диаметром менее миллиметра, которые образуют оптическое коммутационное поле. Согласно физическому принципу, применяемому для

управления миниатюрными зеркалами, выделяют следующие подклассы электромеханических КЭ [Скляр, 2001]: пленочные, электростатические, пьезоэлектрические и магнитооптические. На рис. 4 показан принцип работы пленочного оптического КЭ, действие которого основано на эффекте оптической дифракции.



4 – Принцип работы пленочного коммутационного элемента

Эластомер (полимерное вещество, способное к обратимой деформации под действием электрического поля), наносится на диэлектрическую пластину с сеткой электродов, и покрывается сверху гибкой отражающей пленкой. При подаче управляющего напряжения на электроды происходит локальная деформация полимера, вызывающая дифракцию падающего света. Попадающий на эту точку пленки луч света дифрагирует и, проходя через специальную оптическую систему, формирует выходной оптический сигнал в виде светящейся точки.

Электростатический оптический КЭ (рис.5) основывается на действии кулоновских сил, которые осуществляют его перемещение в пространстве [Гринфилд, 2002]. Гибкий язычок 1, изготовленный из полимерной пленки, закрепляется одним концом в изоляционном держателе 2. Его другой конец располагается в непосредственной близости от пары электродов 3 и 4, к которым подведены разнополярные электростатические потенциалы от источника управляющего напряжения.

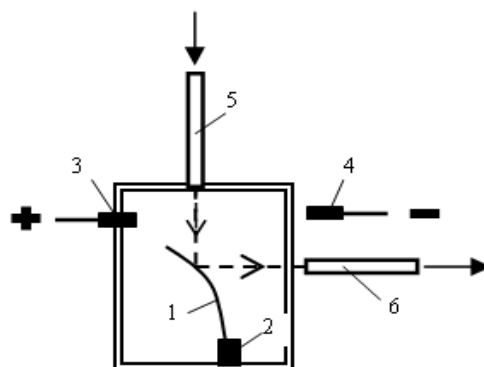


Рис. 5 – Электростатический КЭ

Наэлектризованный полимерный язычок стремится притянуться к тому из контактов, который имеет противоположный заряд, и соответственно изгибается, но его длина подобрана так, что он не касается при этом контакта. При этом его зеркальная поверхность образует наклонный отражатель, и луч, выходящий из входного световода 5, попадает через собирающую линзу в торец выходного световода 6, осуществляя процесс коммутации оптического сигнала.

Пьезоэлектрические КЭ основываются на пьезоэлектрических актуаторах [Гайворонская, 2009]. Одним из простейших примеров такого актуатора может служить плоская биморфная пластина, образованная двумя жестко скрепленными между собой поперечно поляризованными пьезоэлементами. На рис.6 изображён ОКЭ с двухпорным актуатором. Одновременный изгиб пьезоэлектрической пластины приводит к повороту зеркала на угол, определяемый величиной

изгиба, т.е. величиной постоянного напряжения, приложенного к электродам пьезоэлемента. Величина приложенного управляющего напряжения $U_{упр}$ может легко изменяться с шагом не более милливольт, при этом точность позиционирования отраженного луча может составлять доли микрометра. Такая конструкция дефлектора позволяет строить многоканальные полностью оптические СК большой размерности.

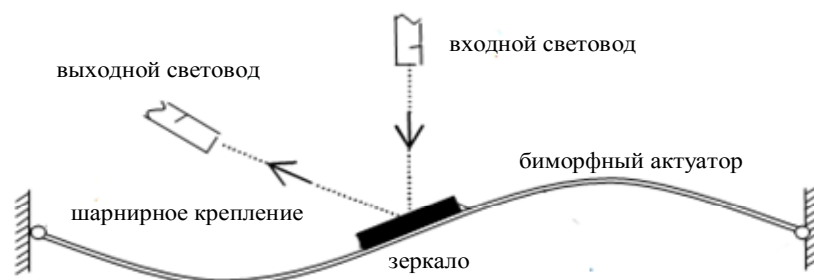


Рис. 6 – Пьезоэлектрический двухпорный актуатор

Принцип работы **магнитооптического** КЭ (рис. 7) основан на эффекте Фарадея, который заключается в изменении поляризации оптического излучения, проходящего через вещество при наведении в нем магнитного поля [Гайворонская, 2010].

Таким образом, из всех физических принципов, используемых для реализации электромеханических КЭ, наибольшими преимуществами обладают пьезоэлектрические актуаторы. К числу их достоинств можно отнести малую потребляемую мощность,

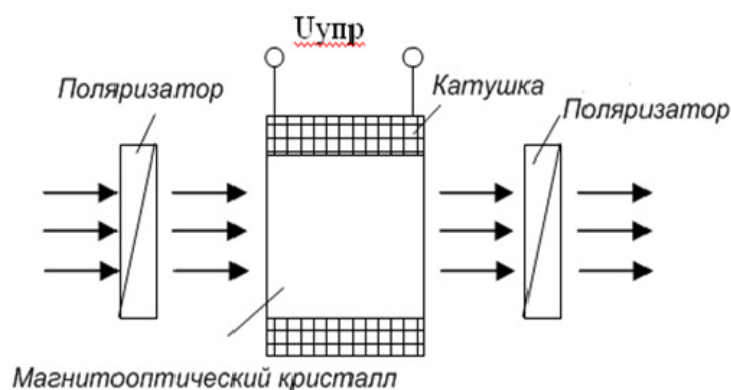


Рис. 7 – Магнитооптический коммутационный элемент

достаточно высокую механическую прочность, надежность и технологичность, а также малые габариты и стоимость. Эти обстоятельства позволяют развивать пьезоэлектрический подход с целью уменьшения времени переключения КЭ, которое в настоящий момент составляет несколько микросекунд.

Все рассмотренные КЭ имеют один общий недостаток: управление коммутацией осуществляется с помощью электронных компонентов, что ограничивает их быстродействие. Поэтому более перспективными с точки зрения использования в современных ТС являются ОКЭ с оптическим управлением, к которым на сегодняшний день можно отнести: ОКЭ, основанный на использовании нелинейного оптического петлевого зеркала (НОПЗ); ОКЭ, использующий многолучевой интерферометр Фабри-Перо (ИФП) и ОКЭ на основе кольцевых кремниевых

световодов. Схема НОПЗ, в которой используется интерферометр Саньяка, приведена на рис. 8 [Маккавеев, 1992].

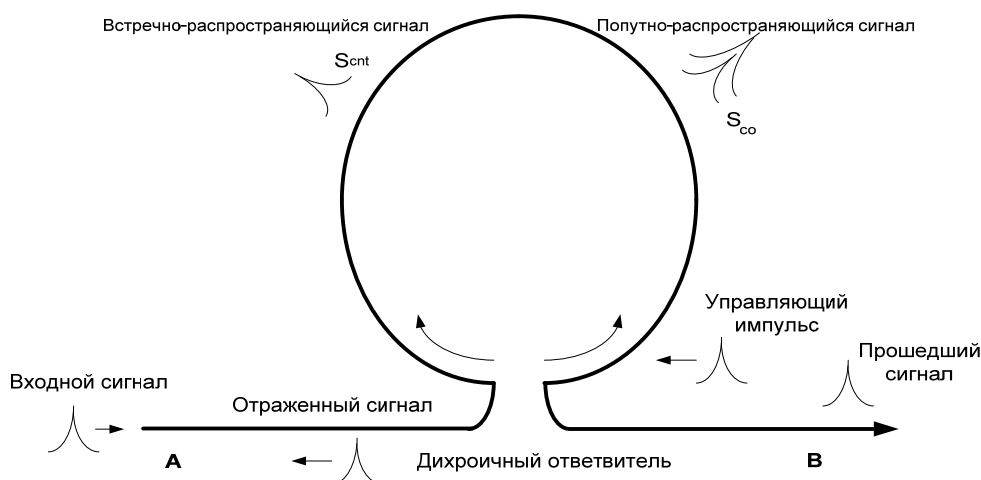


Рис. 8 – Схема нелинейного оптического петлевого

В такой схеме используется оптическая обработка сигналов, основанная на относительном фазовом сдвиге двух встречно распространяющихся оптических импульсов. Фазовый сдвиг создаётся за счёт эффекта фазовой кросс-модуляции оптическим импульсом, изменяющим нелинейный показатель преломления в петле интерферометра Саньяка (эффект Керра). Интерферометр Саньяка состоит из направленного ответвителя (НО), два выхода которого соединены с волоконно-оптической петлёй задержки. Оптический сигнал поступает на вход А и разделяется на два сигнала, распространяющихся во встречных направлениях.

При слабом входном сигнале и отсутствии управляющего импульса два встречно-распространяющихся сигнала возвращаются к разветвителю с одинаковыми задержками и, следовательно, результирующий фазовый сдвиг равен нулю. В этом случае входной сигнал полностью отражается от НОПЗ, то есть интерферометр Саньяка действует как зеркало с 100%-ным отражением.

Если коэффициент связи НО для управляющего импульса $k_c = 0$ входной сигнал точно синхронизирован с управляющим импульсом, то сильный управляющий импульс, возбуждающий плечо В, не расщепляется в НО, а распространяется в одном направлении с сигналом S_{co} и одновременно пересекает сигнал S_{cnt} . В результате этого сигнал S_{co} подвергается фазовой кросс-модуляции на всей петле под воздействием управляющего импульса, и баланс между встречно-распространяющимися сигналами S_{co} и S_{cnt} нарушается. Это приводит к относительной разности фаз $\Delta\varphi$. Если интенсивность управляющего импульса отрегулировать так, что $\Delta\varphi = \pi$, то весь входной сигнал проходит через интерферометр Саньяка в плечо В. Это означает, что входной сигнал может переключаться управляющим импульсом между плечами А и В. Вследствие того, что фазовый сдвиг попутно распространяющегося сигнала возрастает пропорционально длине петли, уменьшение управляющей мощности может быть достигнуто за счёт увеличения длины

петли. Таким образом, использование НОПЗ позволяет достичь высокостабильного переключения устройства даже при использовании маломощного управляющего сигнала, что позволяет говорить о перспективности подобных устройств с позиций использования в полностью оптических ТС.

Ещё один подход к построению систем коммутации оптических сигналов, управляемых оптическим излучением заключается в том, что действие управляющего оптического сигнала приводит к изменению оптических свойств прозрачной среды устройства (смесителя), которые влияют на условия распространения там оптического излучения, переносящего информационный сигнал, обычно имеющий другую длину волны [Султанов, 2008]. Для этого используется физический эффект нелинейной зависимости показателя преломления изотропной прозрачной среды n от интенсивности входного оптического излучения.

Изменения значения n в области смесителя действием управляющего излучения приведёт к изменению длины волны информационного излучения. Если же смеситель помещён в интерферометр, то присутствие, либо отсутствие управляющего излучения будет оказывать влияние на результирующую интерференционную картину или выходной сигнал

интерферометра. Для реализации таких ОКЭ целесообразно использовать многолучевой интерферометр Фабри-Перо (ИФП), обладающий высокой чувствительностью и хорошей помехоустойчивостью. Такой ОКЭ пропускает информационный сигнал (а) в отсутствие управляющего сигнала (в области выходного зеркала ИФП имеет место максимум стоячей волны), и отражает его (б) в случае присутствия управляющего излучения (рис. 9, а).

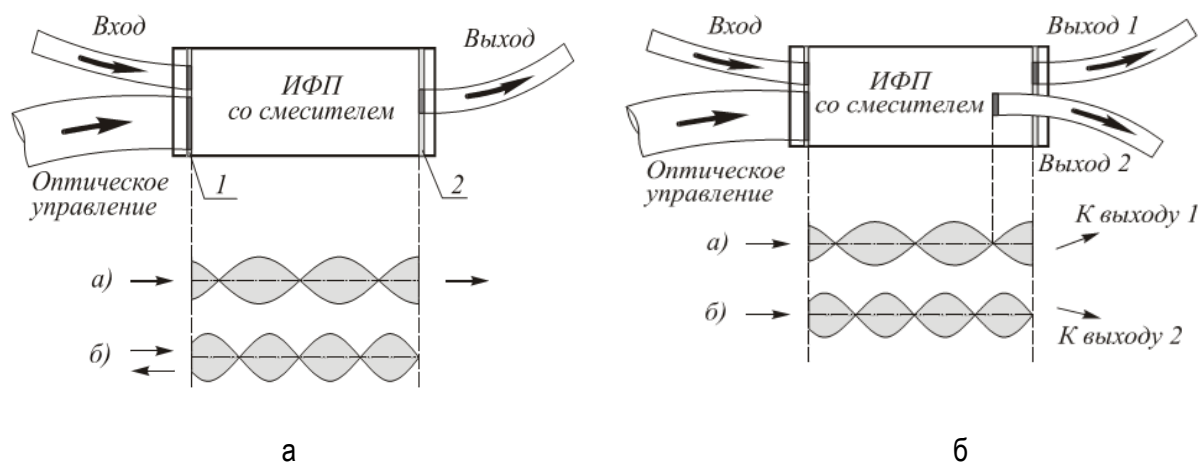


Рис. 9 – Принцип действия интерференционного ключа

С помощью изменения значения n в окрестности одной и той же пространственной координаты можно чередовать положение максимумов и минимумов стоячей световой волны (ССВ), что позволяет строить оптические СК на несколько выходов. При этом должны быть соблюдены следующие условия: максимум ССВ находится в области одного из выходных световодных каналов; минимум ССВ – в области другого выходного световодного канала. С заменой положений максимумов и минимумов ССВ (действием управляющего оптического излучения)

произойдёт переключение оптических каналов (рис. 9, б).

Подобные СК имеют свои достоинства и недостатки. К достоинствам можно отнести высокую скорость переключения, независимость работоспособности от состояния поляризации излучения, малогабаритность конструкции. Среди недостатков следует выделить наличие постоянной составляющей в интерференционной картине, высокую трудоёмкость изготовления устройства, искажение нелинейными эффектами передаваемого цифрового информационного сигнала.

Третьим направлением разработки ПОКЭ является подход, основанный на использовании микроминиатюрных модуляторов светового потока на базе кольцевых кремниевых световодных структур (рис. 10), изобретенных учёными Корнельского университета (США) [Митилино, 2005]. В этом устройстве световоды выполнены методом плазменного напыления *PECVD* (*Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition*) и изолированы стенками из двуокиси кремния.

Входной оптический сигнал, в виде линейно поляризованного когерентного излучения с заданной длиной волны, направляется по линейному световоду, выполненному на подложке из кристаллического кремния. Основная деталь модулятора - кольцевой резонатор, в котором может распространяться только пучок света с фиксированной длиной волны, определяемой геометрическими размерами кольца. Особенностью модулятора является то, что световой поток попадает из линейного световода в кольцо благодаря эффекту «эфемерной связи» ("*evanescent coupling*"), основанном на эффекте «близкого поля» ("*near-field*").

Если расположить два волновода достаточно близко друг к другу, то энергия может передаваться между ними так, словно разделяющего их пространства (материала, барьера) не существует. При этом имеется возможность подстраивать частоту резонанса и полосу пропускания кремниевых световодов с помощью второго пучка света, называемого «накачивающим». Так как кольцо резонатора располагается в непосредственной близости от линейного волновода, то свет проникает через разделяющее их пространство. При этом излучение с резонансной длиной волны будет «поглощаться». Соединяя посредством резонатора два параллельных волновода, входной и выходной, имеется возможность получить «оптический вентиль», пропускающий между ними свет только на частотах, кратных резонансной. Существенным недостатком является высокая зависимость полупроводниковых материалов от температуры (как известно, коэффициент преломления кремния нелинейно уменьшается с ростом температуры), а также быстрое действие, ограниченное временем релаксации свободных носителей в кремнии, равным 450 пс.

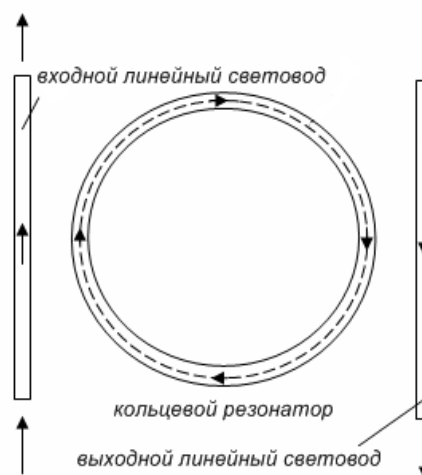


Рис. 10 – Кольцевой кремниевый

Таким образом, все три подхода к построению ПОКЭ в равной степени являются перспективными с точки зрения их использования при создании СК для полностью оптических сетей. Однако если использование НОПЗ и интерферометра Фабри-Перо позволят создавать высокоскоростные СК потоков данных, то кольцевой кремниевый модулятор может быть применен для реализации коммутационных устройств, осуществляющих защитное переключение резервных маршрутов в оптических сетях.

Классификация ОКЭ приведена на рис. 11.

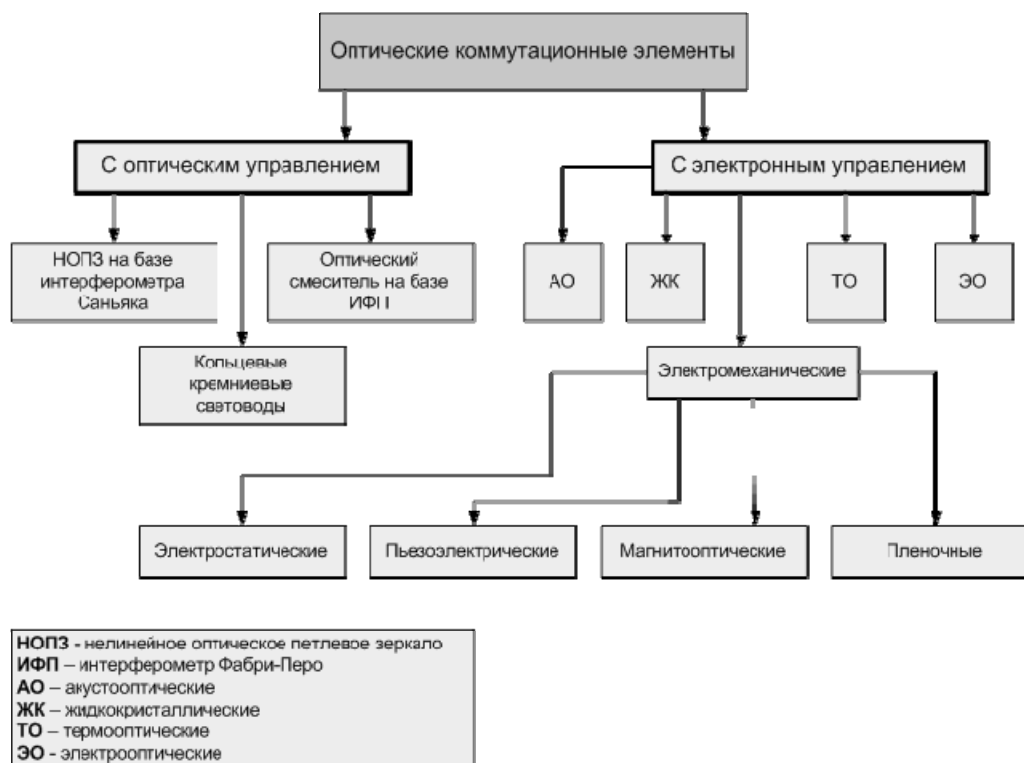


Рис. 11 – Классификация оптических коммутационных элементов

Задача выбора коммутационного элемента для коммутации оптических сигналов

Для того чтобы достичь цели увеличения пропускной способности полностью оптической ТС, нужно решить задачу выбора ОКЭ. То есть выбрать из существующих альтернатив ту, которая больше всего будет удовлетворять поставленной задаче увеличения быстродействия систем коммутации оптических сигналов.

Для решения задачи использован критерий Парето, что позволит прийти к базису конструкций ОКЭ, отбросив варианты, уступающие по сформированным показателям.

Задача выбора решена при использовании следующих показателей приемлемости:

- Q – быстродействие, то есть способность выполнять с необходимой скоростью работу, для которой они предназначены (чем меньше быстродействие, тем меньше оценка);
- N – стоимость (чем ниже цена, тем выше оценка);

- L – потребляемая мощность (чем меньше потребляемая мощность, тем выше оценка);
- G – надежность, то есть способность коммутационного элемента сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров (чем меньше надежность, тем меньше оценка);
- C – тип управления коммутацией (оптическое управление – оценка максимальна);
- T – чувствительность к температурным шумам, то есть чувствительность к шуму, который возникает при случайном отклонении электронов в проводниках, которые имеют некоторую конечную температуру.

Таким образом, показатели приемлемости для решаемой задачи выбора примут следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q(x) \rightarrow \max \\ N(x) \rightarrow \min \\ L(x) \rightarrow \min \\ G(x) \rightarrow \max \\ C(x) \rightarrow \max \\ T(x) \rightarrow \min \end{array} \right.$$

Для каждого показателя проведем шкалирование по шкале от «1...5», результаты которого приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Шкалирование показателей приемлемости при выборе ОКЭ

Оптический элемент	коммутационный	Q	N	L	G	C	T
Акустооптический		3	4	4	2	1	5
Жидкокристаллический		3	3	2	5	1	2
Термооптический		5	4	4	5	1	3
Электрооптический		4	3	2	5	1	2
Пленочный		4	5	4	3	1	3
Электростатический		3	3	4	3	1	3
Пьезоэлектрический		1	4	5	2	1	5
Магнитооптический		2	4	4	3	1	4
На основе НОПЗ		4	3	5	4	5	4
На базе ИФП		5	4	3	5	5	4
На основе кольцевых кремниевых светопроводящих структур		4	5	4	3	5	5

В данном случае выбор проводился для условий, при которых ОКЭ должен обеспечивать быстроедействие не менее $Q \approx 1 \cdot 10^{12}$ оп/с, при стоимости не более 12000 долл. США. Кроме того,

показатель приемлемости потребляемой мощности должен быть не более 150 Вт, то есть $L \leq 150$ Вт. Основными ограничениями при выборе конструкции, являются: надежность, которая должна составлять не менее 265000 ч безотказной работы, $G \geq 265000$ ч.

Для решения задачи выбора последовательно использованы векторный и скалярный критерии. Векторный позволил отбросить заведомо худшие варианты, а скалярный критерий – получить единственное решение. Построим диаграмму Хассе, которая является визуализацией альтернатив и значений их показателей, рис. 12.

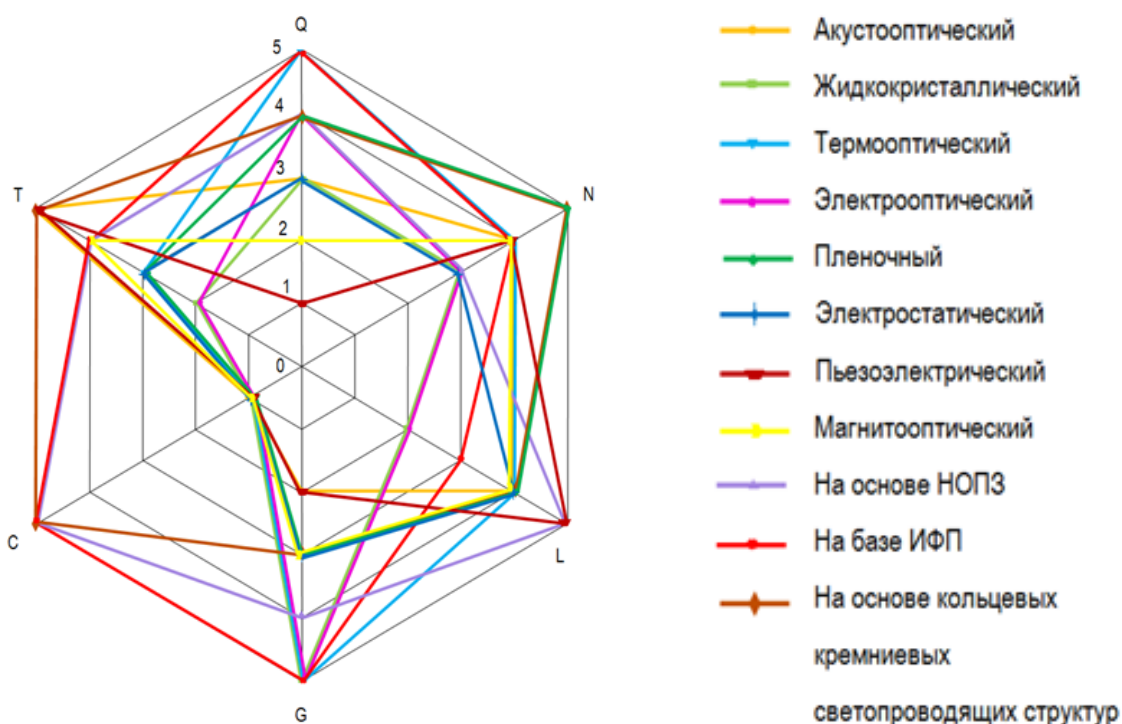


Рис. 12 – Диаграмма показателей качества выбранных вариантов ОКЭ

Поскольку по построенной диаграмме Хассе невозможно получить единственное решение, уменьшив количество альтернатив, воспользовавшись векторным критерием. Для этого проведем сравнение ОКЭ, построенных на пьезоэлектрических оптических коммутационных элементах с MEMS. По первому показателю приемлемости, быстродействие MEMS преобладает в сравнении с пьезоэлектрическим ОКЭ, но по второму они имеют одинаковые показатели, поэтому по критерию Парето эти две конструкции заносим в базис. Аналогичным образом проведено попарное сравнение всех остальных альтернатив. В результате количество вариантов уменьшено до 6-ти: ОКЭ на жидких кристаллах, электрооптический КЭ, термооптический КЭ, ОКЭ на основе НОПЗ, ОКЭ на основе кольцевых кремниевых светопроводящих структур и ОКЭ на основе ИФП, что позволило упростить диаграмму Хассе, до вида, показанного на рис. 13.

Далее, используем скалярный критерий, позволяющий получить единственное решение, то есть выбрать конструкцию ОКЭ.

Проведя анализ задачи выбора, можно сделать вывод, что она является детерминированной в условиях определенности, потому что между альтернативой и следствием существует лишь одна функциональная зависимость, поэтому для решения задачи выбора использован критерий Байеса – Лапласа, который выражается функцией:

$$W' = \sum_{l=1}^M a_l k_l; \quad \sum_{l=1}^M a_l = 1, \quad a_l \geq 0, \quad \overline{l=1, M}$$

где a_l – весовые коэффициенты соответствующих показателей приемлемости;

k_l – нормированное значение.

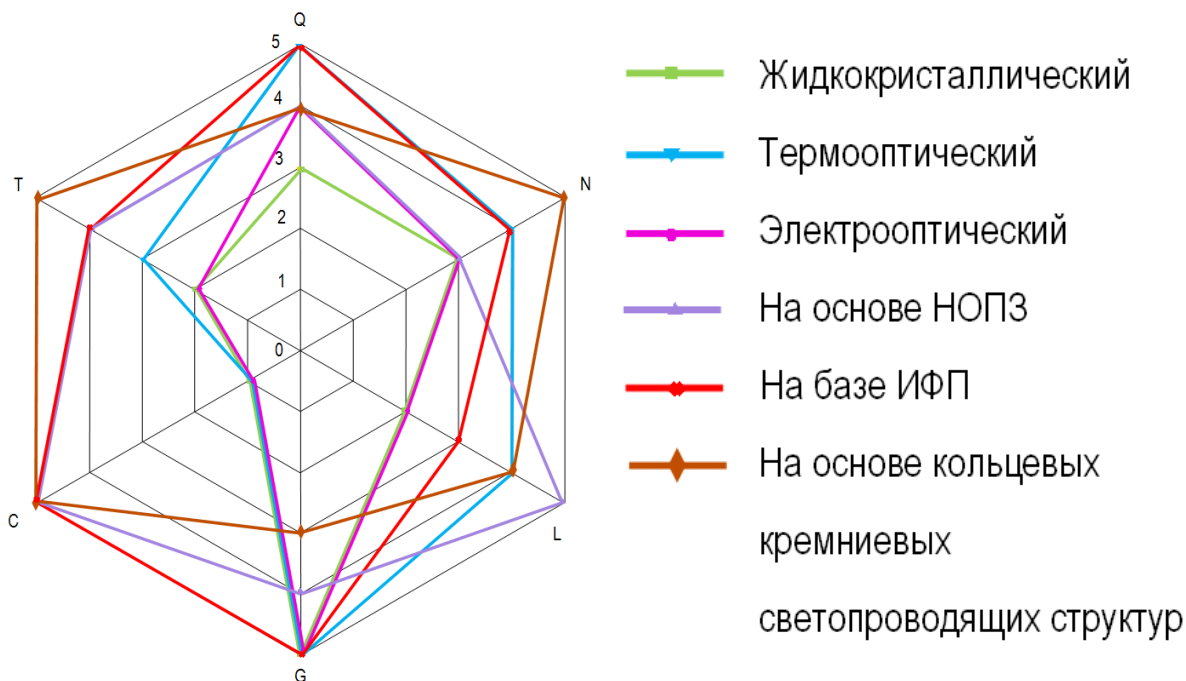


Рис. 13 – Диаграмма Хассе выбранных вариантов ОКЭ, построенная в результате применения критерия Парето

Расположим показатели приемлемости в виде матрицы и для каждого критерия расставим коэффициенты значимости (рис.14):

Оптический коммутационный элемент	Q	N	L	G	C	T
Жидкокристаллические	3	3	2	5	1	2
Термооптические	5	4	4	5	1	3
Электрооптические	4	3	2	5	1	2
На основе НОПЗ	4	3	5	4	5	4
На базе ИФП	5	4	3	5	5	4
На основе кольцевых кремниевых светопроводящих структур	4	5	4	3	5	5

0,3	0,05	0,15	0,15	0,3	0,05
3	3	2	5	1	2
5	4	4	5	1	3
4	3	2	5	1	2
4	3	5	4	5	4
5	4	3	5	5	4
4	5	4	3	5	5

Рис. 14 – Расположение показателей приемлемости в виде матрицы

Для того чтобы решить задачу выбора по критерию Байеса – Лапласа, приведем показатели к одному виду, в данном случае увеличим их до максимального значения:

$$\begin{pmatrix} 0,3 & 0,05 & 0,15 & 0,15 & 0,3 & 0,05 \\ 3 & 3 & 2 & 5 & 1 & 2 \\ 5 & 4 & 4 & 5 & 1 & 3 \\ 4 & 3 & 2 & 5 & 1 & 2 \\ 4 & 3 & 5 & 4 & 5 & 4 \\ 5 & 4 & 3 & 5 & 5 & 4 \\ 4 & 5 & 4 & 3 & 5 & 5 \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} 0,3 & 0,05 & 0,15 & 0,15 & 0,3 & 0,05 \\ 3 & 2 & 3 & 5 & 1 & 3 \\ 5 & 1 & 1 & 5 & 1 & 2 \\ 4 & 2 & 3 & 5 & 1 & 3 \\ 4 & 2 & 0 & 4 & 5 & 1 \\ 5 & 1 & 2 & 5 & 5 & 1 \\ 4 & 0 & 1 & 3 & 5 & 0 \end{pmatrix}$$

В результате получим конечное значение для каждой альтернативы:

$$\begin{pmatrix} 3 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 1 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,05 \\ 5 \cdot 0,3 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 1 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,05 \\ 4 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 1 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,05 \\ 4 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,05 + 0 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,3 + 1 \cdot 0,05 \\ 5 \cdot 0,3 + 1 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,3 + 1 \cdot 0,05 \\ 4 \cdot 0,3 + 0 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,3 + 0 \cdot 0,05 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} 2,65 \\ 2,85 \\ 2,95 \\ 3,45 \\ 4,15 \\ 3,30 \end{pmatrix}$$

Для того чтобы прийти к единому результату, из полученной матрицы находим максимальное значение.

$$\begin{pmatrix} 2,65 \\ 2,85 \\ 2,95 \\ 3,45 \\ 4,15 \\ 3,30 \end{pmatrix}$$

Полученное значение 4,15 соответствует конструкции на основе ИФП. Поэтому можно сделать вывод, что при решении задачи выбора по критерию Байеса – Лапласа, целесообразно использовать оптический коммутационный элемент на основе интерферометра Фабри-Перо.

Выводы

В результате решения двухкритериальной задачи выбора ОКЭ рассмотрено одиннадцать альтернатив. Для того чтобы прийти к единому результату решена задача выбора с помощью векторного и скалярного критерия с использованием шести показателей приемлемости: быстродействия, стоимости, потребляемой мощности, надежности, типа управления коммутацией и чувствительности к температурным шумам. При решении задачи выбора конструкции ОКЭ векторным критерием, уменьшено количество вариантов конструкций ОКЭ до 6-ти: ОКЭ на жидких кристаллах, электрооптический, термооптический, ОКЭ на основе нелинейного оптического петлевого зеркала, ОКЭ на основе кольцевых кремниевых светопроводящих

структур и ОКЭ на основе интерферометра Фабри-Перо. Так как векторный критерий не позволяет прийти к единому результату, использован критерий Байеса-Лапласа с помощью которого пришли к единому результату. Оптимальной конструкцией для ОКЭ будет конструкция на базе интерферометра Фабри-Перо. Таким образом, оптический коммутационный элемент на основе интерферометра Фабри-Перо может быть использован для построения СК оптических сигналов, положенных в основу коммутационных полей, реализующих коммутацию на узлах полностью оптических телекоммуникационных сетей. Такие коммутационные поля для повышения эффективности и функционирования должны быть многозвенными без внутренних блокировок, поэтому направление дальнейших исследований предусматривает выбор оптимальной структуры многозвенного коммутационного поля и оценку его быстродействия. Такая оценка может быть выполнена путем расчета задержек вносимых оптическим коммутационным полем. Если при построении коммутационного поля на основе интерферометра Фабри-Перо удастся достичь существенного быстродействия оптических сетей, поставленная задача будет решена.

Благодарности

Настоящая работа выполнена при поддержке интернационального проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и их приложений FOI ITHEA и Ассоциации ADUIS Украина (Ассоциация разработчиков и пользователей интеллектуальных систем).

The paper is published with financial support by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA (www.ithea.org) and the Association of Developers and Users of Intelligent Systems ADUIS Ukraine (www.aduis.com.ua).

Литература

- [Ashby, 1973] Ashby N., Miller Stanley C. Jr. *Shift of light beams due to total internal reflection* [Текст]: довідник / N. Ashby, Jr. C. Miller Stanley; *Physical Review*, 1973. - V.7.P.2383.
- [Gayvoronska, 2015] Galina Gayvoronska, Borys Rybalov Possibility's Evaluation of Optical Processors Usage for Optical Signals Switching's Control // II Международная научно-практическая конференция «Проблемы инфокоммуникаций. Наука и Технологии (PIC&T'2015)». – Харьков, 2015. – С. 196-199.
- [Haus, 1998] *Channel Drop Filters in Photonic Crystals* [Текст]: довідник / Fan Sh., Villeneuve P.R., Joannopoulos J.D., Haus H.A. - *Optics Express*, 6 July 1998 – 125 p.
- [Jason, 2005] Jason P. *Optical Burst Switched Networks* / Jue P. Jason, Vinod M. Vokkarane // Boston. – 2005. – 147 p.
- [*Technical information bulletin, 2000*] *Technical information bulletin «All -Optical Networks (AON)».*- Arlington, Virginia (USA). – 2000. – №00-7.

- [Гайворонская, 2009] Гайворонская Г. С. Коммутаторы оптических сигналов [Текст] / Г. С. Гайворонская, А. В.Рябцов // Холодильна техніка і технологія.– 2009. – № 2 (118). – С. 55-59.
- [Гайворонская, 2010] Гайворонская Г. С. Методы и средства коммутации оптических сигналов в информационных сетях [Текст] / Г. С. Гайворонская, А. В. Рябцов // Холодильна техніка і технологія. – 2010. – № 2 (124). – С. 74-82.
- [Гайворонская, 2011] Гайворонская Г.С. Особенности применения оптических коммутаторов в современных информационных сетях [Текст]/ Г.С. Гайворонская, А.В. Рябцов // *Applicable Information Models. – Sofia: ITHEA, 2011. – № 22. – P.169-181*
- [Гайворонская, 2011] Гайворонская Г.С. Проблема обеспечения полностью оптической коммутации в конвергентных сетях [Текст]/ Г.С. Гайворонская // Збірник тез V МНТК «Проблеми телекомунікацій». – Київ. – НТУУ «КПІ». – 2011. –С.39.
- [Гайворонская, 2012] Гайворонська Г.С., Рябцов О.В. Феноменологічна модель повністю оптичного комутатора з оптичною адресацією [Текст] / Г.С. Гайворонська, О.В. Рябцов // Вісник ДУІКТ. – 2012. – Т.10, №1. – Стор. 54.
- [Гайворонская, 2015] Гайворонская Г.С., Рыбалов Б.А. Особенности коммутации оптических сигналов при использовании различных режимов переноса информации / Гайворонская Г.С., Рыбалов Б.А. // Холодильна техніка і технологія. – Одеса. – ОНАХТ, 2015. – № 6 (51) – С. 100-106.
- [Гайворонская, 2016] Гайворонская Г.С., Рыбалов Б.А. Исследование возможности использования оптических процессоров для управления коммутацией оптических сигналов // X Міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми телекомунікацій" ПТ-2016: Збірник матеріалів конференції. К.: НТУУ "КПІ", 2016. – С. 77-79.
- [Гольдштейн, 2005] Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. Технология и протоколы MPLS [Текст]: справочник / А.Б. Гольдштейн, Б.С. Гольдштейн // БХВ – Санкт-Петербург, 2005.– 304 с.
- [Гринфилд, 2002] Гринфилд Д. Оптические сети / Д. Гринфилд // К.: ООО «ТИД ДС». – 2002. – 256с. //
- [Ершова, 2009] Ершова Э.Б. К вопросу построения оптических сетей / Э.Б. Ершова, Э.М. Вакс // Спецвыпуск «Технологии информационного общества». – Москва. – 2009. – С. 14 – 18.
- [Иванов, 1999] А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. – М.: Сайрус системс, 1999. – 664 с.
- [Канаков, 2004] Канаков В.И. Разработка методик построения волоконно-оптических телекоммуникационных систем на основе компонентов с применением наноструктурных материалов [Текст]: автореф. дис....д-ра тех. наук: 04.10.2004/ В.И. Канаков ; [Уфм. гос. авиа. тех. уни-т УГАТУ]. – У., 2004. - 159 с.
- [Каток, 1999] Каток В.Б. Волоконно-оптичні системи зв'язку. – Київ.: Lucent Technologies, 1999. – 483с.
- [Каток, 2006] Каток В. Б. Аналіз характеристик передачі одномодових волокон для мереж зв'язку / В.Б. Каток, О.Б. Омецинська, М.В. Шаповалов // Тези доповідей МНПК «Сучасні проблеми і

- досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій». – Запоріжжя. – 2006. – С.18-19.
- [Костров, 2011] Костров С.В. Оптический переключатель для волоконно-оптических линий связи на основе многослойного диэлектрического селективного зеркала. [Текст]: автореф. дис. ... д-ра тех. наук: 02.12.11/ С.В. Костров; [Уфм. гос. авиа. тех. уни-т УГАТУ]. – У., 2011. - 19 с.
- [Котов, 1997] Котов В.М. Акустооптический коммутатор 2x2 оптических излучений с разными длинами волн на основе монокристалла тизия оксида [Текст] / В.М. Котов // М.: Ин-т радиотехники и электроники РАН ., — 1997. — 6 с.
- [Кучерявый, 2012] Кучерявый Е.А. NS-2 как универсальное средство имитационного моделирования сетей связи. Электронный ресурс – Режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua/2007/fvti/erygina/library/lib4.htm> – 10.01.12 г. – Загол. з екрану.
- [Маккавеев, 1992] Маккавеев В.И., Светиков Ю.В. Оптические методы обработки сигналов – основа волоконно-оптических систем будущего [Текст] / В.И. Маккавеев, Ю.В. Светиков // М.: Электросвязь. – 1992. – №5.
- [Митилино, 2005] Митилино С. Полностью оптический коммутатор / С. Митилино / Web-ресурс ИТС.УА. – Режим доступа: [/its.ua/polnostyu_opticheskij_kommutator_19827](http://its.ua/polnostyu_opticheskij_kommutator_19827). – 2005.
- [Скляр, 2001] Скляр О.К. Современные волоконно-оптические системы передачи [Текст] / О.К. Скляр // М.: - 2001. – 237 с.
- [Славинская, 2004] Славинская В.В. Пространственная коммутация оптического излучения в волоконно-оптических сетях передачи информации на основе акустооптического взаимодействия [Текст]: автореф. дис...д-ра тех. наук: 14.06.2004 / В.В Славинская ; [Санкт-Пет. гос. аеро. прибор. СГАП]. – С., 2004. - 165 с.
- [Слепов, 1999] Слепов Н. Оптические кросс-коммутаторы. Принципы реализации и архитектура [Текст]/ Н. Слепов. // Электроника: НТБ. – 1999. – № 6.
- [Соколов, 2003] Соколов Н.А. Телекоммуникационные сети. Монография в 4-х главах. Часть 2 (гл. 2) – М.: Альварес Паблишинг, 2003. – 128 с.
- [Султанов, 2008] Султанов А.Х., Виноградова И.Л. Подход к построению коммутаторов оптических сигналов, управляемых оптическим излучением [Текст] / А.Х. Султанов, И.Л. Виноградова // У.: – УГАТУ – 2008. – 9 с.
- [Убайдуллаев, 2001] Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 267 с.
- [Фриман, 2003] Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи [Текст] / Р. Фриман // Под ред. Н. Н. Слепова - М.: Техносфера, 2003 г., 590 с.
- [Шарварко, 2006] Шарварко В.Г. Волоконно-оптические линии связи: Уч. пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2006. – 170 с.
- [Шмидт, 2012] Шмидт Э. Интегрированная OTN-коммутация виртуализирует оптические сети [Текст] / Шмидт Э. // *Infonetics research*. – 2012. – 16 с.

Информация об авторах



Гайворонская Галина Сергеевна – Институт холода, криотехнологий и экоэнергетики им. В.С. Мартыновского, факультет информационных технологий и кибербезопасности ОНАПТ, д.т.н., профессор кафедры компьютерной инженерии; Украина, Одесса, 65026, ул. Дворянская, 1/3; тел. (048)-720-91-48; e-mail: gsgayvoronska@gmail.com

Области научных исследований: оптимизация переходных периодов при эволюции телекоммуникационных сетей. Поток вызовов, нагрузка и межзвонное тяготение в сетях. Проблемы создания сетей доступа. Проблема построения полностью оптических сетей и систем коммутации.



Рыбалов Борис Александрович – Институт холода, криотехнологий и экоэнергетики им. В.С. Мартыновского, факультет информационных технологий и кибербезопасности ОНАПТ, старший преподаватель кафедры компьютерной инженерии; Украина, Одесса, 65026, ул. Дворянская, 1/3; тел.(067)9329677; e-mail: borisr@ukr.net

Основные направления научных исследований: задачи создания полностью оптических сетей, коммутация оптических сигналов.

**PROBLEM OF CHOICE OF SWITCHING ELEMENT FOR
OPTICAL TELECOMMUNICATION NETWORK**

Galina Gayvoronska, Borys Rybalov

Abstract: The advantages of optical technologies' usage for information transfer by telecommunication networks are researched. The analysis of methods for increasing the switching speed of optical signals with optical management usage is done. The analysis of the eleven types of optical switching elements' characteristics, using electronic and optical management, is carried out. Two-criterion problem of choice of optical switching elements implementation at the usage of six acceptability indicators (performance, cost, power consumption, reliability, switching management type and noise sensitivity) is solved. Hasse diagrams for the quality indicators of optical switching elements' selected variants are given. Optical switching element, based on the Fabry-Perot interferometer, is selected according to the results of the problem of choice solution.

Keywords: Optical telecommunication networks, optical switching element, optical signals' switching system.

TABLE OF CONTENTS

<i>Fuzzy Models and Methods of Rational Resource Allocation</i>	
Olexii Voloshyn, Vasyl Laver.....	3
<i>Recognition of Objects on Optical Images in Medical Diagnostics Using Fuzzy Neural Network Nefclass</i>	
Yuriy Zaychenko, Vira Huskova	13
<i>Statistical Steganalysis of Multistage Embedding Methods</i>	
Dmytro Progonov	23
<i>Building of the virtual environment for grid applications</i>	
Volodymyr Kazymyr, Dmytro Melnychenko, Olga Prila, Mykola Kryshchenko	37
<i>The improvement of the process of providing government services in multifunctional centres in russia</i>	
Stepan Kovalev	49
<i>Establishing Mobile Learning in the Ukraine: Problems and Prospects</i>	
Oleksiy Voychenko, Nazar Mykhailiv, Larysa Savyuk	59
<i>Экстракция фактов из слабоструктурированной текстовой информации</i>	
Нина Хайрова, Наталья Шаронова, Аджит Пратап Сингх Гаутам	66
<i>Задача выбора коммутационного элемента для оптической телекоммуникационной сети</i>	
Галина С. Гайворонская, Борис А. Рыбалов	78
<i>Table of Contents</i>	100