

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
Одеський національний політехнічний університет

ІНФОРМАТИКА ТА МАТЕМАТИЧНІ
МЕТОДИ В МОДЕЛЮВАННІ

INFORMATICS AND MATHEMATICAL
METHODS IN SIMULATION

Том 1, № 3

Volume 1, No. 3

Одеса – 2011
Odesa – 2011

Інформатика та математичні методи в моделюванні

Науковий журнал

Виходить 4 рази на рік

Заснований Одеським національним політехнічним університетом у 2011 році

Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ № 17610 - 6460Р від 04.04.2011р.

Головний редактор: *Г.О. Оборський*

Заступник головного редактора:

А.А. Кобозєва

Відповідальний редактор: *І.І. Бобок*

Редакційна колегія:

*Т.О. Банах, П.І. Бідюк, Н.Д. Вайсфельд,
А.Ф. Верлань, Г.С. Гайворонська,
О.Ф. Дащенко, В.Б. Дудикевич,
Л.Є. Євтушик, М.Б. Копитчук, С.В. Ленков,
Є.В. Малахов, І.І. Маракова, А.Д. Мілка,
С.А. Нестеренко, М.С. Никитченко,
С.А. Положаєнко, О.В. Рибальський,
В.Д. Русов, А.В. Усов, С.В. Філіппова,
В.О. Хорошко, М.Є. Шелест, М.С. Яджак*

Informatics and mathematical methods in simulation

Scientific journal

Published 4 times a year

Founded by Odessa National Polytechnic University in 2011

Certificate of State Registration

КВ № 17610 - 6460Р of 04.04.2011

Editor-in-chief: *G.A. Oborsky*

Associate editor: *A.A. Kobozeva*

Executive editor: *I.I. Bobok*

Editorial Board:

*T. Banakh, P. Bidyuk, A. Daschenko,
V. Dudykevich, L. Evtushik, S. Filippova,
G. Gayvoronskaya, V. Horoshko,
N. Kopytchuk, S. Lenkov, E. Malakhov,
I. Marakova, A. Milka, S. Nesterenko,
N. Nikitchenko, S. Polozhaenko, V. Rusov,
O. Rybalsky, M. Shelest, A. Usov, N. Vaysfeld,
A. Verlan, M. Yadzhak*

Друкується за рішенням редакційної колегії та Вченої ради Одеського національного політехнічного університету

Оригінал-макет виготовлено редакцією журналу

Адреса редакції: 1, просп. Шевченка, Одеса, 65044, Україна

Телефон: +38 048 734 8506

Web: <http://immm.opu.ua>

E-mail: immm.ukraine@gmail.com

Editorial address: 1, Ave. Shevchenko, Odessa, 65044, Ukraine

Tel.: +38 048 734 8506

Web: <http://immm.opu.ua>

E-mail: immm.ukraine@gmail.com

© Одеський національний політехнічний університет, 2011

ЗМІСТ / CONTENTS

Nataly D. Vaysfel'd, Andrew V. Reut

THE WAVE FIELD OF THE ELASTIC INFINITE CONE LOADED TO A VERTEX BY THE CONCENTRATED FORCE 195

С.В. Лєнков, С.А. Шворов, Д.В. Чирченко

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ 209

Vadim A. Mokritsky, Viktoria V. Zorilo

DETECTION OF DIGITAL IMAGE BLURRING TRACES 220

Iryna I. Borysenko

IMPROVEMENT OF NOISE IMMUNITY STEGANOGRAPHY ALGORITHM 228

М.П. Карпінський, Л.О. Дубчак, Н.М. Васильків

ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ 236

С.А. Михайлов, Ю.С. Шевцов

НОВІ ФУНКЦІЇ АУДИТУ ТА МОНІТОРИНГУ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ КІБЕРБЕЗПЕКИ ПІДПРИЄМСТВ 243

О.И. Бодюл, Е.С. Бодюл, А.В. Шаталов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИРОДООХРАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ 248

Ю.О. Гунченко, С.В. Лєнков

МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ АДАПТИВНОЇ ТРЕНАЖЕРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ СПЕЦПІДРОЗДІЛІВ 260

Ю.Я. Петрикович, Р.М. Гайдамаха, Т.І. Ковальський ОЦІНКА ВАРТОСТІ ОРНИХ ЗЕМЕЛЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ НА БАЗІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ	266
П.Ю. Баранов, О.Ю. Лебедева ВИЯВЛЕННЯ ОБЛАСТІ ФАЛЬСИФІКАЦІЇ ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ БЛОКАМИ ТРИКУТНОЇ ФОРМИ	274
Eugene V. Malakhov THE ISSUES OF APPROACHES INTEGRATION TO SUBJECT DOMAINS METAMODELING	282

THE WAVE FIELD OF THE ELASTIC INFINITE CONE LOADED TO A VERTEX BY THE CONCENTRATED FORCE

Nataly D. Vaysfel'd, Andrew V. Reut

Odessa I.I.Mechnikov National University,
Dvoryanskaya str., 2, Odessa, 65082, Ukraine; e-mail: vaysfeld@onu.edu.ua

In the proposed paper the new problem on the steady-state oscillations of an elastic infinite cone is solved for the point oscillating force enclosed to a cone's vertex. On a cone's conic surface the stress are given. The auxiliary problem for a cone truncated by a spherical surface is formulated with the aim to obtain the solution of the initial problem. The solution is constructed with the help of the integral transformation's method and the method of Green's function. The limiting transition in the solution's formulas is carried out to obtain the exact solution of the initial problem. The calculation of the displacements' and stress' wave field of the cone is done.

Keywords: infinite cone with vertex, steady-state oscillations, first main elasticity problem, integral transformation

Introduction

Many devices' details function in the non-stationary modes. This demands to study the oscillating processes in such objects. Sufficiently large numbers of the books and papers are devoted to these questions [1-5] etc. The interest to this field is connected not only with the demands of the engineering calculations, but with the necessity of the new mathematical methods' development in the deformable body dynamical problems [6-10].

The researching with the approximate numerical methods, though allows to reveal some characters' behavior, but, nevertheless, is incomplete: the error of the numerical procedure accumulation, the frequently absence of the exact analytical formulas for the error procedure's estimation etc. The exact solution of a problem allows to eliminate these lacks, and to receive a full qualitative picture of a process.

It is particularly important to reply on the question about the waves' propagation on the surface of the body. It was Rayleigh [11], who first showed on the existence of the special waves with the maximal amplitude (Rayleigh's waves) on the surface of the elastic body. The question on the propagation of the elastic waves in the infinite body of the conical form with the arbitrary opening angel is posed at first time. It causes an urgency of the offered paper. However, the case when the cone's opening angle is the right one (an infinite cone is transformed into a half-space) is considered earlier by [12]. It lets to compare in this case the new results which obtained by authors with the well known ones.

In the static statement the first main elasticity problem for an infinite cone, to which vertex the concentrated force is enclosed, is solved for the first time by [13]. The various special cases of this problem are resulted in [14]. In the dynamic statement this problem was not considered earlier, despite an urgency of this question for many problems of the mechanical engineering. The absence of the works in this line of investigation, as against to the static statement, where J. Michel managed to guess actually the problem solution, is

connected with the fact, that in the dynamic statement it is necessary to solve a boundary problem of the dynamic elasticity for a cone.

The mathematical complexity of such problem is caused as by a specificity of a body's geometry (the vertex's existence), so and by the absence of the suitable integral transformation. The presence of such transformation now [15] has allowed to construct the exact solution of the first main elasticity problem for an infinite cone for the oscillatory loading enclosed to a vertex.

Formulation of the initial boundary value problem and construction of the auxiliary problem's solution

The concentrated oscillatory force $Pe^{i\tilde{\omega}t}$ is enclosed to a vertex of the elastic (G – the shift module, μ – the Poisson's coefficient) infinite cone $0 < r < \infty$, $0 < \theta < \omega$, $-\pi \leq \varphi \leq \pi$ (r, θ, φ – the spherical system of co-ordinates). The conic surface of the body is free from the stress

$$\sigma_{\theta}(r, \theta, t)|_{\theta=\omega} = 0, \quad \tau_{r\theta}(r, \theta, t)|_{\theta=\omega} = 0, \quad 0 < r < \infty. \quad (1)$$

It is necessary to estimate and to investigate the cone's wave field of the displacements and stress.

One must formulate and solve the auxiliary problem on the influence of the dynamic loading on the end face of the truncated elastic cone ($\varepsilon < r < \infty$, $0 < \theta < \omega$, $-\pi \leq \varphi \leq \pi$)

$$\sigma_r(r, \theta, t)|_{r=\varepsilon} = -p \cos \theta e^{i\tilde{\omega}t}, \quad \tau_{r\theta}(r, \theta, t)|_{r=\varepsilon} = 0, \quad \varepsilon < r < \infty, \quad (2)$$

at the execution of the conditions (1) on its conic surface.

One must restate the problem in the terms of the wave functions $\Phi(r, \theta, t)$ and $\Psi(r, \theta, t)$ satisfying to the equations

$$\Delta \Phi = \frac{\partial^2 \Phi}{c_1^2 \partial t^2}, \quad \Delta \Psi = \frac{\partial^2 \Psi}{c_2^2 \partial t^2}, \quad (3)$$

where c_1, c_2 are the velocities of the longitudinal and cross-section waves, Δ is the Laplace's operator in the spherical system of co-ordinates. Taking into consideration the steady-state oscillatory character of the process the equations (3) will become

$$\Delta \Phi = \alpha^2 \Phi, \quad \Delta \Psi = \beta^2 \Psi, \quad \alpha^2 = \frac{\tilde{\omega}^2}{c_1^2}, \quad \beta^2 = \frac{\tilde{\omega}^2}{c_2^2}. \quad (4)$$

One must apply the integral transformation with respect to the variable θ to the equations (4) [15]

$$f_k(r) = \int_0^{\omega} f(r, \theta) P_{v_k}(\cos \theta) \sin \theta d\theta, \quad f(r, \theta) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{P_{v_k}(\cos \theta)}{\sigma_k} f_k(r), \quad (5)$$

$$\sigma_k = \left\| P_{v_k}(\cos \theta) \right\|^2 = \int_0^{\omega} \sin \theta P_{v_k}^2(\cos \theta) d\theta.$$

Here v_k are the roots of the transcendental equation $P_v^1(\cos \omega) = 0$, $v = v_k$, $k = 0, 1, \dots$; $P_{v_k}(\cos \theta)$ is the Legendre's function, $P_{v_k}^1(\cos \theta)$ is the associated Legendre's function of the first kind. For the application of the integral transformation (5) one must take into consideration the relations between the stress and wave potentials [4]

$$\frac{\sigma_\theta}{2G} = -\mu\mu_0\alpha^2\Phi + \frac{1}{2}\Phi' + \frac{1}{r^2}\text{ctg}\theta\Phi^\bullet + \frac{1}{r^2}\text{ctg}\theta\Psi^\bullet - \frac{1}{r^2\sin\theta}(\sin\theta\Psi^\bullet),$$

$$\frac{\sigma_r}{2G} = -\mu\mu_0\alpha^2\Phi + \Phi'' + \beta^2\Psi + \beta_2r\Psi' + 3\Psi'' + r\Psi''', \quad (6)$$

$$\frac{\tau_{r\theta}}{2G} = \frac{\partial}{\partial\theta}\left(\frac{1}{r}\Phi' - \frac{1}{r^2}\Phi + \Psi'' + \frac{1}{r}\Psi' - \frac{1}{r^2}\Psi + \frac{\beta^2}{2}\Psi\right).$$

Let's demand the execution of the equalities

$$\Phi^\bullet(r, \omega) = \chi(r), \quad \Psi^\bullet(r, \omega) = 0. \quad (7)$$

Thus function $\chi(r)$ is remains the unknown one. The wave equations (4) after the integral transformation (5) application, with the relations (7), in the transformation's space have the form

$$\begin{cases} (r^2\Phi_k')' - v_k(v_k+1)\Phi_k + r^2\alpha^2\Phi_k(r) = -q_k\chi(r), \\ (r^2\Psi_k')' - v_k(v_k+1)\Psi_k + r^2\beta^2\Psi_k(r) = 0, \end{cases} \quad (8)$$

where $\varepsilon < r < \infty$, $q_k = P_{v_k}(\cos\theta)\sin\omega$.

The solutions of the equations (8) are

$$\Phi_k(r) = A_0^{(k)} \frac{H_{v_k+1/2}^{(1)}(\alpha r)}{\sqrt{r}} + C_0^{(k)} \frac{H_{v_k+1/2}^{(2)}(\alpha r)}{\sqrt{r}} + \Phi_k^*(r),$$

$$\Psi_k(r) = A_1^{(k)} \frac{H_{v_k+1/2}^{(1)}(\beta r)}{\sqrt{r}} + C_1^{(k)} \frac{H_{v_k+1/2}^{(2)}(\beta r)}{\sqrt{r}}, \quad (9)$$

where $H_{v_k+1/2}^{(i)}(\alpha z)$, $i=1,2$ are the Hankel's functions, $\Phi_k^*(r)$ is the partial solution of the first equation from (8). One must take into account, that it is required to choose the solution which provides waves' ablation on the infinity. That leads to $A_0^{(k)} = 0$, $A_1^{(k)} = 0$ in the solutions' formulas (9).

Let's construct the fundamental function [17] with the aim to write down the solution of the inhomogeneous equation from (8)

$$G_k(r, \rho) = \gamma_0 \begin{cases} \varphi_1(\alpha r)\varphi_2(\alpha \rho), & r < \rho \\ \varphi_1(\alpha \rho)\varphi_2(\alpha r), & r > \rho \end{cases}, \quad \varphi_i(\alpha z) = \frac{H_{v_k+1/2}^{(i)}(\alpha z)}{\sqrt{z}}, \quad i=1,2, \quad (10)$$

where $\varphi_i(\alpha z)$, $i=1,2$ are the fundamental system of the equation's solutions. Constant γ_0 is found from the equality

$$G'_k(r, r-0) - G'_k(r, r+0) = -\frac{1}{p_0(r)}, \quad p_0(r) = r^2, \quad (11)$$

$p_0(r)$ is the coefficient at the highest derivative in the equation (8). Hence we obtain $\gamma_0 = -\frac{\pi}{4i}$, and the partial solution is

$$\Phi_k^*(r) = -q_k \int_{\varepsilon}^{\infty} G_k(r, \rho) \chi(\rho) d\rho. \quad (12)$$

The application of the inverse transformation with respect to the variable θ leads to the finite form of the solutions

$$\Phi(r, \theta) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{P_{\nu_k}(\cos \theta)}{\sigma_k} \left[C_0^{(k)} \frac{H_{\nu_k + 1/2}^{(2)}(\alpha r)}{\sqrt{r}} - q_k \int_{\varepsilon}^{\infty} G_k(r, \rho) \chi(\rho) d\rho \right], \quad (13)$$

$$\Psi(r, \theta) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{P_{\nu_k}(\cos \theta)}{\sigma_k} C_1^{(k)} \frac{H_{\nu_k + 1/2}^{(2)}(\beta r)}{\sqrt{r}}.$$

It is necessary to notice, that as the integral transformation (5) is applied under the inhomogeneous boundary conditions, so the solution turns out in the form of the conditionally convergent series and integrals [18]. The subsequent operations with the series (the differentiation) are carried out formally. Therefore, having received the coefficients $C_0^{(k)}, C_1^{(k)}$, it is necessary to check up, whether the formulas (13) will satisfy the stated problem, i.e. the wave equations (8) and the boundary conditions (1), (2).

Let's satisfy the second boundary condition (1): $\tau_{r\theta}|_{\theta=\omega} = 0$. Apparently from the formula (6), this condition with the relations (7) will be automatically executed, if to demand

$$\frac{1}{r} \chi'(r) - \frac{1}{r^2} \chi(r) = 0. \quad (14)$$

After the equation solving, we receive $\chi(r) = Nr$, where N is the unknown constant. It is necessary to satisfy three boundary conditions for the unknown coefficients $N, C_0^{(k)}, C_1^{(k)}$ estimation. The condition $\sigma_r|_{r=\varepsilon} = 0$ is satisfied at the transformation level

$$C_0^{(k)} \varepsilon_k^{(1)}(\varepsilon) + N \varepsilon_k^{(2)}(\varepsilon) + C_1^{(k)} \varepsilon_k^{(3)}(\varepsilon) = -p\gamma_k, \quad (15)$$

$$\gamma_k = \int_0^{\omega} P_{\nu_k}(\cos \theta) \sin \theta \cos \theta d\theta.$$

To satisfy the condition $\tau_{r\theta}|_{r=\varepsilon} = 0$, one must take a derivative with respect to the variable θ from the wave functions (13) and to substitute in the relation (6). Then one must use the

orthogonal property of the functions $P_{\nu_k}^1(\cos\theta)$ on the interval $\theta \in (0; \omega)$ [15], and to pass to a limit at $r = \varepsilon$

$$C_0^{(k)} F_k^{(1)}(\varepsilon) + N F_k^{(2)}(\varepsilon) + C_1^{(k)} F_k^{(3)}(\varepsilon) = 0. \quad (16)$$

Let's satisfy the last condition $\sigma_\theta|_{\theta=\omega} = 0$ on the conic surface

$$\sum_{k=0}^{\infty} C_0^{(k)} \Omega_k^{(1)}(\varepsilon) + N \sum_{k=0}^{\infty} \Omega_k^{(2)}(\varepsilon) = 0. \quad (17)$$

From the formulas (15)-(17) the unknown constants $N, C_0^{(k)}, C_1^{(k)}$ are found

$$N = \frac{-\sum_{k=0}^{\infty} \frac{P_{\nu_k}(\cos\omega)}{\sigma_k} \frac{A_k^{(2)}(\varepsilon)}{A_k^{(3)}(\varepsilon)} \Omega_k^{(1)}(\varepsilon)}{\sum_{k=0}^{\infty} \frac{P_{\nu_k}(\cos\omega)}{\sigma_k} \left(\frac{A_k^{(1)}(\varepsilon)}{A_k^{(3)}(\varepsilon)} \Omega_k^{(1)}(\varepsilon) + \Omega_k^{(2)}(\varepsilon) \right)}, \quad (18)$$

$$C_0^{(k)} = N \frac{A_k^1(\varepsilon)}{A_k^3(\varepsilon)} + \frac{A_k^2(\varepsilon)}{A_k^3(\varepsilon)}, \quad C_1^{(k)} = \frac{-p\gamma_k}{\varepsilon_k^3(\varepsilon)} - C_0^{(k)} \frac{\varepsilon_k^1(\varepsilon)}{\varepsilon_k^3(\varepsilon)} - N \frac{\varepsilon_k^2(\varepsilon)}{\varepsilon_k^3(\varepsilon)}.$$

(Coefficients $\varepsilon_k^{(i)}(\varepsilon), F_k^{(i)}(\varepsilon), \Omega_k^{(i)}(\varepsilon), A_k^{(i)}(\varepsilon)$ are resulted in the Appendix A).

Having substituted the resulting relations (18) in the formulas (13), one obtain the wave potentials defining the wave field of the displacements and stress in the truncated cone

$$\Phi(r, \theta) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{P_{\nu_k}(\cos\theta)}{\sigma_k} \left[C_0^{(k)} \frac{H_{\nu_k+1/2}^{(2)}(\alpha r)}{\sqrt{r}} - N q_k \int_{\varepsilon}^{\infty} G_k(r, \rho) \rho d\rho \right], \quad (19)$$

$$\Psi(r, \theta) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{P_{\nu_k}(\cos\theta)}{\sigma_k} C_1^{(k)} \frac{H_{\nu_k+1/2}^{(2)}(\beta r)}{\sqrt{r}}.$$

Considering the remark that the series' differentiation procedures were carried out formally, one will check up, whether satisfy the formally obtained formulas (19) with constants (18) the auxiliary boundary problem. With that purpose let's establish the series' convergence in the formulas (19), defining the wave potentials (Appendix C).

The differentiation procedure and the following limit transition in the series could be realized now because of the extracting of the slow converting part of the series and establishing of the series' convergence. The checking of the satisfaction the wave equations we will carry out at their transformations' level (8) (Appendix D). Thereby the solution of the auxiliary problem for the truncated cone is constructed.

The solution of the initial boundary problem and its verification

To receive the solution of the initial problem for a cone with a vertex, it is necessary to make the limiting transition in the obtained coefficients and formulas for the wave functions at $\varepsilon \rightarrow 0$ for what the asymptotical formulas are used [21]

$$\begin{bmatrix} H_{\nu}^{(1)} \\ H_{\nu}^{(2)} \end{bmatrix}(z) \sim \pm \frac{1}{i\pi} \Gamma(\nu) \left(\frac{z}{2}\right)^{-\nu}. \quad (20)$$

One must take into account the condition of the cut off part of the cone $0 < r < \varepsilon$, $0 < \theta < \omega$, $-\pi \leq \varphi \leq \pi$ balance during the limiting transition

$$\int_0^{\omega} \int_0^{r\pi} \sigma_q(\theta, \varphi) \varepsilon^2 p \sin \theta d\theta d\varphi = P. \quad (21)$$

from which we receive the relation $p\varepsilon^2 = \frac{P}{\pi \sin^2 \omega}$, where p is the intensity of the loading enclosed at an end face, and P is the force enclosed to the vertex.

The wave potentials are obtained by formulas (19) (where it is necessary to take that after the limiting transition to $\varepsilon = 0$ constant N goes to zero and coefficients $C_0^{(k)}, C_1^{(k)}$ are resulted in the Appendix B). The stress in the cone with a vertex let's calculate under formulas (6). In particular, for example

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_r(r, \theta, t)}{2G} &= e^{i\tilde{\omega}t} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{P_{v_k}(\cos \theta)}{\sigma_k} \left\{ C_0^{(k)} [F_k''(\alpha r) - \mu\mu_0 \alpha^2 F_k(\alpha r)] + \right. \\ &\quad \left. + C_1^{(k)} [\beta_2(F_k(\beta r) + rF_k'(\beta r)) + 3F_k''(\beta r) + rF_k'''(\beta r)] \right\}, \\ \frac{\tau_{r\theta}(r, \theta, t)}{2G} &= e^{i\tilde{\omega}t} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{P_{v_k}^1(\cos \theta)}{\sigma_k} \left\{ C_0^{(k)} \left[\frac{F_k'(\alpha r)}{r} - \frac{F_k(\alpha r)}{r^2} \right] + \right. \\ &\quad \left. + \frac{C_1^{(k)}}{2r^2} [2rF_k''(\beta r) + 2F_k'(\beta r) + (r\beta^2 - 2)F_k(\beta r)] \right\}, \\ \frac{\sigma_{\theta}(r, \theta, t)}{2G} &= e^{i\tilde{\omega}t} \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \frac{P_{v_k}(\cos \theta)}{\sigma_k} \left\{ C_0^{(k)} \left[-\mu\mu_0 \alpha^2 F_k(\alpha r) + \frac{1}{2} F_k'(\alpha r) \right] + \right. \right. \\ &\quad \left. + \frac{ctg \theta}{r^2} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{P_{v_k}^1(\cos \theta)}{\sigma_k} C_0^{(k)} F_k(\alpha r) - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{r^2 \sin \theta} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(P_{v_k}^1(\cos \theta) \cos \theta + \sin \theta P_{v_k}^{1'}(\cos \theta))}{\sigma_k} C_1^{(k)} F_k(\beta r) \right\}, \end{aligned} \quad (22)$$

$$F_k(z) = \frac{H_{\nu_k + \frac{1}{2}}^{(2)}(z)}{\sqrt{z}}.$$

The verification of the obtained cone's wave field is carried out by the two ways.

The first way is the analytical one and is based on the mathematical proof of the obtained solutions' satisfaction the auxiliary problem, i.e. the corresponding equations and the boundary conditions. It was proved that all series in the solutions are convergence, so why the passing to the limit is legal (Appendix C and Appendix D). It was verified directly that the auxiliary problem's solution satisfy it.

The second way of the obtained solution formulas' verifying leads from the fact that by the cone's angle $\omega = \frac{\pi}{2}$ one gets an elastic half-space instead of an infinite cone. This problem is well known as the time-harmonic Lamb problem for the concentrated force on the elastic half-space [12]. Let's take $\omega = \frac{\pi}{2}$ in the formulas of the cone's wave field and calculate the displacements on the line $0 < r < \infty$, $\omega = \frac{\pi}{2}$. The calculated values have to correspond to the values of the displacements which are calculated by the formulas from [12] at $z = 0$.

The numerical results and discussion

With the aim to verify numerically the obtain results let's analyze the case of the cone's opening angle $\omega = \frac{\pi}{2}$ with the formulas (22). This case is coincide with the case of the time-harmonic Lamb solution for the concentrated force on the elastic half-space [12] when $z = 0$.

In Table 1 the ratio between the displacements $Y_1 = \frac{u_r\left(r, \frac{\pi}{2}, t\right)}{\tilde{u}_r(r, 0, t)}$ (the displacement $u_r\left(r, \frac{\pi}{2}, t\right)$ in the spherical coordinate system is identical with the displacement $\tilde{u}_r(r, 0, t)$ in the cylindrical system) is shown for the different values of the frequency $\tilde{\omega}$.

Table 1.

The values of the ratio Y_1 between the displacements

Radius r Points	$\tilde{\omega} = 0.5$	$\tilde{\omega} = 1.0$	$\tilde{\omega} = 1.5$	$\tilde{\omega} = 2.0$
0.5	0.9998	0.9998	1.0004	1.001
1.0	0.9994	0.9997	1.0010	1.002
1.5	0.9994	1.0001	1.0006	1.001
2.0	0.9993	1.0001	1.0004	1.003
2.5	0.9994	1.0001	1.0004	1.004
3.0	0.9997	1.0003	1.0005	1.006

As it shown for the frequency values less than 2 one have the sufficient coincidence of the displacements values, but with the increasing of the frequency's values the ratio Y_1 between these two displacements increase also, because for the frequency's values more than 2, one must use the asymptotic formulas for the high values of the frequency parameter, as it was done in [12].

It is particularly interesting to estimate the waves' amplitudes on the cone's surface and inside the conical body. In Table 2 the ratios $Y_2 = \frac{u_r\left(r, \frac{\pi}{3}, t\right)}{u_r\left(r, \frac{\pi}{4}, t\right)}$, $Y_3 = \frac{u_r\left(r, \frac{\pi}{3}, t\right)}{u_r\left(r, \frac{\pi}{6}, t\right)}$,

$$Y_4 = \frac{u_r\left(r, \frac{\pi}{3}, t\right)}{u_r\left(r, \frac{\pi}{12}, t\right)} \text{ between } u_r\left(r, \frac{\pi}{3}, t\right) - \text{the displacement on the cone's surface} - \text{and the}$$

displacements inside the cone – are calculated for the different frequencies $\tilde{\omega}$ on the beam $0 < r < 3$ for the steel cone.

Table 2.

The values of the ratios Y_2 , Y_3 , Y_4 for the different values of the frequency $\tilde{\omega}$

Radius r Points	$\tilde{\omega} = 0.5$			$\tilde{\omega} = 1.5$		
	Y_2	Y_3	Y_4	Y_2	Y_3	Y_4
0.5	1.15	1.21	1.64	1.23	1.44	1.71
1.0	1.18	1.23	1.67	1.34	1.52	1.76
1.5	1.19	1.27	1.75	1.42	1.59	1.84
2.0	1.24	1.32	1.79	1.47	1.63	1.88
2.5	1.27	1.36	1.82	1.53	1.68	1.92
3.0	1.32	1.43	1.86	1.54	1.68	2.05

One could see from the shown results that the behavior of the waves' propagation on the cone's surface is the analogical to the character of the waves' propagation on the infinite body's surface, registered by Rayleigh.

Let's analyze the values of the displacement $u_r(r, \theta, t)$ and the stress $\sigma_r(r, \theta, t)$ at the various values of the frequency $\tilde{\omega}$ of the enclosed loading $Pe^{i\tilde{\omega}t}$. The mechanical characteristics were investigated for the steel cone with the angle equal to $\frac{\pi}{3}$ on the beams

$r \in (0; \infty), \theta = 0$ and $r \in (0; \infty), \theta = \frac{\pi}{3}$. The results of the value's $\sigma_r(r, \theta, t)$ calculations are

shown in Table 3. From the analysis of the numerical results noticeably, that the values on the conic surface exceed the values inside the cone, and they have the more expressed oscillating character also. The absolute values of the stress increase with the increase of the enclosed loading frequency, and the more quantity of the maximum and minimum dots is marked. The similar tendency remains for the displacement's values.

Table 3.The frequency values $\tilde{\omega} = 0.5, 1.5, 2.0$

Radius r Points	$\tilde{\omega} = 0.5$		$\tilde{\omega} = 1.5$		$\tilde{\omega} = 2.0$	
	$\theta = \frac{\pi}{12}$	$\theta = \frac{\pi}{3}$	$\theta = \frac{\pi}{12}$	$\theta = \frac{\pi}{3}$	$\theta = \frac{\pi}{12}$	$\theta = \frac{\pi}{3}$
0.5	1.74	2.13	1.99	2.31	2.04	2.73
1.0	1.82	2.11	1.97	2.37	2.01	2.72
1.5	0.94	2.12	2.01	2.34	2.00	2.74
2.0	0.92	2.10	1.98	2.35	2.03	2.70
2.5	0.89	2.05	2.03	2.31	2.02	2.71
3.0	0.81	1.98	1.96	2.30	2.00	2.68

The comparison of the dynamic stress' values with the stress calculated for the similar static problem $\sigma_r^M(r, \theta)$ [13] has been done. In Table 4 the values $\sigma_r(r, \theta, t)/\sigma_r^M(r, \theta)$ are resulted at the frequency $\tilde{\omega} = 1.5$.

Table 4.The ratio of the values $\sigma_r(r, \theta, t)/\sigma_r^M(r, \theta)$

Radius r	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
$\theta = \frac{\pi}{12}$	1.61	1.68	1.66	1.71	1.70	1.59
$\theta = \frac{\pi}{3}$	2.05	2.03	2.05	2.02	2.01	2.00

The analysis of the numerical results shows, that in the case of the dynamically enclosed loading, the value of the stress both on the cone surface, and in it, exceed the values of the stress for the static problem. On the cone surface this ratio exceeds approximately two.

Conclusions

1) For the first time the exact solution of the dynamic elasticity first main problem is constructed for an infinite cone to which vertex the oscillatory force is enclosed.

2) The numerical analysis has shown, that the stress' values $\sigma_r(r, \theta, t)$ on a cone's surface exceed the stress' values in it, and their behavior carries more oscillatory character. The comparison of the dynamic stress with their static analogue allows making a conclusion on the increasing of the first values under to the second ones more than twice.

3) The proposed approach allows to obtain the exact solution of the problem in Laplace's transformation's space for a case of the arbitrary non-stationary force enclosed to a vertex.

4) The constructed exact solution allows to obtain the approximate solution of the dynamic problem for the cone with the inside spherical crack when the stress are given as on the cone's surface, so and on the crack's surface also.

Acknowledgements. The research is supported by Ukrainian Department of Science and Education under Project No. 0101U008297

A Appendix: Coefficients in the formulas (18)

$$\varepsilon_k^1(\varepsilon) = H_v^{(2)}(\alpha\varepsilon)\varepsilon^{-\frac{1}{2}}\left(\frac{3}{4}\varepsilon^{-2} - \mu\mu_0\alpha^2 + 1\right) - \varepsilon^{-\frac{3}{2}}H_v^{(2)'}(\alpha\varepsilon), \quad \nu = \nu_k + \frac{1}{2},$$

$$\varepsilon_k^2(\varepsilon) = \sin \omega P_v(\cos \omega) \int_{\varepsilon}^{\infty} \left[G_k(\varepsilon, \rho) \mu\mu_0\alpha^2 - G_k''(\varepsilon, \rho) \right] \rho d\rho,$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_k^3(\varepsilon) = & \beta^2 \varepsilon^{-\frac{1}{2}} H_v^{(2)}(\beta\varepsilon) + \beta^2 \varepsilon \left(\varepsilon^{-\frac{1}{2}} H_v^{(2)'}(\beta\varepsilon) - \frac{1}{2} \varepsilon^{-\frac{3}{2}} H_v^{(2)}(\beta\varepsilon) \right) + \\ & + 3 \left(\varepsilon^{-\frac{1}{2}} H_v^{(2)}(\beta\varepsilon) - \varepsilon^{-\frac{3}{2}} H_v^{(2)'}(\beta\varepsilon) + \frac{3}{4} \varepsilon^{-\frac{5}{2}} H_v^{(2)}(\beta\varepsilon) \right) + \\ & + \varepsilon \left[\varepsilon^{-\frac{1}{2}} H_v^{(2)}(\beta\varepsilon) - \frac{3}{2} \varepsilon^{-\frac{3}{2}} H_v^{(2)}(\beta\varepsilon) + \frac{9}{4} \varepsilon^{-\frac{5}{2}} H_v^{(2)'}(\beta\varepsilon) - \frac{15}{8} \varepsilon^{-\frac{7}{2}} H_v^{(2)}(\beta\varepsilon) \right], \end{aligned}$$

$$F_k^1(\varepsilon) = \sigma_k^{-1} \left[\varepsilon^{\frac{1}{2}} H_v^{(2)'}(\alpha\varepsilon) - \frac{3}{2} \varepsilon^{-\frac{1}{2}} H_v^{(2)}(\alpha\varepsilon) \right],$$

$$F_k^2(\varepsilon) = -4q_k(\sigma_k\pi)^{-1} \int_{\varepsilon}^{\infty} \left[G_k'(\varepsilon, \rho) - G_k(\varepsilon, \rho) \right] \rho d\rho,$$

$$F_k^3(\varepsilon) = \sigma_k^{-1} \left[\varepsilon^{\frac{3}{2}} H_v^{(2)}(\beta\varepsilon) - \left(\frac{3}{4} \varepsilon^{-\frac{1}{2}} + \frac{\varepsilon^2 \beta^2}{2} \right) H_v^{(2)}(\beta\varepsilon) \right],$$

$$\Omega_k^1(\varepsilon) = \sigma^{-1} \left[-\varepsilon^{-\frac{1}{2}} H_v^{(2)}(\alpha\varepsilon) \left(\mu\mu_0\alpha^2 + \frac{\varepsilon^{-2}}{2} \right) + \varepsilon^{-\frac{3}{2}} H_v^{(2)'}(\alpha\varepsilon) \right],$$

$$\Omega_k^2(\varepsilon) = \int_{\varepsilon}^{\infty} \left[\varepsilon^{-1} G_k'(\varepsilon, \rho) + G_k(\varepsilon, \rho) \left(\mu\mu_0\alpha^2 - \frac{\varepsilon^{-2}}{2} \right) \right] \rho d\rho.$$

B Appendix: Coefficients in the formula (22)

$$f(\alpha, \beta) = 6\alpha^{-2} - \frac{3}{2}\alpha^{-1} + \frac{3}{8} + \frac{P}{\pi \sin \omega} \left(\frac{4 + \alpha^2 \beta^2}{2\alpha} \right),$$

$$C_0^{(k)} = \frac{\sin \omega P_v(\cos \omega)}{\Gamma(\nu)} \left(\mu\mu_0\alpha^2 + \frac{9}{2} \right) + \frac{P}{\pi^2 \sin \omega \sigma_k \alpha^\nu \Gamma(\nu)},$$

$$C_1^{(k)} = C_0^{(k)} \left(\frac{P\mu\mu_0\alpha^2}{\pi^2 \sin \omega f(\alpha, \beta)} - \frac{2(\nu+1)(2\nu+1)}{\alpha^2 f(\alpha, \beta)} \right).$$

C Appendix: The researching of the series' convergence

Let's express the wave potentials in the form

$$\Phi(r, \theta) = S_1(r, \theta) - NS_2(r, \theta), \quad \Psi(r, \theta) = S_3(r, \theta), \quad (\text{C.1})$$

$$S_1(r, \theta) = \sum_{k=0}^{\infty} s_k^{(1)}(r, \theta) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{P_{\nu_k}(\cos \theta)}{\sigma_k} C_0^{(k)} \frac{H_{\nu_k+1/2}^{(2)}(\alpha r)}{\sqrt{r}}, \quad (\text{C.2})$$

$$S_2(r, \theta) = \sum_{k=0}^{\infty} s_k^{(2)}(r, \theta) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{P_{\nu_k}(\cos \theta)}{\sigma_k} q_k \int_{\varepsilon}^{\infty} G_k(r, \rho) \rho d\rho, \quad (\text{C.3})$$

$$S_3(r, \theta) = \sum_{k=0}^{\infty} s_k^{(3)}(r, \theta) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{P_{\nu_k}(\cos \theta)}{\sigma_k} C_1^{(k)} \frac{H_{\nu_k+1/2}^{(2)}(\beta r)}{\sqrt{r}}. \quad (\text{C.4})$$

It is necessary to use the asymptotical formulas for the high values of the Hankel's function of the second order [19] the asymptotic of the $P_{\nu_k}(\cos \theta)$, σ_k , ν_k for the high k values [15]

$$\sigma_k = \frac{\omega}{\pi k} \left[1 + O\left(\frac{1}{k}\right) \right], \quad \nu_k = \frac{k\pi}{\varpi}, \quad P_{\nu}(\cos \theta) = \frac{1}{\sqrt{k}} \cos \left[\frac{k\pi\theta}{\omega} \right] \left[1 + O\left(\frac{1}{k}\right) \right].$$

That leads to the asymptotic relations for the coefficients and for the fundamental function

$$C_0^{(k)} \sim \frac{1}{k^2} + O\left(\frac{1}{k^3}\right), \quad C_1^{(k)} \sim \frac{1}{k^2} + O\left(\frac{1}{k^3}\right),$$

$$N = -\ln(1 - 2\varepsilon \cos \gamma \omega + \varepsilon) - \ln(1 - \varepsilon),$$

$$G_k(r, \rho) \sim \frac{2}{\pi k} \left(r + \frac{r^2}{k} \right) + O\left(\frac{1}{k^3}\right).$$

It allows to establish, that the general term of the series (C.2) has the behavior $s_k^{(1)} \sim \frac{1}{k^2} e^{-k \cos \gamma k \pi}$, and the series (C.2) and the series of its derivatives are absolutely converging. The absolute convergence of the series (C.4) and its derivatives' series is similarly established. The similar analysis was carried out for the series (C.3). It has shown that it converges conditionally, therefore to make the operations of the differentiation and the limiting transition over it, it is necessary to extract the weak-converging part of the series and to sum it. With that aim one must apply the procedure: to divide the series into two items

$S_2(r, \theta) = \sum_{k=0}^M s_k^{(2)} + \sum_{k=M+1}^{\infty} s_k^{(2)}$. In the last item one must replace the term of the series $s_k^{(2)}$ with its

asymptotical representation for the high values $k \rightarrow s_k^{(2)}$. Then one must add and subtract the finite sum $\sum_{k=0}^M \tilde{s}_k^{(2)}$. Then the series (C.3) is represented in the form $S_2(r, \theta) = \sum_{k=0}^{\infty} \tilde{s}_k^{(2)}(r, \theta) + \sum_{k=0}^M (s_k^{(2)}(r, \theta) - \tilde{s}_k^{(2)}(r, \theta))$. The series in this representation is summed [20]

$$S_2(r, \theta) = (\gamma \varepsilon)^{-1} \ln(1 - r \varepsilon \sin \gamma k \theta) + \sum_{k=0}^M (s_k^{(2)} - \tilde{s}_k^{(2)}). \quad (C.5)$$

D Appendix: The checking of the auxiliary problem's solution

One must substitute $\Psi_k(r) = C_1^{(k)} \frac{H_{\nu_k + 1/2}^{(2)}(\beta r)}{\sqrt{r}}$ in the second equation, it is satisfied automatically. In the second wave equation at the substitution $\Phi_k(r) = C_0^{(k)} \frac{H_{\nu_k + 1/2}^{(2)}(\alpha r)}{\sqrt{r}} - Nq_k \int_{\varepsilon}^{\infty} G_k(r, \rho) \rho d\rho$ let's use the linearity property. That leads to the checking of the two equations

$$\left\{ \begin{array}{l} C_0^{(k)} \left(r^2 \left(\frac{H_{\nu_k + 1/2}^{(2)}(\alpha r)}{\sqrt{r}} \right)' \right)' - C_0^{(k)} \nu_k (\nu_k + 1) \frac{H_{\nu_k + 1/2}^{(2)}(\alpha r)}{\sqrt{r}} + C_0^{(k)} r^2 \alpha^2 \frac{H_{\nu_k + 1/2}^{(2)}(\alpha r)}{\sqrt{r}} = 0, \\ Nq_k \left(r^2 \left(\int_{\varepsilon}^{\infty} G_k(r, \rho) \rho d\rho \right)' \right)' - Nq_k \nu_k (\nu_k + 1) \int_{\varepsilon}^{\infty} G_k(r, \rho) \rho d\rho + Nq_k r^2 \beta^2 \int_{\varepsilon}^{\infty} G_k(r, \rho) \rho d\rho = -q_k N r. \end{array} \right.$$

The first equation is satisfied automatically, and the second equation is satisfied on the construction, as the inhomogeneous one for which the fundamental function is constructed. Now it is required to check up the executing of all boundary conditions and the requirement $\Phi^*(r, \omega) = Nr$.

For this purpose let's differentiate the expression (19) with the variable θ , taking into account that series $S_1(r, \theta)$ is absolutely converging, so it can be differentiated and one can pass directly to a limit at $\theta = \omega$ that gives a zero, since $P_{\nu_k}^1(\cos \omega) = 0$. The similar operations with the series $S_2(r, \theta)$ are executed with the using of the form (C.5). As a result it is shown that $\Phi^*(r, \omega) = Nr$.

Let's check up the condition $\tau_{r\theta}(r, \omega) = 0$. Starting from the formula (6), it is necessary to find the derivatives with the variable θ from the wave functions. As the series $S_1(r, \theta)$ and $S_3(r, \theta)$, and also the series of their derivatives, are absolutely converging, so the differentiation with the subsequent transition to $\theta = \omega$ transform them into a zero for any value of the variable r . One must take into consideration the formula (C.5) when executing these operations with the series (C.3). That gives the demanded equality to zero.

Checking the condition $\sigma_\theta(r, \omega) = 0$ one must take into account that $S_2(r, \theta) = 0$ (with the formula (C.5)), and in the other series the operations of the differentiation and the limiting transition to $\theta = \omega$ are lawful owing to the absolute convergence of these series (the items, containing the derivatives of the series $S_3(r, \theta)$, after the limiting transition turn to a zero). Let's investigate the series into the representation of the stress' limiting value

$$\sigma_\theta(r, \omega) = -\mu\mu_0\alpha^2 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{P_{\nu_k}(\cos \omega)}{\sigma_k} C_0^{(k)} \frac{H_{\nu_k + \frac{1}{2}}^{(2)}(\alpha r)}{\sqrt{r}} + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{P_{\nu_k}(\cos \omega)}{\sigma_k} C_0^{(k)} \left(\frac{H_{\nu_k + \frac{1}{2}}^{(2)}(\alpha r)}{\sqrt{r}} \right)'$$

It is obtained with the resulted above asymptotic relations, that the general term of the first series at the high k values behaves as $-\left(\frac{1}{k^3} e^{-k \cos \omega}\right)$, and the second series as $\left(\frac{1}{k^3} e^{-k \cos \omega}\right)$.

Thus, the both conditions on the conic surface are satisfied, and the tangents stress are equal to zero everywhere including the spherical surface $r = \varepsilon$, that confirms at once the executing of the second condition in the boundary conditions (2). By the direct substitution of the found coefficients and wave functions in the expression for the normal stress we are convinced of the first condition from (2) executing at $r = \varepsilon$.

References

1. Achenbach J.D. Wave propagation in elastic solids. – Amsterdam: North-Holland, 1984. – 425 p.
2. Grinchenko V.T. Equilibrium and steady oscillations of finite elastic bodies (in Russian). – Kiev: Naukova Dumka, 1978. – 264 p.
3. Babeshko V.A. Dynamics of inhomogeneous linear-elastic media (in Russian) / V.A. Babeshko, E.V. Glushkov, J.F. Zinchenko. – M.: Nauka, 1989. – 343 p.
4. Guz A.N. Theory of nonstationary aerohydroelasticity of shells (in Russian). Vol. 5 / A.N. Guz, V.D. Kubenko. – Kiev: Naukova Dumka, 1982. – 400 p.
5. Harris J.G. Linear elastic waves. Cambridge texts in applied mathematics. – Cambridge: Cambridge University. Press, 2001. – 178 p.
6. Bogy D.B. Plane steady vibration of an orthogonal elastic wedge / D.B. Bogy, K.C. Wang // Journal of Elasticity. – 1974. – Vol.4, №1. – PP. 1-16.
7. Panasuk V.V. Singular integral equations' method in the two-dimensional elasticity problems of diffraction (in Russian) / V.V. Panasuk, M.P. Savruk, Z.T. Nazarchuk. – Kiev: Naukova Dumka, 1984. – 344 p.
8. Bardzokas D.I. Mathematical modelling in the problems of the mechanics of coupled fields (in Russian) / D.I. Bardzokas, A.I. Zobnin, N.A. Senik, M.L. Filshtinsky. – Moscow: URSS, 2005.
9. Xu R.Q. Three-dimensional exact solutions for the free vibration of laminated transversely isotropic circular, annular and sectorial plates with unusual boundary conditions // Archive of Applied Mechanics. – 2008. – Vol.78, No.7. – PP. 543-558.
10. Mykhas'kiv V.V. Effective dynamic properties of 3D composite materials containing rigid penny-shaped inclusions / V.V. Mykhas'kiv, O.M. Khay, C. Zhang, A. Boström. / Waves in Random and Complex Media. – 2010. – Vol.20, No.3. – PP. 491-510.
11. Rayleigh J.W. On waves propagated along the plane surface of an elastic solid // Proc. Lond. Math. Soc. – 1885. – Vol.17, No.253. – P. 4-11.
12. Nowacki W. Teoria sprężystości / W. Nowacki. – Warszawa: PWN, 1970. – 769 p.
13. Michell J.H. Some elementary distributions of stress in three dimensions // Proc. Lond. Math. Soc. – 1900. – Vol.32. – PP. 23-35.
14. Love A.E.H. A treatise on the mathematical theory of elasticity. – 4th edn. – Cambridge: Cambridge University Press, 1927. – 643 p.
15. Popov G.Ya. New transforms for the resolving equations in elastic theory and new integral transforms, with applications to boundary-value problems of mechanics / International Applied Mechanics. – 2003. – Vol.39, No.12. – PP. 1400-1424.
16. Popov G.Ya. Problems of stress concentration in the neighborhood of a spherical defect // Advances in Mechanics. – 1992. – Vol.15, No.1-2. – PP. 71-110.

17. Popov G.Ya. Concentration of elastic stresses near stamps, cuts, thin inclusions, and reinforcements (in Russian). – Moscow: Nauka, 1982. – 344 p.
18. Popov G.Ya. On expansion of the possibilities of the integral transformation method in solving problems of mechanics // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. – 1980. – Vol.44, No.1. – PP. 89-97.
19. Bateman H., Erdelyi A. Higher Transcendental Functions. Vol. 2. / H. Bateman, A. Erdelyi. – New York: The McGraw-Hill. – 1953. – 396 p.
20. Gradshteyn I. The tables of integrals, series, and products (in Russian) / I. Gradshteyn, I. Rygik. – M.: Nauka, 1963. – 1108 p.
21. Abramowitz M. Handbook of Mathematical Functions / M. Abramowitz, I.A. Stegun. – New York: Dover Publications, 1965. – 1046 p.

Н.Д. Вайсфельд, А.В. Реут

ВОЛНОВОЕ ПОЛЕ БЕСКОНЕЧНОГО УПРУГОГО КОНУСА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ СИЛЫ, ПРИЛОЖЕННОЙ К ОСТРИЮ КОНУСА

В работе решена новая задача об установившихся колебаниях бесконечного упругого конуса при воздействии сосредоточенной силы, приложенной к острию конуса. На конической поверхности заданы напряжения. Для решения поставленной задачи решена вспомогательная задача для конуса, усеченного по сферической поверхности. Решение строится с помощью метода интегральных преобразований и метода функции Грина. Предельный переход в полученном решении вспомогательной задачи приводит к точному решению исходной задачи. Проведены численные расчеты волнового поля конуса.

Ключевые слова: бесконечный конус, установившиеся колебания, задача теории упругости, интегральные преобразования

Н.Д. Вайсфельд, А.В. Реут

ХВИЛЬОВЕ ПОЛЕ НЕСКІНЧЕННОГО ПРУЖНОГО КОНУСА ПРИ ВПЛИВІ ЗОСЕРЕДЖЕНОЇ СИЛИ, ПРИКЛАДЕНОЇ ДО ВІСТРЯ КОНУСА

У роботі вирішена нова задача про сталі коливання нескінченного пружного конуса при впливі зосередженої сили, прикладеної до вістря конуса. На конічній поверхні визначені напруги. Для рішення поставленої задачі вирішена допоміжна задача для усіченого сферичною поверхнею конуса. Рішення будується за допомогою методу інтегральних перетворень і методу функції Гріна. Граничний перехід в отриманому рішенні допоміжної задачі приводить до точного рішення поданої задачі. Проведено чисельні розрахунки хвильового поля конуса.

Ключові слова: нескінченний конус, сталі коливання, задача теорії пружності, інтегральні перетворення

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ- МАНІПУЛЯТОРІВ

С.В. Ленков¹, С.А. Шворов², Д.В. Чирченко²

¹ Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка,
просп. Глушкова, 2, корпус 8, Київ, 03680, Україна: e-mail: lenkov_s@ukr.net

² Національний університет біоресурсів і природокористування України,
вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041, Україна

Розглянуті методи моделювання руху мобільних роботів-маніпуляторів (РМ) з розпізнаванням перешкод в конфліктному середовищі. Проведено моделювання роботи лінійного електродвигуна постійного струму в однокоординатному режимі та приводу платформи робота-маніпулятора на основі лінійних та дугових електричних двигунів в багатокоординатному режимі руху під час перехідних процесів.

Ключові слова: робот-маніпулятор, багатокритеріальний синтез, маршрути пересування, лінійні та дугові електродвигуни, перешкода, нейронна мережа

Вступ

Впровадження сучасних засобів автоматизації та робототехніки в усі галузі відноситься до перспективних інноваційних проектів і пов'язане з капітальними вкладками як на придбання техніки, так і на розробку проектів та виконання підготовчих робіт. Розробка нових засобів та систем у робототехніці пред'являє підвищені вимоги до мобільності пересування роботів-маніпуляторів під час виконання ними різноманітних завдань. Підвищення ефективності їх пересування може бути досягнуто за допомогою використання спеціальних методів розпізнавання перешкод та моделювання руху мобільних РМ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що існуючим методам синтезу маршрутів руху РМ властиві наступні основні недоліки: низький рівень точності розпізнавання перешкод в умовах динамічної невизначеності, відсутність можливостей одночасного врахування різних видів перешкод, значні витрати на створення та застосування обладнання [1]. Одним із напрямків усунення зазначених недоліків є широке застосування нейронних мереж для визначення перешкод та методів моделювання руху мобільних РМ. Однак, у зв'язку з великими обсягами початкових даних і відсутністю ефективних інженерних методик вирішення даної задачі виникає необхідність у проведенні цілеспрямованих досліджень у цьому напрямку.

Мета досліджень

Метою досліджень є розробка математичної моделі та моделюванні руху платформи робота-маніпулятора для обґрунтування можливостей створення перспективних приводів РМ.

Виклад основного матеріалу дослідження

Під час пошуку оптимальних маршрутів руху мобільних РМ необхідно враховувати, що пересування робота знаходиться під впливом конфліктного середовища.

Як правило, конфліктне середовище складається з конфліктуючих предметів (перешкод), наявність яких в зоні пошуку оптимальної траєкторії зумовлена процесами, не зв'язаними з проходженням через цю зону мобільного РМ. Конфліктуючі предмети даного класу будемо називати пасивними. Однак інколи, при розв'язанні деяких специфічних задач синтезу компромісно-оптимальних траєкторій, доводиться мати справу з конфліктуючими іншими мобільними РМ, що також знаходяться та рухаються в зоні пошуку для просування мобільного робота до кінцевої цільової точки. Конфліктуючі предмети цього класу будемо називати активними.

Таким чином, для правильного розв'язання задачі синтезу компромісно-оптимальних маршрутів пересування РМ, що рухаються у конфліктному середовищі, необхідно щоб методика розрахунку цих маршрутів дозволяла врахувати вид перешкод, та на підставі його властивостей, кількісно оцінити вплив конфліктного середовища на траєкторію пересування мобільного РМ.

Розпізнавання перешкод включає у себе ряд кроків: сприйняття образу (технічне вимірювання); попереднє опрацювання отриманого сигналу (фільтрація); виділення потрібних характеристик (індексація); класифікація перешкоди та прийняття рішення. Стосовно першого кроку, для сприйняття образу можна використати сприймаючий елемент типу HiTechnic. Він може працювати у трьох режимах: відрізняти шість кольорів, чи розподіляти сприйнятий колір на три кольори режиму RGB (червоний, зелений, синій); фіксувати зовнішнє освітлення і видавати результат в умовних одиницях; фіксувати відбите світло, створене власним випромінювачем і видавати результат в умовних одиницях. Для попереднього опрацювання (фільтрації) вхідних образів доцільно використати Вейвлет-аналіз, який базується на використанні вейвлетів, що являють собою математичні функції та дозволяють аналізувати різні частотні компоненти. У загальному випадку такий аналіз відбувається в площині: вейвлет коефіцієнт – час – рівень. Самі вейвлет коефіцієнти визначаються інтегральним перетворенням сигналу. Отримані вейвлет-спектрограми принципово відрізняються від рядів Фур'є тим, що дають чітку прив'язку спектра особливостей сигналу до часу. Третій та четвертий кроки розпізнавання образів, як правило, об'єднуються у системі розпізнавання образів (СРО) на основі використання нейронних мереж. Традиційна для такого підходу щодо вирішення задач розпізнавання образів нейромережева архітектура – багатошаровий перцептрон. Враховуючи налагодженість програмних засобів та здатність до адаптивного підлаштування в умовах динамічної розмитості технологічної інформації, саме цей математичний апарат доцільно використовувати для створення СРО [2-5].

Після визначення виду перешкоди вирішується задача синтезу компромісно-оптимальних траєкторій руху мобільного РМ у конфліктному середовищі. Для розв'язання даної задачі запропоновано метод багатокритеріального динамічного програмування, суть якого полягає в наступному [6, 7].

Відправна задача приводиться до дискретного виду. Для цього область простору станів, що нас цікавить, накривається n -арною мережею $N^{(1)} \times N^{(2)} \times \dots \times N^{(n)}$, при цьо-

му вважається, що зображуючі точки руху РМ можуть переміщуватися тільки з одного вузла цієї мережі до іншого.

Вузли мережі, розташовані в заборонених областях, будемо називати забороненими точками. Шукана траєкторія руху РМ не може проходити через ці точки ні за яких обставин.

У вузлах мережі, розташованих у безпосередній близькості від конфліктуючих предметів та меж заборонених зон (в тому випадку, якщо наближення до заборонених зон небажано), розміщують (y^*, x^*) – точки-носії потенціалу небезпеки. Усі інші вузли мережі є точками допустимої області, в якій і виконується пошук оптимальної траєкторії. Далі для кожної точки з допустимої області визначається сумарний потенціал близькості до конфліктуючих предметів (P). Довжина шляху l характеризується довжиною переходу з рівня $j-1$ по координаті y на рівень j . При цьому вважається, що «свій» РМ, знаходячись в одній з допустимих точок на $j-1$ -му рівні мережі, може переходити лише в одну з допустимих точок на j -му рівні.

Враховуючи те, що критерій ψ , який оцінює небезпеку від зближення «свого» та «чужого» РМ, повинен мінімізуватися, вибрана функція $\psi = \psi(R_{\min})$, яка зменшується при зростанні відстані між ними ($R_{\min}$ – відстань між мобільними РМ).

Задача синтезу оптимальної траєкторії руху в заданих умовах розв'язується методом динамічного програмування з узагальненим критерієм оптимальності по нелінійній схемі компромісів. При цьому для визначення оптимального шляху РМ в кожному m -у допустиму точку по координаті x j -го рівня по y на кожному кроці розв'язується функціональне рівняння Беллмана

$$\Phi(j, m) = \min_{i \in I_{j-1}} [\Delta\Phi_{j-1,i}^{j,m} + \Phi(j-1, i)], j \in [1, J], \quad (1)$$

з граничною умовою $\Phi(0, s) = 0$, де j – кількість рівнів переходу по координаті y на мережі; I_{j-1} – кількість допустимих точок на $j-1$ -му рівні мережі; s – номер початкової точки по координаті x на нульовому рівні мережі; $\Phi(j, m)$ – сумарні втрати по узагальненому критерію оптимальності при переході з початкової точки $(0, s)$ в точку (j, m) мережі; $\Delta\Phi_{j-1,i}^{j,m}$ – прирощення узагальненого критерію під час переходу з точки $(j-1, i)$ в точку (j, m) мережі.

В узагальнений критерій якості входять три приватних критерії. Перший (P) кількісно визначає ступінь небезпеки наближення до конфліктуючих предметів. Другий (l) – характеризує довжину переходу з точки $(j-1, i)$ в точку (j, m) мережі. Третій приватний критерій (ψ) визначає ступінь небезпеки наближення до рухомого «чужого» РМ під час переходу з точки $(j-1, i)$ в точку (j, m) мережі.

Структура узагальненого критерію будується в відповідності з методологією нелінійної схеми компромісів [6-7] та визначається виразом

$$\Delta\Phi_{j-1,i}^{j,m} = \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{j,m}} + \frac{l_{\max}}{l_{\max} - l_{j-1,i}^{j,m}} + \frac{\psi_{\max}}{\psi_{\max} - \psi_{j-1,i}^{j,m}}. \quad (2)$$

У якості оптимальної на рівні j вибирається та допустима точка даного рівня, якій відповідає мінімум сумарних втрат за узагальненим критерієм оптимальності (2).

Дослідження, проведені в [7-9] показують, що найбільш перспективними для побудови РМ є приводи на основі лінійних і дугових електричних двигунів (ЛДЕД) через кращі динамічні характеристики останніх. Тому, розглянемо роботу платформи РМ

ЛДЕД в однокоординатному режимі та приводу робота-маніпулятора в багатокоординатному режимі руху.

Характерною особливістю роботи серводвигунів в приводах рухомих РМ є те, що під час їхньої роботи практично відсутні режими усталеного руху. Тому дослідження роботи лінійного електричного двигуна постійного струму проводились під час перехідних процесів. Для проведення досліджень була отримана динамічна модель роботи лінійного електродвигуна постійного струму (рис. 1) під час перехідних процесів. Дана модель дозволила провести дослідження роботи серводвигунів під час розгону, гальмування, зміни напрямку руху, визначити умови зміни характеру перехідних процесів (аперіодичний і загасаючий коливальний), оцінити вплив сил тертя, однобічного магнітного тяжіння на роботу серводвигунів.

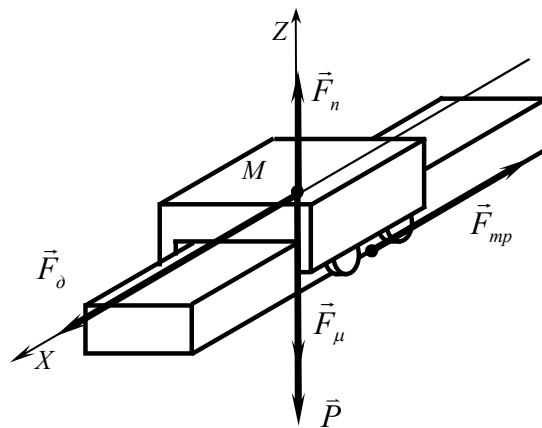


Рис. 1. Схема роботи лінійного електродвигуна

У якості динамічної моделі була використана система з двох рівнянь. Перше рівняння – це рівняння руху серводвигунів уздовж шляхової структури (по одній координаті). Друге – динамічна характеристика електричного двигуна постійного струму:

$$\left. \begin{aligned} F_d - m\dot{V} - F_C &= 0; \\ \tau\dot{F}_d + F_d - \frac{k\Phi}{R}U_H + \frac{k^2\Phi^2}{R}V &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

де F_d – тягове зусилля лінійного електродвигуна; m – маса рухомого елементу лінійного електродвигуна; F_C – сили опору; τ – власна (електромагнітна) постійна часу; U_H – підведена зовнішня напруга; k – коефіцієнт пропорційності; Φ – магнітний потік; R – опір обмотки якоря.

Дослідження динаміки машини полягало у визначенні і аналізі часткових рішень отриманих диференціальних рівнянь руху, що відповідають деяким характерним режимам роботи.

Так, отримані залежності $V(t)$ під час розбігу, гальмування і зміни напрямку руху для випадків аперіодичного і загасаючого коливального процесів (рис. 2(а-в)).

Дослідження показали: час розбігу і час зміни напрямку руху не залежать від середньої швидкості сталого руху; час гальмування залежить від характеру перехідного

процесу – час гальмування менше тоді, коли корені характеристичного рівняння нерівні дійсні.

Умовою стійкості аперіодичного процесу є нерівність

$$\frac{1}{4\tau^2} - \frac{k^2\Phi^2}{R\tau M} > 0.$$

Під час моделювання було оцінено вплив сил одnobічного магнітного тяжіння F_μ і сил тертя F_{TP} в кінематичних парах на рух рухливого модуля, що у першому рівнянні системи (1) показані як F_C . Отже, в усталеному русі при постійному тяговому зусиллі ($F_d = const$) вони будуть впливати тільки на середню швидкість руху модуля.

Дослідження показали, що істотний вплив на характер руху вихідної ланки двигуна має зміна навантаження. У цьому випадку умова стійкості аперіодичного процесу з урахуванням впливу корисного навантаження має вигляд:

$$M > \frac{4\tau k^2\Phi^2}{R}.$$

У загальному випадку збільшення навантаження призводить до збільшення сил опору, а збільшення корисної маси, переміщуваної модулем, крім того, і до збільшення сили інерції.

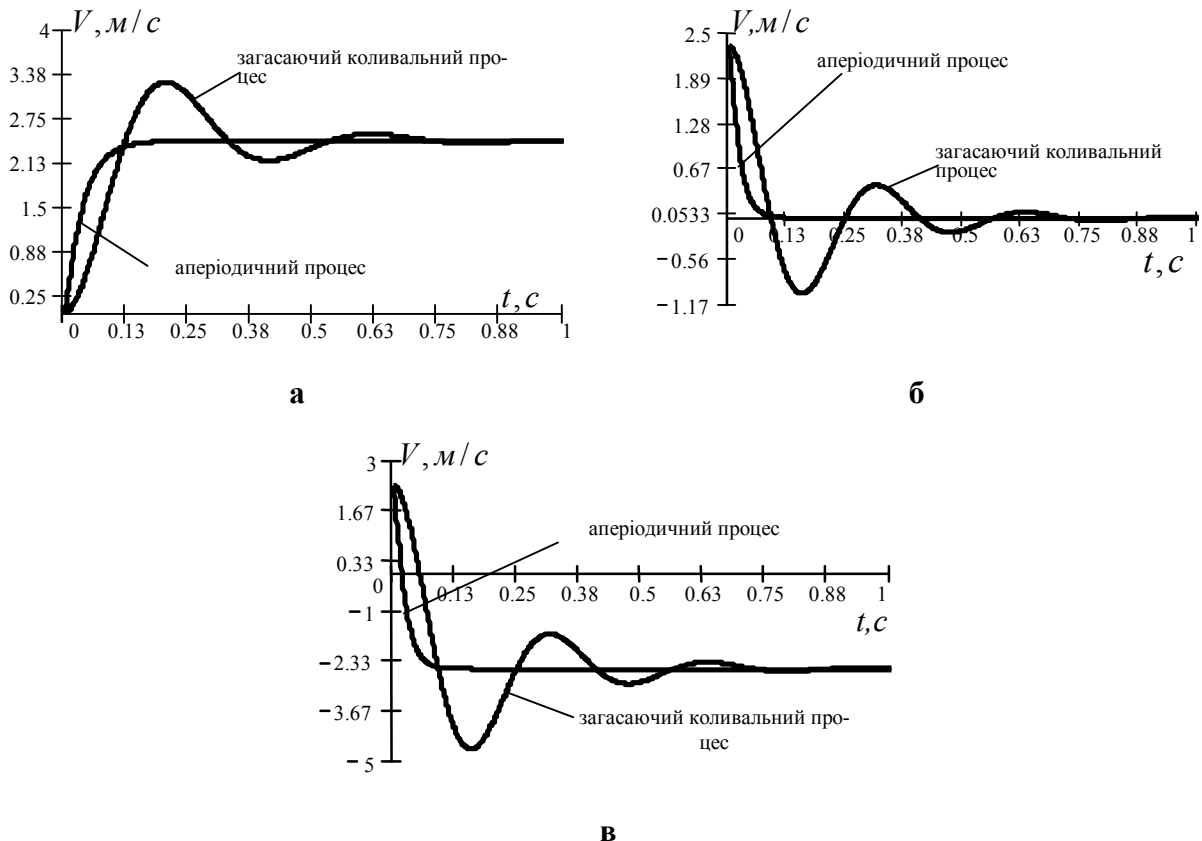


Рис. 2. Залежність $V(t)$ під час розбігу (а), гальмування (б), при зміні напрямку руху (в)

На рис. 3(а-б) графіками показані залежності $V(t)$ під час розбігу для випадків аперіодичного і коливального процесу. Як видно з графіків рис. 3, а у випадку аперіодичного процесу

дичного процесу збільшення маси M приводить до збільшення часу розбігу. У той же час, при загасаючому коливальному процесі час розбігу залишається тим самим (рис. 3(б)).

Як приклад була досліджена робота розрахункового лінійного електродвигуна постійного струму. У результаті досліджень були отримані основні динамічні характеристики цього двигуна: електромеханічна постійна часу, час початку руху, час розбігу до швидкості сталого руху, час гальмування, час зміни напрямку руху.

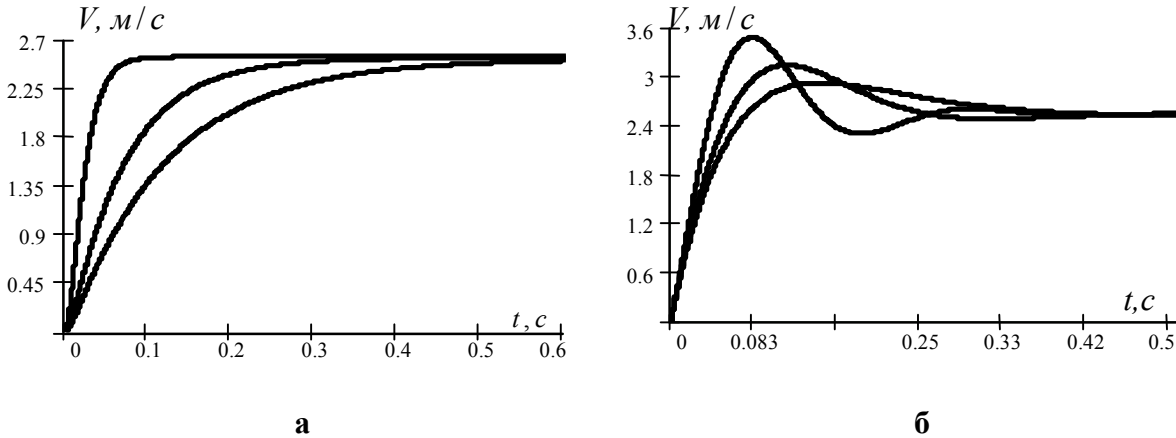


Рис. 3. Вплив μ та F_{TR} на розбіг при аперіодичному процесі (а), при загасаючому коливальному процесі (б)

Таким чином, основними результатами досліджень роботи лінійного електродвигуна постійного струму в однокоординатному режимі роботи стали: математична модель роботи лінійного електродвигуна постійного струму під час перехідних процесів; аналітичні залежності швидкості руху рухливого модуля двигуна під час різного роду перехідних процесів; визначення впливу сил опору і корисного навантаження на характер роботи двигуна; визначення умов зміни характеру перехідних процесів.

На наступному етапі було проведено динамічне моделювання роботи приводу (рис. 4). Він містить феромагнітну хрестоподібну шляхову структуру 1, два промені якої, розташовані перпендикулярно один до одного, несуть на собі по одному рухомому модулю – лінійному двигуну 2. Інші два промені несуть на собі напрямні опори 4 (в іншому варіанті замість напрямних опор можуть бути встановлені ще два лінійних електродвигуна). На корпусі кожного лінійного двигуна та на кожній напрямній опорі встановлено опори качання 5, площадка-основа яких вільно обертається на підшипнику качання. В опорах качання 5 встановлено, з можливістю вільно рухатись, феромагнітне кільце 3 з трикутною площадкою-основною підйомних механізмів. На корпусі одного з рухомих модулів 2 або на одній з напрямних опор 3, встановлено індуктор 6 дугового електродвигуна.

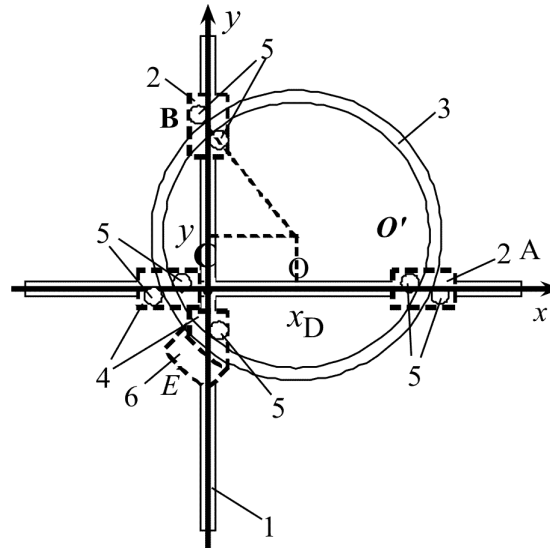


Рис. 4. Загальна схема приводу

Метою досліджень було рішення прямої та зворотної задач програмного керування. Постановка задач програмного керування, а також методи їхнього рішення широко представлені в роботах А.С. Галіуліна, А.М. Лєтова, И.А. Мухаметзянова, Р.Г. Мухарлямова, М.З. Коловського [10-12]. У дійсній роботі ці методи використані для моделювання і розрахунку запропонованого приводу. Крім того, для вирішення цих задач було розроблено математичну модель [8], яка описується рівняннями (4-9).

$$\begin{aligned}
 & \left[m_A + m_C + m_K + (m_D + m_E) \frac{x^2}{r^2 - x^2} + m_B \frac{x^2}{r^2 - y^2} \right] \ddot{x} + (m_D + m_E) \left[\frac{x\dot{x}^2}{r^2 - x^2} + \frac{x^3\dot{x}^2}{(r^2 - x^2)^2} \right] - \\
 & - \left[(m_A - m_C) \frac{y}{\sqrt{r^2 - y^2}} - (m_D + m_E) \frac{x}{\sqrt{r^2 - x^2}} + m_B \frac{x}{\sqrt{r^2 - y^2}} \right] \ddot{y} + J_E \frac{x\dot{x}}{(r^2 - x^2)^2} + \\
 & + m_B \left[\frac{x\dot{x}^2}{r^2 - y^2} + \frac{\dot{x}x^2(2y\dot{y} - x\dot{x})}{(r^2 - y^2)^2} + \frac{x\dot{y}(x\dot{x} - y\dot{y})}{\sqrt{(r^2 - y^2)^3}} \right] - (m_A - m_C) \left[\frac{\dot{y}^2}{\sqrt{r^2 - y^2}} + \frac{y^2\dot{y}^2}{\sqrt{(r^2 - y^2)^3}} \right] = \\
 & = (F_{\partial A} - F_{A_n} - F_{C_n}) \frac{r^2 - y^2}{r^2} + (F_{\partial B} - F_{B_n} - F_{D_n}) \frac{x^2}{r^2} - (F_{B_k} + F_{D_k}) \frac{1}{r} - F_E \frac{r}{\sqrt{r^2 - x^2}},
 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
 & \left[m_B + m_D + m_E + m_K + (m_A + m_C) \frac{y^2}{r^2 - y^2} \right] \ddot{y} + (m_A + m_C) \left[\frac{y\dot{y}^2}{r^2 - y^2} + \frac{y^3\dot{y}^2}{(r^2 - y^2)^2} \right] - \\
 & - \left[(m_A + m_C) \frac{y}{\sqrt{r^2 - y^2}} + (m_D + m_E) \frac{x}{\sqrt{r^2 - x^2}} - m_B \frac{x}{\sqrt{r^2 - y^2}} \right] \ddot{x} + \\
 & + 2m_A \left[\frac{\dot{y}\dot{x}}{r^2 - y^2} + \frac{y^2\dot{y}\dot{x}}{\sqrt{(r^2 - y^2)^3}} \right] + (m_D + m_E) \left[\frac{\dot{x}^2}{\sqrt{r^2 - x^2}} + \frac{x^2\dot{x}^2}{\sqrt{(r^2 - y^2)^3}} \right] -
 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 & -m_B \left[\frac{\dot{x}^2}{\sqrt{r^2 - y^2}} + \frac{xy\dot{y}}{\sqrt{(r^2 - y^2)^3}} \right] = \\
 & = (F_{\partial B} - F_{Bn} - F_{Dn}) \frac{r^2 - x^2}{r^2} + (F_{\partial A} - F_{An} - F_{Cn}) \frac{y^2}{r^2} - (F_{Ak} + F_{Ck}) \frac{1}{r} + F_E \frac{r}{\sqrt{r^2 - y^2}}, \\
 & \frac{1}{2} m_K r^2 \ddot{\varphi} = F_{\partial E} r - (F_{Ak} + F_{Bk} + F_{Ck} + F_{Dk}) r, \tag{6}
 \end{aligned}$$

$$\tau \dot{F}_{\partial A} + F_{\partial A} - \frac{k\Phi}{R} U_A + \frac{k^2 \Phi^2}{R} V_A = 0, \tag{7}$$

$$\tau \dot{F}_{\partial B} + F_{\partial B} - \frac{k\Phi}{R} U_B + \frac{k^2 \Phi^2}{R} V_B = 0, \tag{8}$$

$$\tau \dot{F}_{\partial E} + F_{\partial E} - \frac{k\Phi}{R} U_E + \frac{k^2 \Phi^2}{R} r \dot{\varphi} = 0, \tag{9}$$

де m_A, m_B, m_C, m_E, m_K – маси рухомих модулів A, B , направляючих опор C, D , індуктора E і кільця відповідно; r – радіус кільця; x, y, φ – узагальнені координати; $F_{\partial A}, F_{\partial B}, F_{\partial E}$ – рушійні сили лінійних двигунів A, B і дугового двигуна E ; $F_{An}, F_{Bn}, F_{Cn}, F_{Dn}$ – сили тертя, які викликані рухом рухомих модулів лінійних двигунів A, B і направляючих опор C, D ; $F_{Ak}, F_{Bk}, F_{Ck}, F_{Dk}$ – сили тертя, які викликані рухом кільця по опoram качання.

Тут (4-6) – рівняння руху трьохкоординатного приводу, а (7-9) – динамічні характеристики лінійних електродвигунів A і B та дугового електродвигуна C .

Пряма задача сформульована наступним чином: нехай задані закони зміни керуючих напруг $U_A(t), U_B(t), U_C(t)$ на електродвигунах і початкові умови, визначити закон руху кільця (платформи тренажера). Рішення цієї задачі зводиться до інтегрування системи рівнянь (4-9).

У якості прикладу було вирішено часткову задачу при якій на вхід одного з двигунів (в даному випадку двигуна A) подана постійна напруга ($U_A = const$), а якірні обмотки двигунів B і E вимкнуті. Початкові умови – $x(t) = 0, \dot{x}(t) = 0, y(t) = 0, \dot{y}(t) = 0, \varphi(t) = 0, \dot{\varphi}(t) = 0$. Рішенням задачі є залежності $x(t), V_x(t), y(t), V_y(t), \varphi(t)$ і $\omega(t)$.

На рис. 5 показано роботу приводу в умовах коли на вхід двигуна A подана постійна напруга ($U_A = const$), а якірні обмотки двигунів B і E увімкнуті. При цьому, крім руху вздовж осі X , відбувається також рух вздовж осі Y та кутове переміщення. Дійсно, згідно з графіками (рис. 5) в двигунах B і E з'являються електромагнітні зусилля, які призводять до відповідного руху кільця.

Для керування роботою приводу виникає необхідність розв'язання зворотної задачі програмного керування, а саме отримання закону зміни керуючих напруг $U_A(t), U_B(t), U_E(t)$, що забезпечували б здійснення заданого програмного руху кільця. Формальне рішення такої задачі буде полягати у наступних кроках: підставити в рівняння 4-6 рівняння заданого програмного руху $x(t), y(t), \varphi(t)$; визначити з системи рівнянь 4-6 закон зміни тягових зусиль двигунів $F_A(t), F_B(t), F_E(t)$ на програмному русі; визначити $U_A(t), U_B(t), U_E(t)$ з рівнянь 7-9.

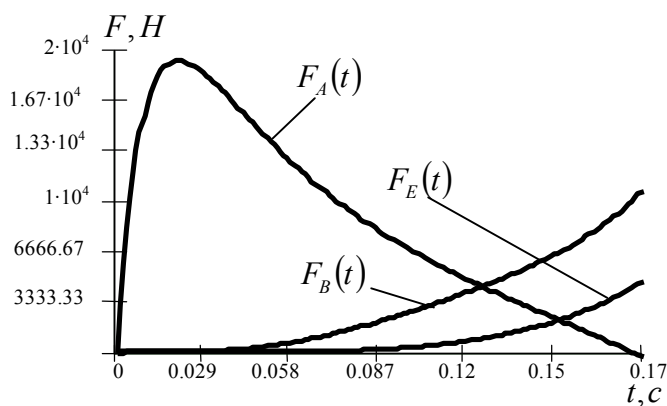


Рис. 5. Залежності $F(t)$ при подачі постійної напруги на двигун A при увімкннутих якірних обмотках двигунів B, E

Однак, на практиці, по-перше, не для всякого руху знайдене таким шляхом керування є практично реалізуємим; по-друге, подавши на вхід двигуна керуючу напругу $U(t)$, знайдену рішенням зворотної задачі, заданого програмного руху не буде через те, що отриманий рух є лише частковим рішенням системи рівнянь 4-9, який здійснюється за певних початкових умов, виконання яких не забезпечується обраним керуванням.

Тому дана задача вирішувалась численними методами. Рішення окремої з таких задач показане графіками на рис. 6.

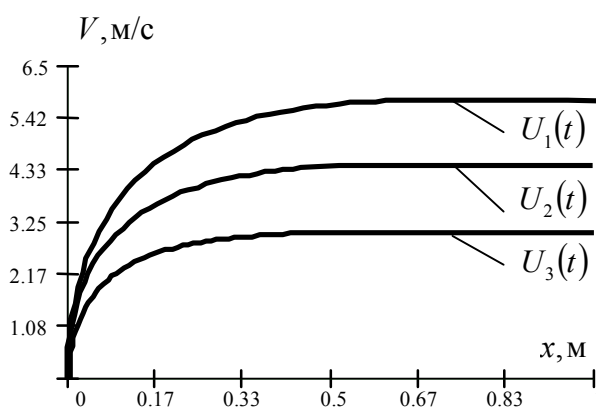


Рис. 6. Залежності $V(x)$ при різних значеннях керуючої напруги

Тут вирішена задача для реалізації рівномірного прямолінійного руху РМ шляхом відтворення тільки пікових значень прискорень.

Висновки

Таким чином, на основі сумісного використання методів розпізнавання образів та багатокритеріальної оптимізації забезпечується вирішення задачі синтезу компромісно-оптимальних траєкторій руху мобільних роботів-маніпуляторів з розпізнаванням перешкод в конфліктному середовищі. Основними результатами досліджень є: отримання сукупності математичних співвідношень для розрахунку руху РМ та динамічних харак-

теристик лінійних електродвигунів постійного струму, які відрізняються від відомих тим, що враховують сили, які виникають при розгоні, гальмуванні та зміні напрямку руху; розроблена математична модель руху платформи РМ з багатокоординатним електромеханічним приводом на основі ЛДЕД з використанням отриманих залежностей між керуючими напругами та змінами координат об'єкта керування. Таким чином визначено закономірності функціонування приводів на основі ЛДЕД постійного струму з метою створення електромеханічних приводів мобільних роботів-маніпуляторів.

Список літератури

1. Пелихов Е.Ф. Экономическая эффективность инноваций: [Монография] / Е.Ф. Пелихов; Нар. укр. акад. – Х.: Изд-во НУА, 2005. – 167 с.
2. Фукунава К. Автоматическое распознавание образов / К. Фукунава. – М.: Наука, 1979. – 367 с.
3. Бабаков М.Ф. Методы машинного моделирования в проектировании электронной аппаратуры / М.Ф. Бабаков, А.В. Попов. – Х.: НАЭКУ «ХАИ», 2002. – 89 с.
4. Лисенко В.П. Ймовірнісна (Байєсівська) нейронна мережа класифікації температурних образів / В.П. Лисенко, В.М. Штепа, А.О. Дудник // Вісник аграрної науки. – К.: НААН. – 2011. – № 4. – С. 53-56.
5. Лисенко В.П. Застосування теорії статистичних рішень та ймовірнісної нейронної мережі для класифікації температурних образів / В.П. Лисенко, В.М. Штепа, Б.Л. Головінський, А.О. Дудник, Н.А. Заєць // Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту». – Херсон: ХНТУ. – 2011. – С. 274-278.
6. Воронин А.Н. Многокритериальный синтез динамических систем / А.Н. Воронин. – К.: Наукова думка, 1992. – 157 с.
7. Підхід до вирішення задачі компромісно-оптимального вибору маршруту руху об'єктів в конфліктному середовищі / С.А. Шворов, А.М. Берназ, О.І. Бурчак [та ін.] // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: Київський університет, 2008. – № 19. – С. 63-71.
8. Шворов С.А. Моделювання руху кабіни тренажера з електромеханічним приводом на основі лінійних і дугових електродвигунів постійного струму / С.А. Шворов, В.М. Ярмолюк // Збірник наукових праць ВІКНУ. – 2006. – Вип. 5. – С. 128-134.
9. Ярмолюк В.М. Методика визначення та порівняльного аналізу динамічних характеристик електричних приводів лінійних переміщень / В.М. Ярмолюк // Збірник наукових праць ОІСВ. – 2003. – № 8. – С. 131-138.
10. Артоболевский И.И. Теория механизмов / И.И. Артоболевский. – М.: Наука, 1965. – 776 с.
11. Коловский М.З. Динамика машин / М.З. Коловский. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1989. – 263 с.
12. Павловский М.А. Теоретическая механика. Динамика / М.А. Павловский, Л.Ю. Акинфиева, О.Ф. Бойчук. – К.: Выща школа, 1990. – 480 с.

С.В. Ленков, С.А. Шворов, Д.В. Чирченко

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ

Рассмотрены методы моделирования движения мобильных роботов-манипуляторов (РМ) с распознаванием препятствий в конфликтной среде. Проведено моделирование работы линейного электродвигателя постоянного тока в однокоординатном режиме и привода платформы робота-манипулятора на основе линейных и дуговых электрических двигателей в многокоординатном режиме движения во время переходных процессов.

Ключевые слова: робот-манипулятор, многокритериальный синтез, маршруты передвижения, линейные и дуговые электродвигатели, препятствие, нейронная сеть

S. Lenkov, S. Shvoroov, D. Chirchenko

MODELING THE MOVEMENT OF MOBILE ROBOT-MOUNTED

Considered methods for modeling the movement of mobile robot (RM) in recognition of obstacles in conflict environments. The modeling of linear motor direct current in single mode and drive platform robot manipulator based on linear and arc electric motors in a multi mode traffic during transients.

Keywords: robot-mounted, multicriteria synthesis, routes, linear and arc motors, obstruction, neural network

DETECTION OF DIGITAL IMAGE BLURRING TRACES

Vadim A. Mokritsky, Victoria V. Zorilo

Odessa National Polytechnic University,
1, Ave. Shevchenko, Odessa, 65044, Ukraine; e-mail: jyzel@rambler.ru

In this paper we develop and implement a method to separate digital image that was subjected to blurring operation from not processed one. Digital image blurring traces indicate the possible digital image falsification.

Keywords: image falsification, digital image blurring

Introduction

The considerable increase of unauthorized changes of digital images (DI) by software tools (Adobe Photoshop, Adobe Illustrator, CorelDRAW, etc.) causes an extraordinarily actual problem of such falsifications recognition. As we know from practice and relative papers blurring is often used while DI tampering. Sometimes it can be concluded that the presence of digital image blurring (IB) traces indicates the possible DI falsification. In accordance with [1-3], singular values (SV) and singular vectors of DI matrix determine the informative system. Accordance between energy and singular spectrums of signal matrix is determined in [1, 4, 5]. By this accordance while using of IB singular values diminish as follows: SV, that correspond to the high-frequency constituent of DI signal (the least and the middle ones), are subjected to the largest changes. Speed of their increase will be near to zero (thus, the more radius of IB, the less difference of increase speed from zero), unlike increase speed of the least SV of not blurred image (Fig. 1, see SV 6-12).

We will use this feature of singular spectrums for separation of original DI from blurred one.

We'll also automatize this process. To reach our aim it is necessary to decide following *problems*:

- To choose the way of small and middle (most informative in this task) SV presentation for valuation of their conduct;
- To get the threshold values for separation of blurred DI from not blurred one.

Determination of threshold values for image blurring detection

To present small and middle SV of DI matrix we will use the polynomial of degree 1 as approximating function. It is necessary to valuate increase speed of the least SV of DI matrix. So we can receive numerical parameters and threshold values for separation of blurred DI (BDI) from not blurred DI (NBDI). The computing experiment with more than 400 different DI produced by modern photo cameras in the jpeg-format was carried out. DI were blurred by filter of Adobe Photoshop "Blurring on Gauss". This filter is chosen because of its high-usage in different aims, including the concealment of DI falsification tracks. We'll examine case when blurring radius is equal to 1. This is the most difficultly "caught" situation. The blurring radius increase leads to differences increase between BDI and NBDI.

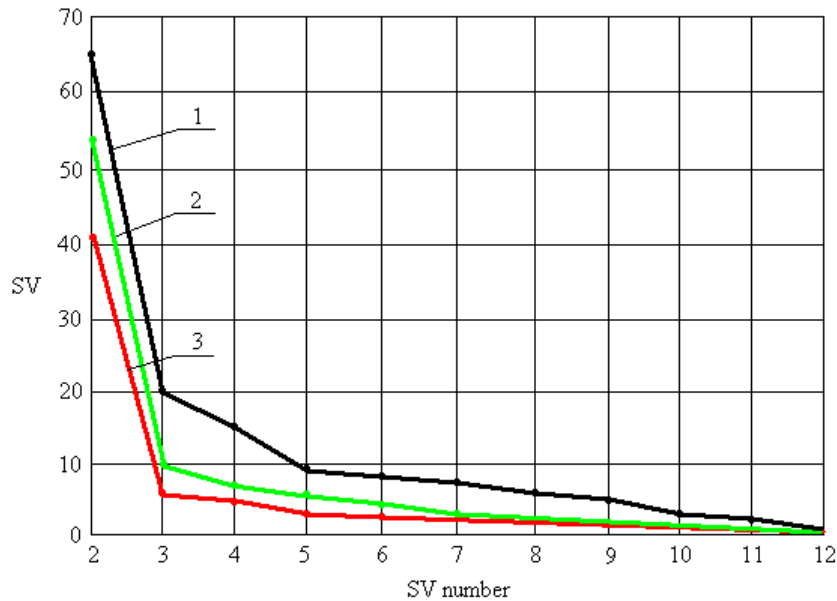


Fig. 1. Interpolating spline powers of one for SV set of testing DI; 1 – origin DI; 2 – blurred DI (radius 1); 3 – blurred DI (radius 2)

Proof of DI authenticity is the important task in many areas of human activity and in particular in judicial trials. DI can be used as a material proof. Its quality must be acceptable. This means that artifacts presence on an image is impermissible. Besides, image's bad quality causes a doubt in authenticity not allows to examine it as a material proof. One can save DI in jpeg-format using different values of "quality" Q (Q takes on values 0, 1,..., 12 at Adobe Photoshop). It was determined by the subjective ranging, that DI artifacts are noticeable to a greater or less extent at $Q \in \{0, 1, \dots, 7\}$. Good visual perception is arrived at $Q = 9, Q = 10$. Therefore further researches are carried out for $Q \in \{8, 9, 10\}$. Obviously increase speed of small and middle SV for BDI differs from analogical description for NBDI, when an original image is saved in the best quality ($Q = 10$). Really, NBDI contours will be the clearest in this case; the signal high-frequency constituent will be the most considerable. Increase speed of the least SV of DI matrix will be the greatest in comparison with $Q = 8, Q = 9$. There by the effect of the least SV and their increase speed diminishing will be most noticeable under blurring. Most "complications" will arise up at $Q = 8$, because high-frequency constituent of signal is quite small in itself in this case.

Let F is testable DI $n \times m$ matrix. We break up this matrix into 8×8 blocks standard character [6]. The total amount (B) of blocks will be equal

$$B = \left\lceil \frac{n}{8} \right\rceil \cdot \left\lceil \frac{m}{8} \right\rceil = \underline{Q}(mn), \quad (1)$$

where $\lceil \bullet \rceil$ is argument's integer part. For each block we calculate the set of SV. We build a linear approximating function for five the least SV of every 8×8 block. The angular coefficient of the approximating function is the approximate value of SV increase speed. We put the $\left\lceil \frac{n}{8} \right\rceil \times \left\lceil \frac{m}{8} \right\rceil$ matrix in accordance to testable DI. Every $\left\lceil \frac{n}{8} \right\rceil \times \left\lceil \frac{m}{8} \right\rceil$ matrix element corresponds to a 8×8 block with the same indexes and is equal to increase speed of the least five SV of block. We'll call this matrix "matrix of increase speed" (MIS). MIS differ

qualitatively for NBDI and BDI. To automatize the process of recognition we create the vector of mean values (VMV). VMV is the result of MIS values column-wise (row-wise) averaging. Graphic VMV presentations and VMV approximating linear functions are given in Fig. 3 for DI “MASHA” (Fig. 2). To watch the range of values for basic part of MIS elements before and after IB we enter two parameters: maximal ($VMV_{\max}$) and mean (VMV_c) values of VMV. It is necessary for these parameters to find the threshold value separating BDI from NBDI. As experiment shows the threshold value is equal to 1. So, if

$$VMV_{\max} > 1 \quad \wedge \quad VMV_c > 1,$$

then the image is not blurred; if

$$VMV_{\max} < 1 \quad \wedge \quad VMV_c < 1,$$

then the image is blurred or does not contain contours. However, by virtue of the examined task specific, probability of analysis an image without contours is extraordinarily small. A variant is possible in practice, when

$$VMV_{\max} > 1 \quad \wedge \quad VMV_c < 1. \quad (2)$$



Fig. 2. Testing digital image “MASHA”

This may happen when an image produced in the mode “macro survey” or when $Q = 8$ (and less than). Additional researches are required in this case. For greater visualization of results distinctions the aggregate of graphics (further – resulting aggregate (RA)) is put in accordance to MIS. Each graphic corresponds to MIS column and reflects dependence between a column element number in and its value [2]. RA for image “MASHA” is presented in Fig. 6, where every RA graphic has an individual color. Apparently, range of values (RV) for most “density” of RA for NBDI much wider than analogical description for BDI; iterated blurring does not change a qualitative picture practically, as compared with primary blurring (Figs. 4(b), 4(c)). An analogical situation is observed for VMV (Figs. 3(b), 3(c)). This feature enables to improve conclusion about blurring of testable DI.

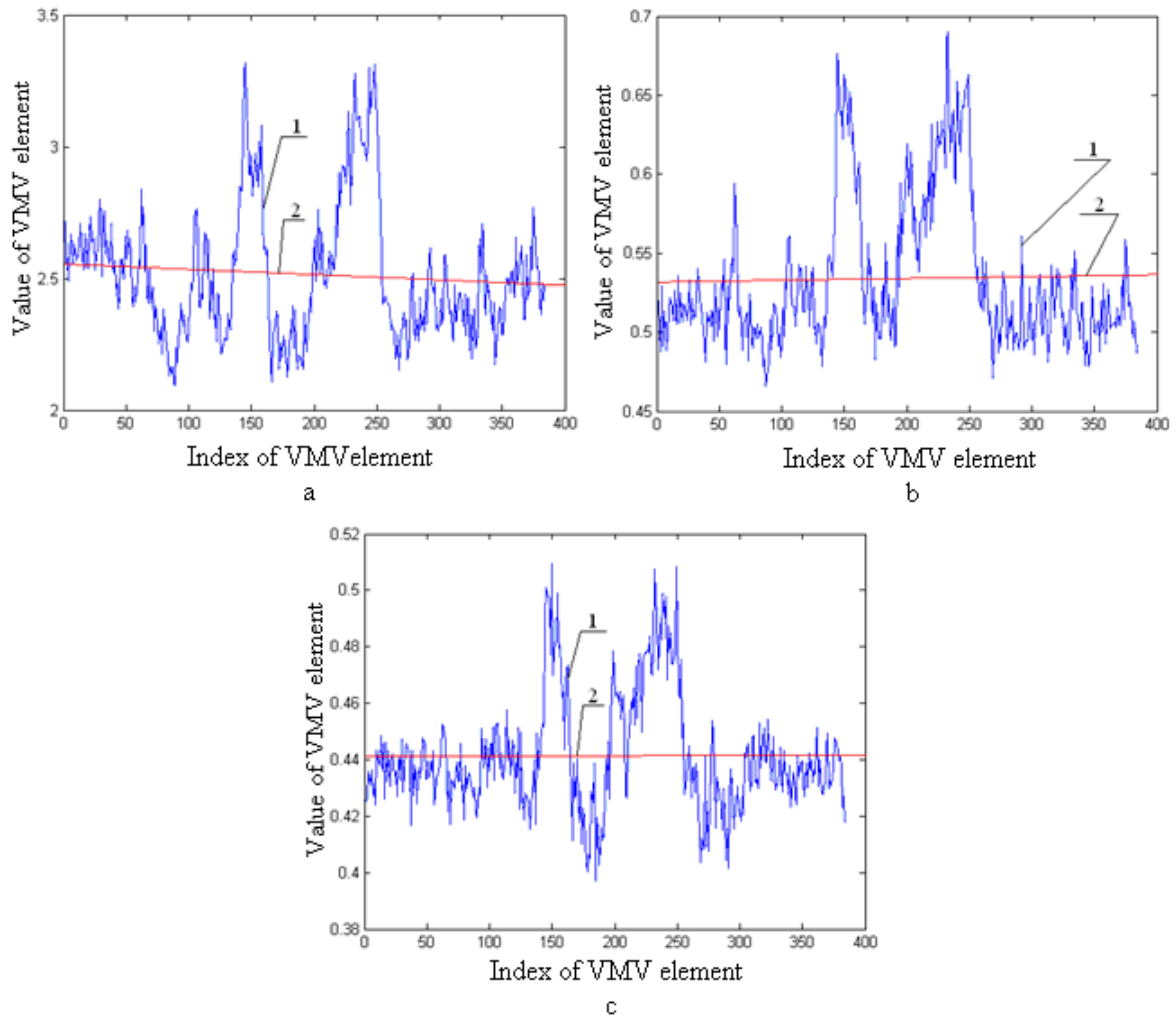


Fig. 3. 1 – graphic presentations of VMV for test DI “MASHA”, 2 – linear approximation of VMV: a – before blurring; b – after blurring (radius – 1 pixel); c – after iterated blurring (radius – 1 pixel)

Additional researches

One of possible reasons for origin (2) situation is a production of DI in the mode “macro survey”, when the image means a sharp object (objects) on a blurred (unintentionally) little informative background.

Degree of background blurring can be different at a macro survey. This depends from parameters of photo camera, and also from distance to the object. In this case it is necessary to resort to additional verification:

Step 1. Intentionally blur out a testable image. Use a minimum blurring radius.

Step 2. Build resulting aggregate and VMV for received DI.

Step 3 (analysis). Compare RA and VMV before blurring and after one. If the image was already blurred, then undertaken blurring will change neither basic part of RA fundamentally, nor VMV (Figs. 3(b, c), 4(b, c)). This will smooth out some largest values only. If testable DI was not blurred out originally, then undertaken IB will be the first for the image. This will reflects in RA and VMV (Figs. 3(a, b), 4(a, b)). Blurring is considered primary if after IB implementation the range of RA values and is diminished in more than 2 times.

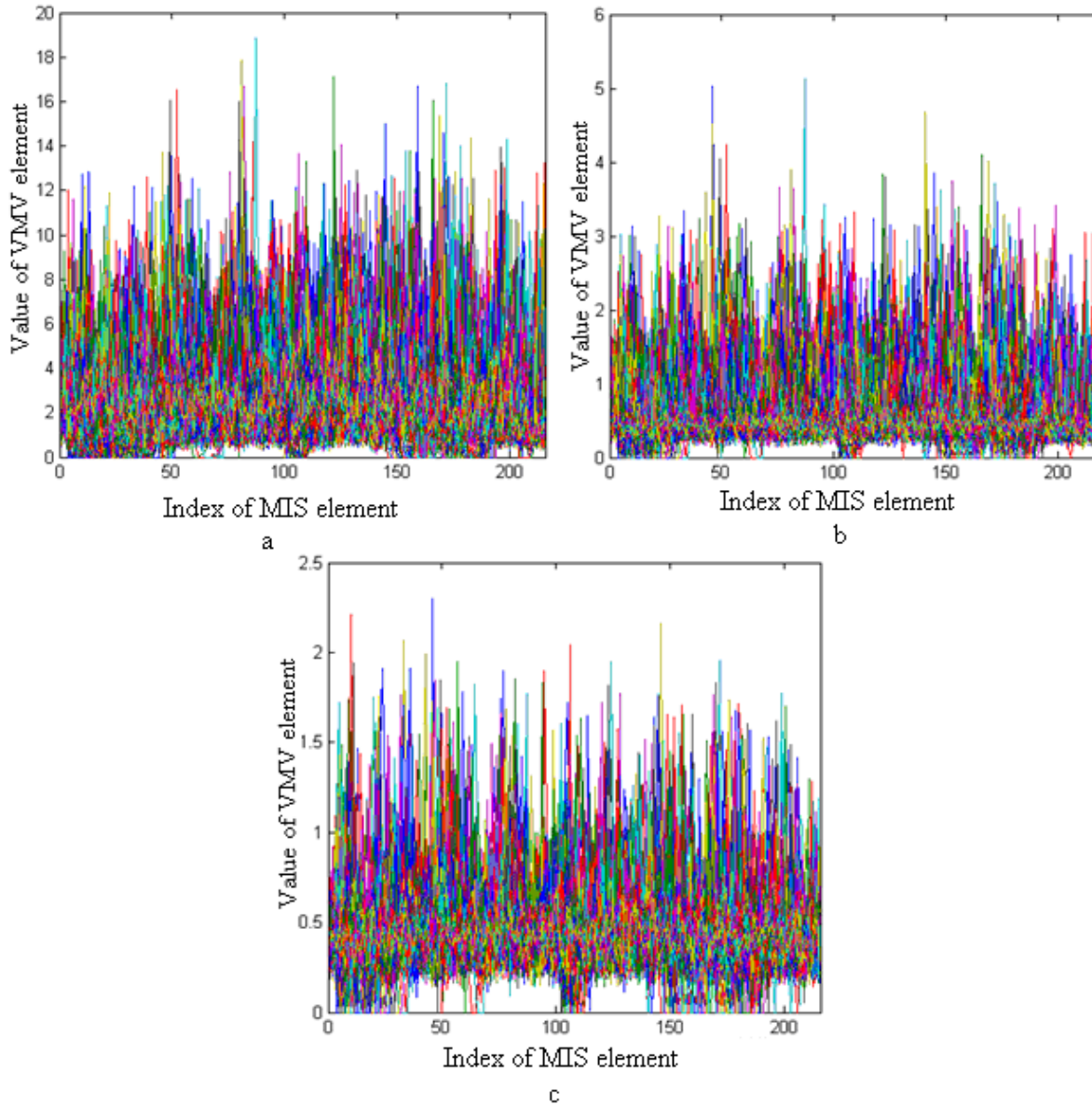


Fig. 4. RA for DI “MASHA”: a – before blurring; b – after blurring (a radius is a 1 pixel); c – after repeated blurring (a radius is a 1 pixel)

To illustrate an efficiency of an additional verification we consider an example. Let's analyze DI (Fig. 5), produced in the mode "macro survey" and not exposed to intentional blurring. The program, realizing the developed algorithm, reaches a conclusion (2). RA and VMV for this image are presented in Figs. 7(a), 6(a). RA and VMV acquired the form, presented in Figs. 7(b), 6(b) accordingly after intentional “suspicious” DI blurring. It is obvious from comparison of Figs. 6(a) and 6(b) that diminished in more than 3 times after blurring. Comparison of Figs. 7(a) and 7(b) shows diminishing for range of RA values in 3 times. It allows making conclusion that an image was not blurred originally.

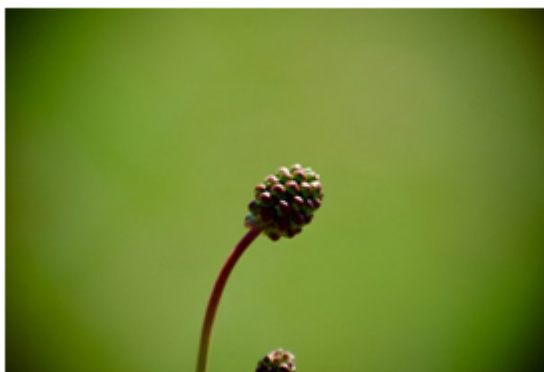


Fig. 5. DI in mode of “macro survey”

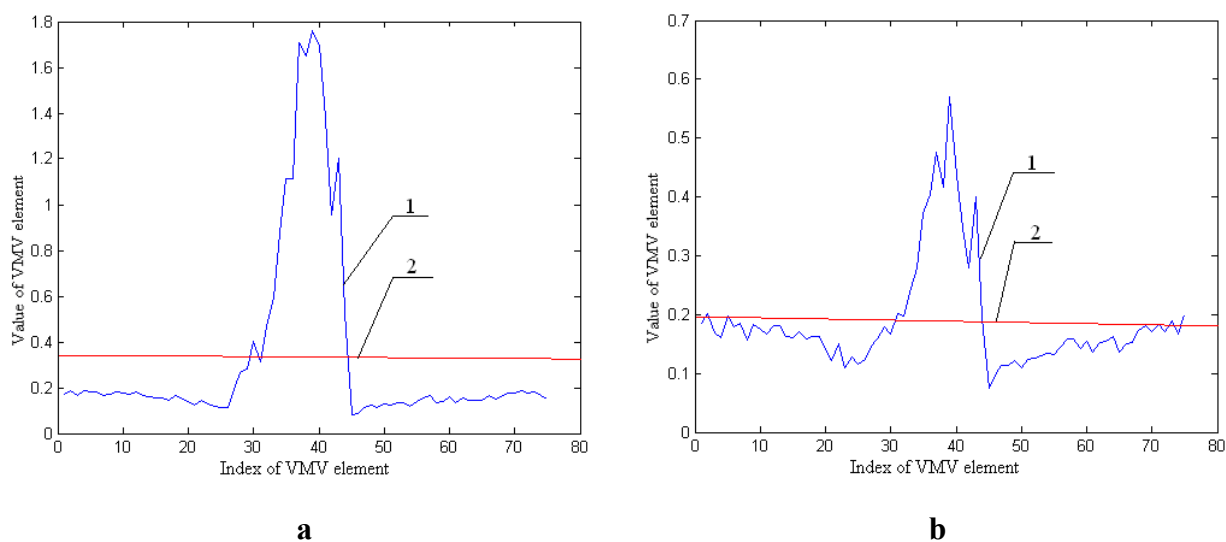


Fig. 6. 1 – graphic presentations of VMV for test DI, removed in the mode “macro survey”, 2 – linear approximation of VMV: a – before blurring, b – after blurring

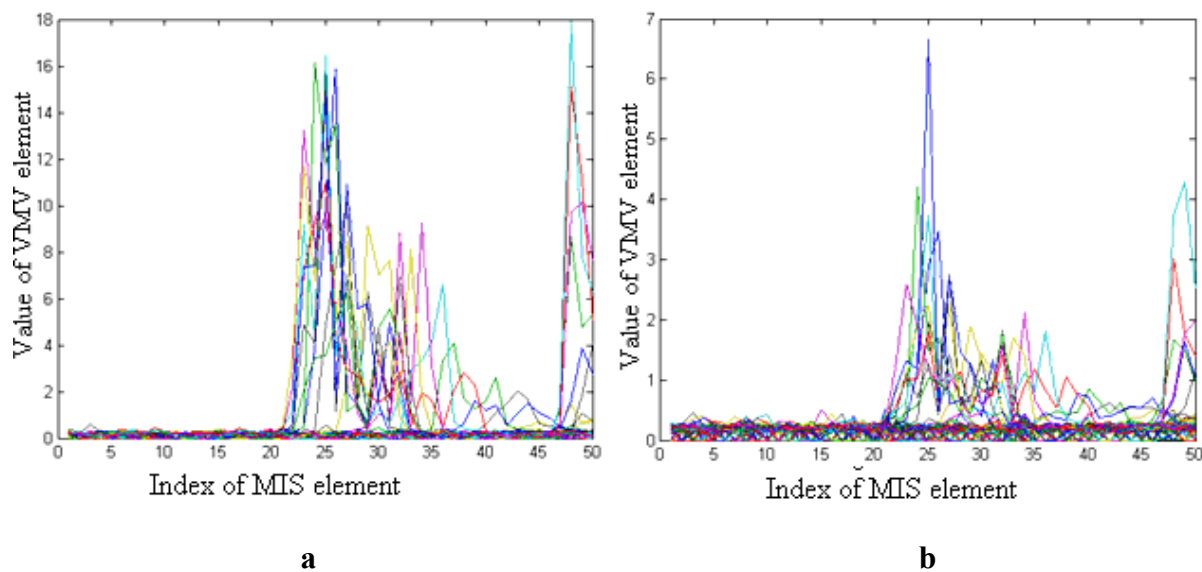


Fig. 7. RA for DI removed in the mode “macro survey”: a – before blurring, b – after blurring

Computing experiment results

A computing experiment was conducted using MATLAB with more than 400 different DI in the jpeg-format with a different “quality”. Images were produced by modern photo cameras. DI was exposed to the operation IB in the Adobe Photoshop. Original and tampered images were tested through intermediary of the developed and implemented method. Experiment results confirm high efficiency of developed method. These are given in Table 1.

Table 1.

Efficiency of developed method

	$Q=10$	$Q=8$
Amount of right answers (%)	90-95	80-86
Amount of right answers at additional verification (%)	99	95

Conclusion

The effective method of separation BDI from NBDI is developed. Its computing complication is determined by the amount of blocks which the matrix of investigated DI is broken up on. The offered method is maximally effective in the case when an image was blurred as a whole. If IB was conducted only to pieces of DI, then it will be considerably more difficult to detect blurring. In this case it is necessary:

- 1) To extract “suspicious” area of testable DI, that defiant doubts in authenticity;
- 2) To expose to the analysis containing a “suspicious” area part of image using the developed algorithm.

At the moment authors are working on creation complex method of images falsification detection. The offered method will be used as component in the complex method.

References

1. Kobozeva A.A., Zorilo V.V. Detection of digital image processing by some software tools (in Russian) / Visnik of the Volodimir Dal East Ukrainian National University. – 2010. – 9 (151). – pp. 62-72.
2. Kobozeva A.A. Information security analysis (in Russian) / A.A. Kobozeva, V.A. Khoroshko. — K.: Publishing house DUICT, 2009. — 251 p.
3. Кобозева А.А. Аналіз захищеності інформаційних систем / А.А. Кобозева, І.О. Мачалін, В.О. Хорошко. – К.: Вид. ДУІКТ, 2010. – 316 с.
4. Кобозева А.А. Связь свойств стеганографического алгоритма и используемой им области контейнера для погружения секретной информации / А.А. Кобозева // Искусственный интеллект. – 2007. – №4. – С. 531-538.
5. Кобозева А.А. Повышение помехоустойчивости стеганографических методов, использующих сингулярное и спектральное разложение матрицы контейнера / А.А. Кобозева, И.И. Борисенко // Труды Одесского политехнического университета. – 2007. – №2 (28). – С.192-198.
6. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. — М.: Техносфера, 2005. — 1072 с.

В.А. Мокрицький, В.В. Зорило

ВИЯВЛЕННЯ НАСЛІДКІВ РОЗМИТТЯ ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ

У даній статті розроблено та реалізовано програмно метод, що дозволяє відділити навмисно розмите цифрове зображення від нерозмитого. Навмисне розмиття цифрового зображення може вказувати на його фальсифікацію.

Ключові слова: фальсифікація зображення, розмиття цифрового зображення

В.А. Мокрицкий, В.В. Зорило

ВЫЯВЛЕНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ РАЗМЫТИЯ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

В данной статье разработан и программно реализован метод, позволяющий отделить цифровое изображение, подвергнутое операции размытия, от неразмытого. Намеренное размытие цифрового изображения может указывать на его фальсификацию.

Ключевые слова: фальсификация изображения, размытие цифрового изображения

IMPROVEMENT OF NOISE IMMUNITY STEGANOGRAPHY ALGORITHM

Iryna I. Borysenko

Odessa National Polytechnic University,
1, Ave. Shevchenko, Odessa, 65044, Ukraine; e-mail: boris_enko@ukr.net

The research field is computer steganography, namely, stego systems, which ensure secret transmission of confidential information. The article considers the issue of improving the noise immunity of the algorithm, developed to create stego messages in the conditions of the ideal communication channel.

Keywords: steganography, information hiding, graph theory

Introduction

One of the topical, but at the moment incompletely solved problems is copyright, protection of intellectual property rights and confidential data of digital format. An important direction in solving this issue is the development of the methods of hiding information, in particular, methods of digital steganography [1].

General feature of all steganographic methods is the fact that the secret message (SM) is embedded in innocuous looking object or carrier. Digital images, videos, sound files, and other computer files that contain perceptually irrelevant or redundant information can be used as “covers” or carriers to hide secret messages. The cover object with the secretly embedded message is then called the stego object. After embedding a secret message into the cover image, a so-called stego image is obtained. This stego object is then transferred to other end, there we have detector algorithm which extract the message from cover object.

In [2] a new staganographic algorithm was suggested (we will call it a *Stego_Graph*) for sending and decoding a secret message, based on the application of the graph theory. The offered algorithm was developed for such information-hiding systems, where the capacity (C) is maximized while providing the required secrecy of a stego channel, whereas the requirements to the noise immunity are at the minimum.

The aim of this work is the improvement of noise immunity of *Stego_Graph*, provision of the possibility of its use in the systems, where noise is present.

Recently was developed a general approach to the analysis of information systems, based on the perturbation theory and matrix theory [3]. These theories selected as tool to improve the noise immunity a *Stego_Graph*, that exploits cover image. A mathematical model for digital image is a matrix.

Therefore, to meet the set aim, it is necessary to solve the following *tasks*:

- Detailed analysis of *Stego_Graph*, enabling to point out the reserves to improve its noise immunity;
- Analysis of the cover image matrix singular vector perturbation after embedding SM;
- Modification of the procedure of embedding SM into the cover image to change the region of singular vector perturbation localization;
- Practical confirmation of the improvement of noise immunity of the *Stego_Graph* by a computing test and the comparative analysis of the results of its modifications work.

Brief overview of Stego_Graph

Procedure of embedding SM is based on changing the brightness of some pixels in the primary image – $f(x, y)$. Practical tests showed that to provide reliability of the perception of a stego image (the embedding process not degrade the visual quality of the cover image), the calculated brightness of pixel $f'(x, y)$ must be within

$$f(x, y) - \delta \leq f'(x, y) \leq f(x, y) + \delta, \quad (1)$$

where δ – maximum acceptable value of the deviation in the pixel brightness from the primary value.

Research [2] offers an iteration algorithm – Algorithm 1 to divide an image into sub-regions and determines threshold value for each sub-region.

To illustrate the work of the algorithm it is possible to consider the third block of image *Pout.tif* dimension 8x8. Suppose $\delta = 15$. This value is given experimentally for this image. In the result of the Algorithm 1 work, the image will be segmented into four sub-regions with gradation of brightness 214-184, 183-153, 152-122, 121-106 with corresponding values of thresholds $T_1 = 199$, $T_2 = 168$, $T_3 = 137$, $T_4 = 114$. Calculating T_4 we applied operation of rounding-off. Then we may perform threshold transformation of the image with an adaptive threshold. The matrix of the primary image and the results of the transformation with an adaptive threshold are shown in Figs. 2(a) and 2(b) respectively. Various tints of grey represent four abovementioned sub-regions.

Thus, in the result of the threshold transformation we receive a binary matrix and, further, we will use it to embedding a secret message.

To prepare SM for embedding into the cover image the graph theory is used. Basic data and definitions on the graph theory can be found e.g. in [4].

A secret message is represented as a marked graph-tree and then matrix S is made out of the tree according to the rule

$$s_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{if vertex } v_i \text{ don't adjacent } v_j, \\ 1, & \text{if vertex } v_i \text{ adjacent } v_j \end{cases} \quad (2)$$

Algorithm of forming SM matrix – Algorithm 2 is shown in [2].

Suppose we have a given message with the length of 8 bits: $\{1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, -1\}$, then building a graph for this message and its matrix is demonstrated in Fig. 1.

The elements of the main diagonal are not used by the algorithm of hiding information, therefore, in Fig. 1(c), showing matrix S , on the matrix diagonal graph vertex are numbered. As S is symmetrical, it is possible to use one of its triangular sub-matrices – lower or upper. Analyzing the structure of lower sub-matrix S (to be specific) we notice that first 7 bits of the secret message are built into the elements s_{ij} $j = \overline{1, n-1}$, $i = \overline{j+1, n}$, beginning from element s_{87} .

Thus, moving upwards along the diagonal, which is lower than the main one, it is possible to restore all the primary sequence, using a unit in the matrix cells as a sign switch. For the eighth bit it is possible to identify any cell of the sub-matrix, lying lower than the second diagonal, say, to be specific – s_{81} .

In general SM, presented by sequence 1 and -1, may start with any sign so this information should be also reflected in the matrix, e.g. in the following way. If $s_{87} = 1$, the sequence starts with a plus, if $s_{87} = 0$, with a minus.

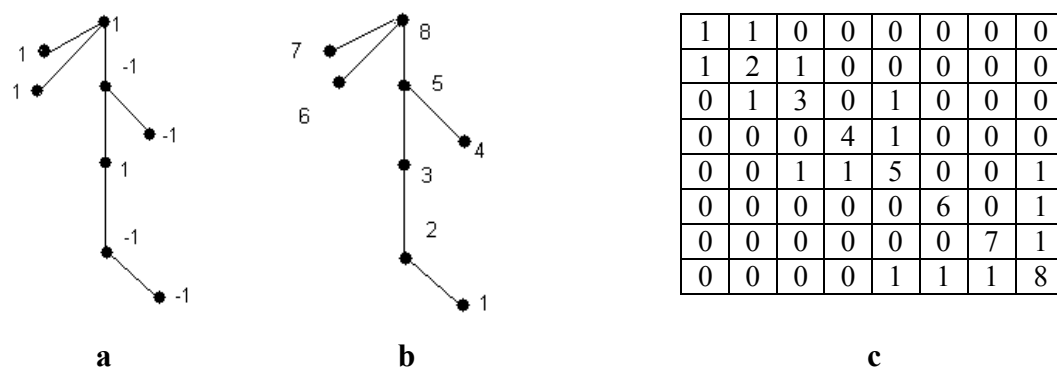


Fig. 1. Message tree and its matrix: a – tree of the primary message; b – marked tree of the primary message; c – message tree matrix

The process of SM embedding into the cover image consists in the following. The matrix of the primary image F is to be segmented into blocks with dimension 8×8 in a standard way, so that the union of all blocks makes up matrix F .

Information is embedding into every block, therefore, we will be limited to the description of SM embedding into one of them into the lower triangle.

For the marked cover image block we make threshold transformation under Algorithm 1, receiving in the result a matrix, and defining it as G . From the message to be plunged into the cover image, we single out the sequence of 8 bits and for the highlighted sequence matrix S is made under Algorithm 2.

Information embedding into the block of cover image will occur in the result of the correction of the brightness of the container pixels (Algorithm 3 [2]), that will take place only provided that it is found out that there is a non-correspondence of value of elements $g_{i,i-1}$ and $s_{i,i-1}$, $i = \overline{2,8}$ and elements g_{81} and s_{81} of matrixes G and S . If $g_{i,i-1} \neq s_{i,i-1}$, $i = \overline{2,8}$, the value of the pixel brightness $f_{i,i-1}$ of matrix F should be raised or lowered depending on the value of $s_{i,i-1}$. For example, if $s_{i,i-1} = 0$, it means that $g_{i,i-1} = 1$ and, consequently, $f_{i,i-1}$ should be lowered. New value $f'_{i,i-1}$ depends on the threshold value T of the sub-region $f_{i,i-1}$ belongs to, and it will be determined as follows. If $s_{i,i-1} = 0$, new brightness value $f'_{i,i-1}$ will be $f'_{i,i-1} = T$, otherwise $f'_{i,i-1} = T + 1$.

We may illustrate the above for the third block of image *Pout.tif* and SM $\{1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, -1\}$. The stage of creating a stego message are shown in Fig. 2. The matrix of the stego message (stego image) – Fig. 2(d)) highlights the elements that were changed.

Similarly, the following 8 bits of information are embedded into the upper triangular sub-matrix of matrix F . Thus, 16 bits of information are embedded into one block of the cover image.

The procedure of extracting SM from the cover image is very easy and consists in identifying the sign of SM elements. If an element of matrix G' of the cover threshold transformation, where a bit of information was embedded, equals 1, the sign of the SM element should be changed for the opposite in relation to the previous elements.

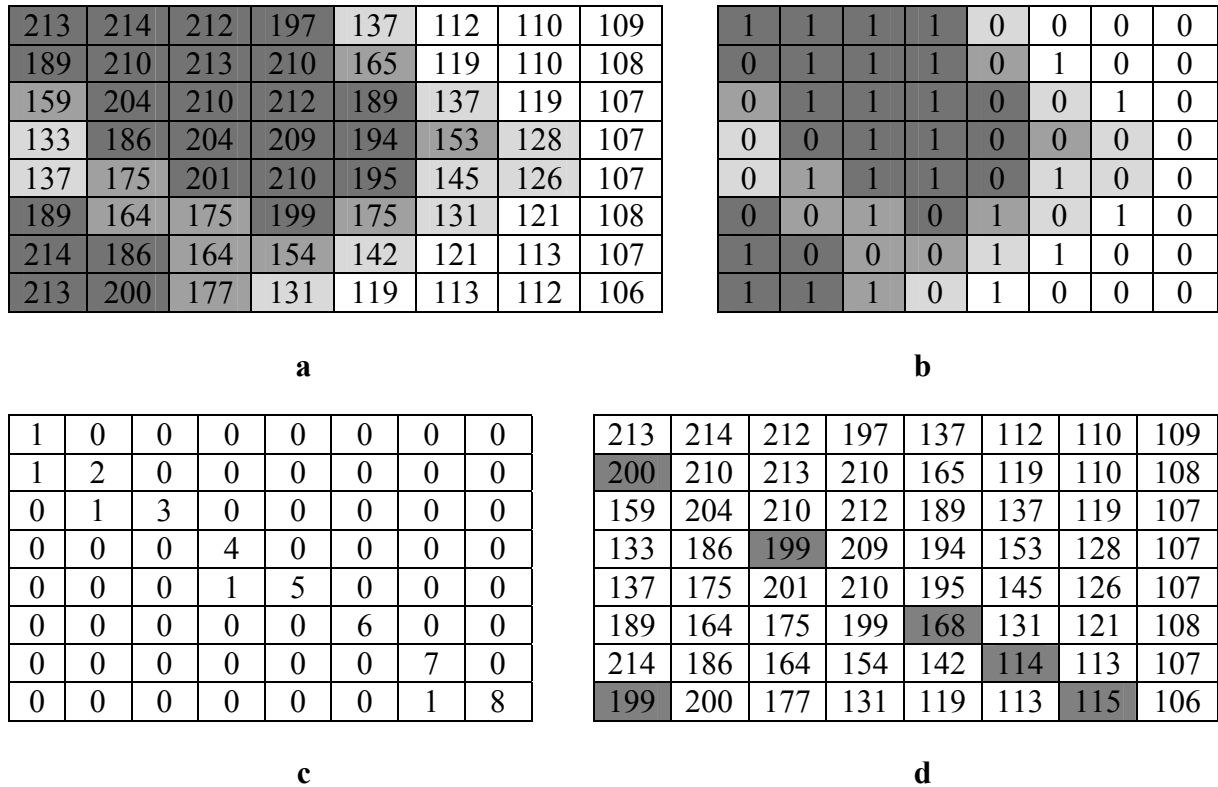


Fig. 2. Stages of SM embedding into container: a – matrix F of the primary image; b – matrix G of threshold transformation F ; c – matrix of message S ; d – matrix F' of stego message

Modification of the basic algorithm.

The development of *Stego_Graph_1* and *Stego_Graph_2*

Stego_Graph has high reliability of perception, as the cover image matrix is slightly changed under the embedded of a secret message into it, good capacity – 0.25 bit/pixel, and the volume of correctly restored information reaches 100%, but *Stego_Graph* may be applied only under conditions of the ideal communications channel. In case of the appearance of insignificant noise the volume of correctly restored information decreases to 65%. Detailed analysis of *Stego_Graph* enabled to single out hidden reserves to improve its noise immunity.

It is to be borne in mind that following Algorithm 3 of embedding SM into the cover image, a cover image pixel is given value $T+1$, if 0 of the characterizing cover image matrix should be transformed into 1, and T otherwise, where T is the threshold value. Therefore, the received value either does not differ from the threshold one at all, or it is by a unit higher. Application of slight noise, which is equivalent to, e.g. ± 2 gradations of brightness results in the fact that a pixel may be found in the previous sub-region. To make a pixel more stable it is logical to give it the value which will correspond to the middle of the required sub-region, but this may entail the correction of brightness by the value more than δ , which, in its turn, will certainly lead to the breach in reliability of perception. This refers to pixels with the values, close to the values of the limits of the region they belong to.

Regarding the third block of image *Pout.tif*, we may consider its threshold transformation, shown in Fig. 3.

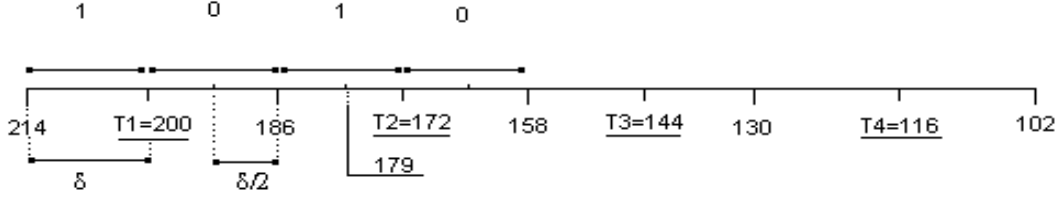


Fig. 3. Scale of threshold transformation of the third block of *Pout.tif*

We may set several agreements: the right limit does not belong to the current region (except the last), δ will be even (to be specific 14), the last region, if it is lower than 2δ should be determined as 2δ . All these agreements will ensure integer value of the threshold in all of the regions, which is important to ensure reliability of stego perception, if δ reaches maximum acceptable values.

Threshold transformation suggests transformation of the pixels brightness values into 0 or 1. Addressing Fig. 3, it is easy to notice that zeroes and units of different regions alternate. For a pixel, whose characterizing value is 1 (except the first sub-region), it does not matter which sub-region it will be transferred to. The point is to save reliability of a stego message perception. For example, we may consider the region with limits value 186-158 and threshold $T=172$. If a pixel with brightness value meets condition $179=186-\delta/2 \leq f(x,y) \leq 186$ should be lowered so that its characterizing value is zero, it should be given value $T1-\delta/2=200-7=193$. However, if a pixel has the brightness meeting condition $T2 < f(x,y) < T2+\delta/2$, it should be given value $T2-\delta/2=172-7=165$. At the same time the difference between the primary and new values will meet condition (1), i.e. it will be within $\pm\delta$.

Algorithm 3. Correction of cover image pixel brightness in *Stego_Graph_1*:

Step 1. Determine limits $L(z)$ and $L(z+1)$ of the region $f_{i,j}$ belongs to. Determine the value of threshold T_k

Step 2. If $g_{i,j} \neq s_{i,j}$ and $s_{i,j} = 0$, then

If $k \neq 1$ (not the first region) and $L(z) - f_{i,j} \leq \delta/2$, then $f_{i,j} = T_{k-1} - \delta/2$,

Otherwise $f_{i,j} = T_k - \delta/2$.

If $g_{i,j} \neq s_{i,j}$ and $s_{i,j} = 1$, then

If $k \neq n$ (not the last region) and $f_{i,j} - L(z+1) \leq \delta/2$, then $f_{i,j} = T_{k+1} + \delta/2$, otherwise $f_{i,j} = T_k + \delta/2$.

For the first and the last regions of the current block information embedding is made in the same way as in *Stego_Graph*.

Embedding SM into *Stego_Graph_2* we use information excess, each value of SM is recorded thrice, i.e. we create blocks of 000 and 111 type, and while decoding the sign is determined by the majority of similar symbols in the block.

Assessment of stego image sensitivity to noises in the communication channel

Solving the problem of improving noise immunity of the basic algorithm we used general approach to the analysis of information systems, based on the perturbation and matrix theories, that is shown in [3]. Here we will briefly describe its conception, used when developing the algorithms of *Stego_Graph_1* and *Stego_Graph_2*.

As the mathematical model for the cover image is a matrix, and all of the transformations of the image may be represented in the equivalent matrix view, then the set of parameters, strictly determining and comprehensively characterizing any image may be presented by the multitude of singular numbers and singular vectors of its matrix. Singular decomposition of matrix F can be shown as:

$$F = U\Sigma V^T, \quad (3)$$

where U and V are matrixes of left and right singular vectors, respectively (SV), whereas Σ – is the matrix of singular numbers (SN). In general singular decomposition of matrix is determined ambiguously. However, it is possible to perform normal singular decomposition, which is the only one.

Any stego transformation will perturb cover image matrix F , and consequently, somehow will perturb the corresponding SNs and SVs, which enables to reduce the task of the analysis of stego transformation to the analysis of SN and SV perturbations. Further, we will need two important statements, grounded in [5]. Firstly, SVs, corresponding to low SNs, receive significant perturbations even at low perturbations of the cover image, on the contrary, SVs, corresponding to high SNs are noted for their strong noise immunity. Secondly, SNs perturbations are comparable to the data perturbation – ΔF , i.e. cover image matrix SNs are no insensitive to the perturbing effects, regardless of whether the stego image is sensitive or not to the perturbing effects, therefore, it is reasonable to analyze only SVs whereas their aggregate perturbation can be used as a rate of sensitivity of the stego image to perturbing effects. Basing on the first statement, we made a conclusion that the algorithm of *Stego_Graph* should be modified so that the cover image matrix under the embed of SM, receives such perturbation that it will lead to the perturbation of not only SVs, corresponding to small SNs but also SVs that are more resistant to noises. The second statement was used to assess the noise immunity of *Stego_Graph* and its modifications.

In MATLAB environment we carried out a computing test, during which new stego methods were practically implemented and their noise immunity was assessed. To show the results we further use the third block of *Pout.tif*, which is typical of other blocks of *Pout.tif*, as well as for other images.

Owing to the specifics of SM embedding under the *Stego_Graph* cover image matrix algorithm receives rather low perturbations and, here, mostly SVs are perturbed, corresponding to low SNs – Fig. 4(a)) (6,7,8 SVs – SM is mostly in these vectors and under the smallest noise information is distorted). Embedding SM under *Stego_Graph_1* and *Stego_Graph_2* considerable perturbation is also made on SVs, corresponding to 5, 4 and 3 SNs, i.e. more information is transferred to the vectors, which are more resistant to additional effects. Analyzing the behaviour of SVs (their aggregate perturbation) of the cover image matrix, it is possible to make a conclusion that the most resistance stego image to the additional noises is *Stego_Graph_2*, which is confirmed by Fig. 4(b)).

Perturbations in the communication channel were simulated with the help of the additive Gauss noise, whose application was made in the standard way *imnoise*, with mean equaling zero and dispersions $D=0.00001$, $D=0.0001$ and $D=0.001$. As it was expected, the largest volume of correctly restored information was received under *Stego_Graph_2*.

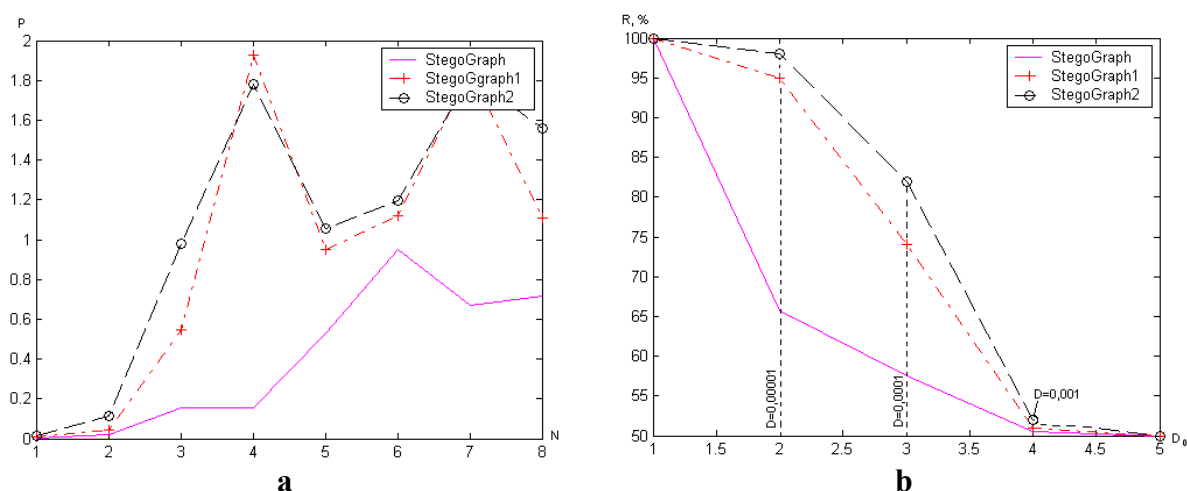


Fig. 4. Representation of embedded and restored information using algorithms *Stego_Graph*, *Stego_Graph_1*, *Stego_Graph_2*: a – Representation of embedded information by perturbed SVs (P – rate of difference between SV cover image matrix and stego image matrix, N – SV number); b – volume of correctly restored information ($R, \%$) under D_0 (mean perturbation of pixels)

Conclusion

The work considered the algorithms for stego systems, whose task is hidden transmission of confidential information. A special feature of these systems is hiding the very fact of message transmission. Therefore, one of the most important characteristics is the reliability of a stego message perception. It is logical to conclude that the less perturbations we make for the cover image, the more reliable stego channel is. It is this principle that was used to make up the algorithm of *Stego_Graph*, and the algorithm, e.g. shown in [6], where cover image pixels are, as a rule, replaced by the found, necessary pixels, but they are not corrected. All these algorithms, based on low perturbations of coding, are very sensitive to noises, because, as it was shown in the fourth section, low perturbations of the cover image under stego transformation lead to perturbations of only low-resistant SVs that correspond to low SNs. Under the impact of external effects these vectors receive additions perturbations and a significant part of SM, being in them, is lost.

To create noise resistant algorithm it is required to seek and perturb the vectors that correspond to high SNs. SVs, corresponding to the highest SNs are the most reliable. Even under strong noises, when the image is seriously distorted, it is possible to extract information from these vectors almost with no losses. However, unfortunately, we may not embed information into these vectors as reliability of a stego message perception is affected. This is explained by the fact that SVs, corresponding to the highest SNs of the image matrix match low-frequency, and the lowest – high-frequency components of the primary cover. Frequency sensitivity of the human eyesight system is in the fact that a person is much more sensitive to low-frequency, than to high-frequency signal component. Owing to the abovementioned the task of the development of noise resistant algorithm is the search of a compromise between its characteristics, as the improvement of one parameter, e.g. the capacity value is provided by other parameters, such as secrecy of information transmission or immunity to perturbing effects.

References

1. Хорошко В.А. Методы и средства защиты информации / В.А. Хорошко, А.А. Чекатков. – К.: Юниор, 2003. – 501 с.
2. Борисенко И.И. Особенности применения многоуровневого порогового преобразования изображения в компьютерной стеганографии // Праці УНДІРТ. Теоретичний та науково-практичний журнал радіозв'язку, радіомовлення і телебачення. – 2006. – № 4. – С.53-59.
3. Кобозева А.А. Анализ информационной безопасности / А.А. Кобозева, В.А. Хорошко. – К.: Изд.ГУИКТ, 2009. – 251 с.
4. Ф. Харари. Теория графов / Пер. с англ. В.П. Козырев; под ред. Г.П. Гаврилова – М.: Мир, 1973. – 300 с.
5. Кобозева А.А. Загальний підхід до оцінки властивостей стеганографічного алгоритму, заснованого на теорії збурень // Информационные технологии и компьютерная инженерия. – 2008. – № 1. – С. 164-171.
6. S. Hetzl and P. Mutzel. A graph-theoretic approach to steganography. In J. Dittmann et al., editor, Communications and Multimedia Security. 9th IFIP TC-6 TC-11 International Conference, CMS 2005 volume 3677 of Lecture Notes in Computer Science, pages 119-128, Salzburg, Austria, September 19-21 2005.
7. Иванов Б.Н. Дискретная математика. Алгоритмы и программы: уч. пособ. / Б.Н. Иванов. – М: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 288 с.

І.І. Борисенко

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ДО ЗАВАД СТЕГANOГPAФІЧНОГО AЛГOPИТMA

Областю наукових досліджень є комп'ютерна стеганографія, а саме стеганосистеми, які забезпечують таємну передачу конфіденційної інформації. В статті розглядається питання підвищення стійкості до завад алгоритму, який був розроблений для створення стеганоповідомлень в умовах ідеального каналу зв'язку.

Ключові слова: стеганографія, приховування інформації, теорія графів

И.И. Борисенко

ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СТЕГANOГPAФИЧЕСКОГО AЛГOPИТMA

Областью научных исследований является компьютерная стеганография, в частности стеганосистемы, которые обеспечивают тайную передачу конфиденциальной информации. В статье рассматривается вопрос повышения помехоустойчивости алгоритма, который был разработан для создания стеганосообщений в условиях идеального канала связи.

Ключевые слова: стеганография, сокрытие информации, теория графов

ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ

М.П. Карпінський¹, Л.О. Дубчак², Н.М. Васильків²

¹ Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
вул. Руська, 56, Тернопіль, 46001, Україна

² Тернопільський національний економічний університет,
вул. Львівська, 11, Тернопіль, 46020, Україна; e-mail: dlo@tneu.edu.ua

У даній статті розроблено систему вибору методу модулярного експоненціювання, побудовану на основі нечіткої логіки. Дана система дозволяє здійснити оптимальний захист інформації в заданих користувачем умовах.

Ключові слова: модулярне експоненціювання, нечітка логіка, криптозахист, Fuzzy Logic Toolbox

Вступ

Захист інформації є однією з основних задач комерційних чи банківських систем та мереж передачі даних. На даний час в основному застосовуються асиметричні криптосистеми [1]. Базовою операцією в них є модулярне експоненціювання, для здійснення якого можна використати різні методи (наприклад, бінарний, бета-арний, ковзаючого вікна та ін.) [2].

У [5] автори дослідили сучасні алгоритми піднесення до степеня за модулем щодо продуктивності та стійкості до часової атаки. На основі цих результатів можна побудувати систему вибору оптимального методу модулярного експоненціювання при заданих умовах. Найкращим шляхом вирішення цієї задачі є застосування апарату нечіткої логіки.

Теорія нечіткої логіки є узагальненням класичної формальної логіки. Дане поняття було вперше запропоноване американським ученим Лотфі Заде в 1965 р. Основною причиною появи нової теорії стала наявність нечітких і наближених міркувань при описі людиною процесів, систем та об'єктів [3].

Побудова системи вибору методу модулярного експоненціювання на основі нечіткої логіки є актуальною задачею, оскільки дозволяє здійснювати захист інформації без глибоких спеціальних знань у цій галузі.

Основи нечіткої логіки

Характеристикою нечіткої множини виступає функція приналежності. Для опису нечітких множин вводяться поняття нечіткої і лінгвістичної змінних. Нечітка змінна описується набором (N, X, A) , де N – це назва змінної, X – універсальна множина (область міркувань), A – нечітка множина на X . Значеннями лінгвістичної змінної можуть бути нечіткі змінні, тобто лінгвістична змінна знаходиться на більш високому рівні, ніж нечітка змінна. Кожна лінгвістична змінна складається з:

- назви;
- множини своїх значень, яка також називається базовою терм-множиною T .

Елементами базової терм-множини є назви нечітких змінних;

- універсальної множини X ;

- синтаксичного правила G , по якому генеруються нові терми із застосуванням слів природної або формальної мови;
- семантичного правила P , яке кожному значенню лінгвістичної змінної ставить у відповідність нечітку підмножину множини X .

Існує понад десяток типових форм кривих для задання функцій приналежності. Найбільшого поширення набули: трикутна, трапецеїдальна і Гауссова функції приналежності [3].

Трикутна функція приналежності визначається трійкою чисел (a, b, c) і її значення в точці x обчислюється згідно виразу:

$$MF(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1 - \frac{x-c}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases} \quad (1)$$

При $(b-a) = (c-b)$ маємо випадок симетричної трикутної функції приналежності, яка може бути однозначно задана двома параметрами з трійки (a, b, c) .

Аналогічно для задання трапецеїдальної функції приналежності необхідна четвірка чисел (a, b, c, d) :

$$MF(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ 1 - \frac{x-c}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases} \quad (2)$$

При $(b-a) = (d-c)$ трапецеїдальна функція приналежності набирає симетричного вигляду.

Функція приналежності гауссового типу описується формулою

$$MF(x) = \exp \left[- \left(\frac{x-c}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (3)$$

і оперує двома параметрами. Параметр c позначає центр нечіткої множини, а параметр σ відповідає за крутизну функції.

Основою для проведення операції нечіткого логічного висновку є база правил, що містить нечіткі висловлення у формі «Якщо-то» і функції приналежності для відповідних лінгвістичних термів. При цьому повинні дотримуватися наступні умови:

- існує хоча б одне правило для кожного лінгвістичного терла вихідної змінної;
- для будь-якого терма вхідної змінної є хоч би одне правило, в якому цей терм використовується як передумова (ліва частина правила).

У загальному випадку механізм логічного висновку включає чотири етапи: введення нечіткості (фазифікація), нечіткий висновок, композиція і приведення до чіткості, або дефазифікація.

Алгоритми нечіткого висновку розрізняються головним чином видом використаних правил, логічних операцій і різновидом методу дефазифікації. Розроблені моделі нечіткого висновку Мамдані, Сугено, Ларсена, Цукамото.

Механізм Мамдані – це найбільш поширений спосіб логічного висновку в нечітких системах. В ньому використовується мінімаксна композиція нечітких множин. Даний механізм включає наступну послідовність дій:

- 1) Процедура фазифікації: визначаються степені істинності, тобто значення функцій приналежності для лівих частин кожного правила (передумов);
- 2) Нечіткий висновок;
- 3) Композиція, або об'єднання отриманих усічених функцій, для чого використовується максимальна композиція нечітких множин;
- 4) Дефазифікація, або приведення до чіткості. Існує декілька методів дефазифікації. Наприклад, метод середнього центру або центроїдний метод.

Класичні нечіткі системи володіють тим недоліком, що для формулювання правил і функцій приналежності необхідно залучати експертів тієї або іншої наочної області, що не завжди вдається забезпечити. Адаптивні нечіткі системи вирішують цю проблему. У таких системах підбір параметрів нечіткої системи проводиться в процесі навчання на експериментальних даних. Алгоритми навчання адаптивних нечітких систем відносно трудомісткі і складні в порівнянні з алгоритмами навчання нейронних мереж, і, як правило, складаються з двох стадій: генерації лінгвістичних правил; коректування функцій приналежності. Перше завдання відноситься до задання перераховного типу, друга – до оптимізації в безперервних просторах. При цьому виникає певне протиріччя: для генерації нечітких правил необхідні функції приналежності, а для проведення нечіткого висновку – правила. Крім того, при автоматичній генерації нечітких правил необхідно забезпечити їх повноту і непротиворічність [3].

Побудова нечіткої системи вибору методу модулярного експоненціювання

Комп'ютерна система – один із найвразливіших компонентів сучасної фінансово-банківської системи, яка потребує захисту. Будь-яка мережа банківської установи, підприємства чи корпорації може бути захищена від активних атак зловмисників, які можна виявити в процесі експлуатації, завдяки відомим заходам політики безпеки [1]. Проте, існує також можливість виникнення пасивних атак (атака часового аналізу чи аналізу енергоспоживання), які можуть здійснюватись віддалено і тому їх важко виявити.

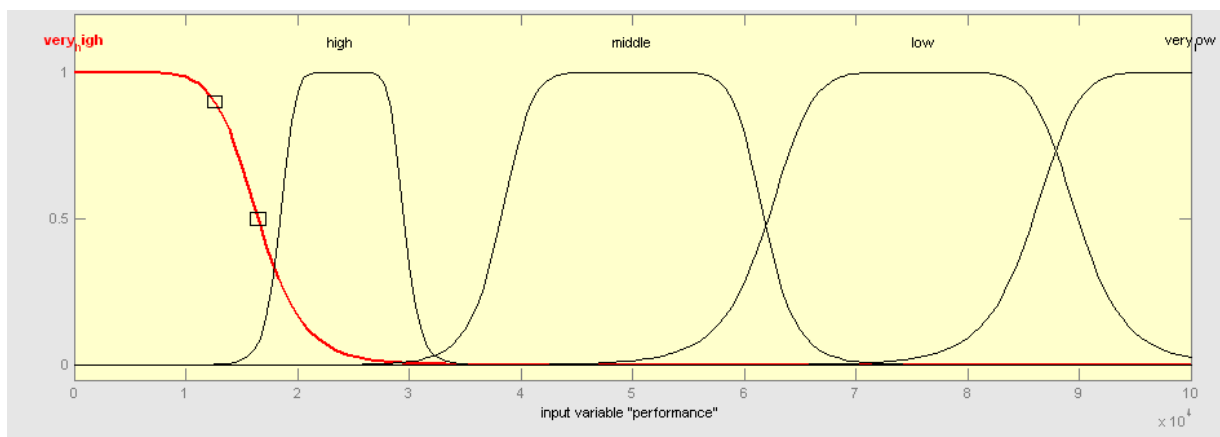
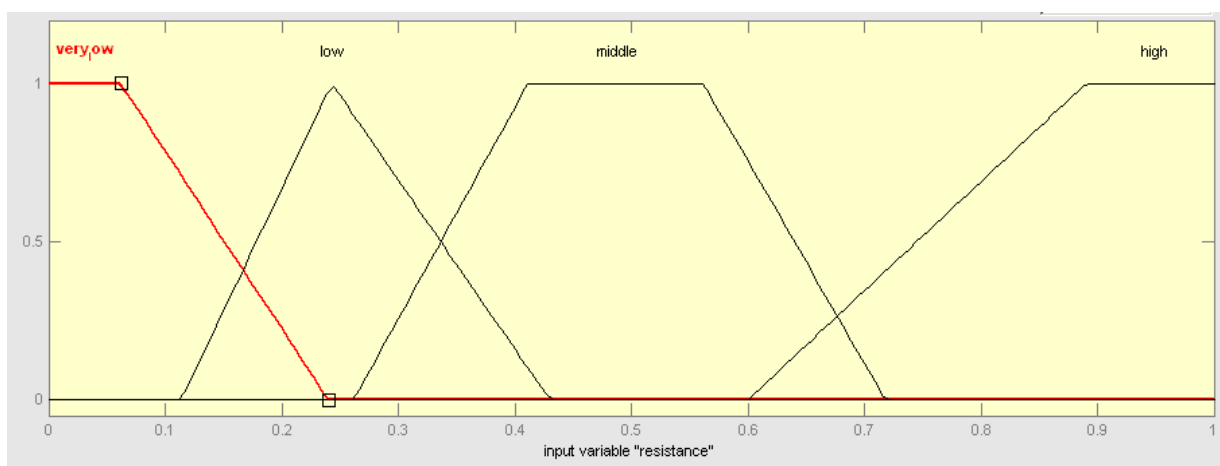
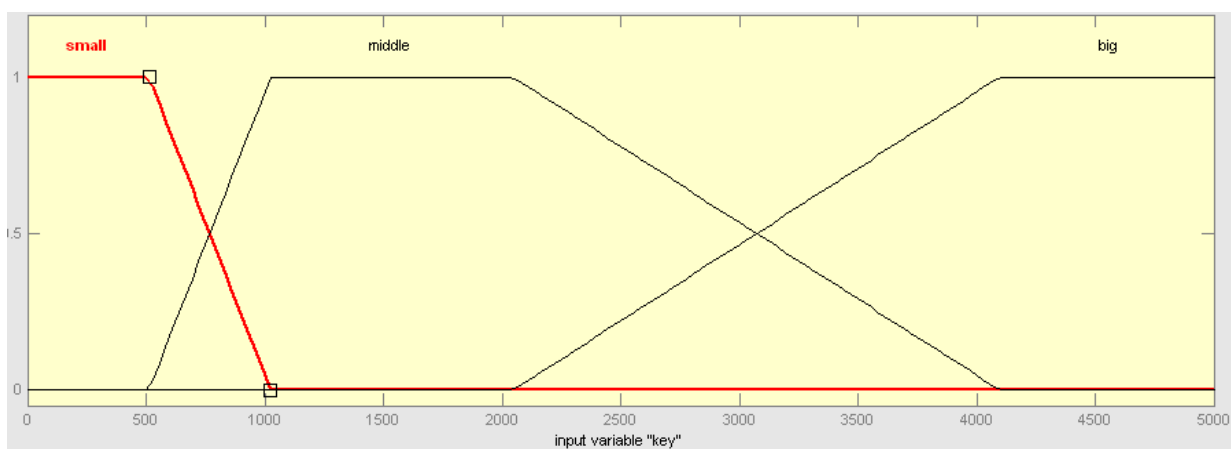
Усі атаки спеціального виду є досить простими у застосуванні, а їх проведення важко помітити у мережі [4].

Сучасні захищені мережі для здійснення шифрування пакетів інформації та цифрового підпису використовують, як правило, асиметричні криптоалгоритми, основною операцією в яких є модулярне експоненціювання. Вибір оптимального методу піднесення до степеня за модулем забезпечує найвищу швидкодію та стійкість всієї системи.

Для побудови системи вибору методу модулярного експоненціювання необхідно врахувати швидкість виконання алгоритмів кожного з досліджуваних методів (*performance*), стійкість кожного з них до часового аналізу (*resistance*) та довжину ключа (*key*), який використовується для шифрування інформації з застосуванням даних методів.

Засіб *Fuzzy Logic Toolbox* середовища *MathWorks MATLAB 7.7.0 (R2008b)* дозволяє побудувати запропоновану нечітку систему. Першим кроком є задання функцій приналежності для кожної змінної. В якості параметрів задання використано значення швидкодії, стійкості та довжини ключа, поданих у [5]. Для побудови функцій приналежності застосовано трикутну, трапецевидну та дзвоноподібну (як різновид трапецевидної) форми, задані формулами (1) та (2).

Функції приналежності для змінних *performance*, *resistance* та *key* зображено на рис. 1, рис. 2 та рис. 3, відповідно.

Рис. 1. Функції приналежності змінної *performance*Рис. 2. Функції приналежності змінної *resistance*Рис. 3. Функції приналежності змінної *key*

Для вибору методу модулярного експоненціювання застосовано трикутну форму функції приналежності, задану на відрізку $[0,1]$ для зручності сприйняття (рис. 4).

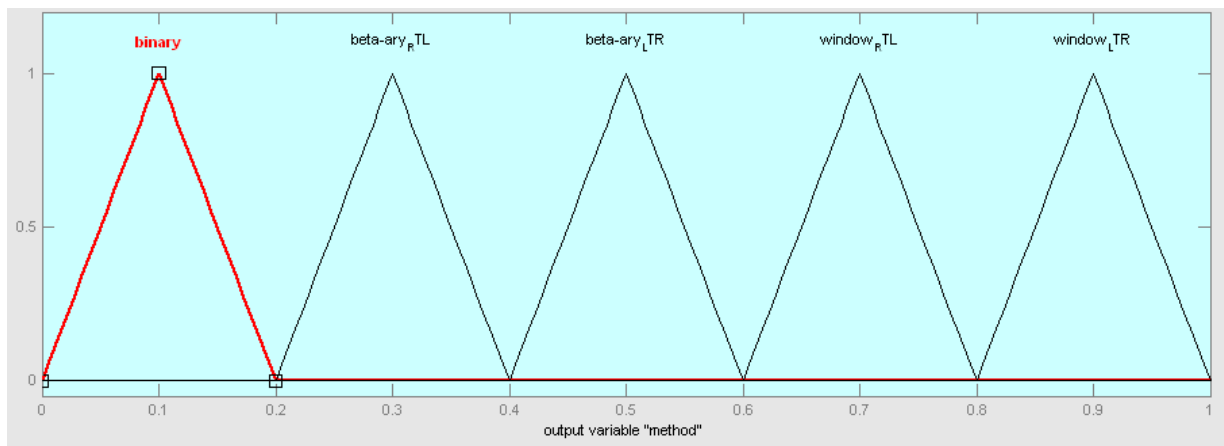


Рис. 4. Функції приналежності вихідної змінної *method*

Система правил складається з 86 нечітких правил типу:

- **IF** (performance is very_high) and (resistance is low) and (key is small) **THEN** (method is beta-ary_RTL)
- **IF** (performance is very_high) and (resistance is very_low) and (key is middle) **THEN** (method is window_LTR)
- **IF** (performance is very_high) and (resistance is high) and (key is small) **THEN** (method is beta-ary_LTR)
- **IF** (performance is high) and (resistance is very_low) and (key is middle) **THEN** (method is binary)
- **IF** (performance is high) and (resistance is middle) and (key is small) **THEN** (method is window_LTR)
- **IF** (performance is middle) and (resistance is low) and (key is small) **THEN** (method is beta-ary_RTL)
- **IF** (performance is middle) and (resistance is high) and (key is small) **THEN** (method is beta-ary_LTR)
- **IF** (performance is low) and (resistance is middle) and (key is small) **THEN** (method is window_LTR)
- **IF** (performance is very_low) and (resistance is very_low) and (key is small) **THEN** (method is binary)
- **IF** (performance is very_low) and (resistance is high) and (key is big) **THEN** (method is beta-ary_LTR)
- **IF** (resistance is middle) and (key is small) **THEN** (method is window_LTR)
- **IF** (resistance is high) and (key is small) **THEN** (method is beta-ary_LTR)
- **IF** (performance is high) and (key is small) **THEN** (method is beta-ary_LTR)
- **IF** (performance is low) and (key is big) **THEN** (method is binary)
- **IF** (performance is very_low) and (key is small) **THEN** (method is window_RTL)

Нечіткий висновок варто вибрати типу Мамдані. Дефазифікація – типу центроїда.

В результаті отримана нечітка система вибору методу модулярного експоненціювання, яка може бути представлена поверхнею значень (рис. 5):

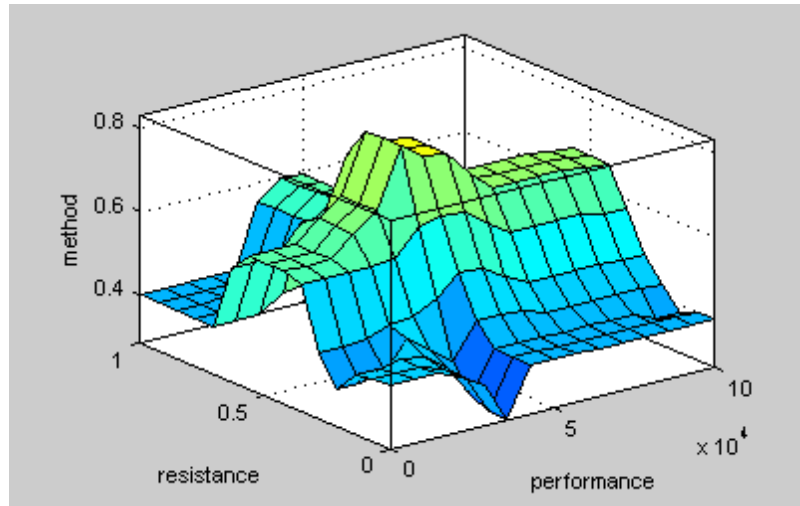


Рис. 5. Поверхня значень нечіткої системи

В результаті проведених досліджень виявлено, що система правил працює вірно. Тобто розроблена нечітка система здатна оптимально вибрати метод піднесення до степеня за модулем, який є найкращим відносно заданих значень довжини ключа, швидкодії та стійкості.

Висновки

В результаті проведених досліджень розроблено нечітку систему вибору методу модулярного експоненціювання, яка дозволяє побудувати захист інформації від часового аналізу, враховуючи необхідний рівень стійкості та продуктивності криптоалгоритмів. Дана система дозволяє будь-якому користувачу забезпечити необхідний рівень захисту його інформації.

Подальші дослідження можна проводити за допомогою середовища *MathWorks Simulink* із застосуванням описаної нечіткої системи, що дозволить побудувати апаратний засіб захисту інформації в комп'ютерній мережі.

Список літератури

1. Задірака В.К., Олексюк О.С. Методи захисту фінансової інформації: Навчальний посібник. – К.: Вища школа, 2000. – 460 с.
2. Ємець В., Мельник А., Попович Р. Сучасна криптографія. Основні поняття. – Львів: БаК, 2003. – 144 с.
3. Панкевич О.Д., Штовба С.Д. Діагностування тріщин будівельних конструкцій за допомогою нечітких баз знань. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 108 с.
4. Васильцов І.В. Атаки спеціального виду на криптопристрої та методи боротьби з ними. – Кременець: Видавничий центр КОГП, 2009. – 264 с.
5. Карпінський М.П., Васильцов І.В., Дубчак Л.О. Оцінка ризику витоку конфіденційної інформації внаслідок часового аналізу алгоритмів модулярного експоненціювання // Вісник ТДТУ. – 2006. – №4. – С.135-144.

Н.П. Карпинский, Л.О. Дубчак, Н.М. Васильків
ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКОЙ СИСТЕМЫ

В данной статье разработано систему выбора метода модулярного экспоненцирования, построенную на основе нечёткой логики. Данная система позволяет осуществить оптимальную защиту информации в заданных пользователем условиях.

Ключевые слова: модулярне експоненціювання, нечітка логіка, криптозахист, Fuzzy Logic Toolbox

M. Karpinsky, L. Dubchak, N. Vasykiv
INFORMATION PROTECTION BASED ON FUZZY SYSTEM

This article developed a system of choosing of modular exponentiation method, built on the basis of fuzzy logic. This system allows for optimum protection of information in user-defined conditions.

Keywords: modular exponentiation, fuzzy logic, encryption, Fuzzy Logic Toolbox

НОВІ ФУНКЦІЇ АУДИТУ ТА МОНІТОРИНГУ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ КІБЕРБЕЗПЕКИ ПІДПРИЄМСТВ

С.А. Михайлов, Ю.С. Шевцов

Міжнародний гуманітарний університет,
Фонтанська дор., 33, Одеса, 65009, Україна; e-mail: nemec-shevcov@yandex.ru

Отримані рекомендації використання продукції систем виявлення вторгнень для більшості мережних пристроїв залежно від конкретних потреб споживачів.

Ключові слова: кіберсереда, кібербезпека підприємства, аудит, моніторинг, інформаційна система

Вступ

Інформаційна безпека – це етап кібербезпеки, який визначається наступними поняттями [1].

Кіберсереда, що включає користувачів, мережі, пристрої, програмне забезпечення, процеси, збережену або транзитну інформацію, додатки, послуги та системи, які можуть бути прямо або побічно з'єднані з мережами.

Кібербезпека – набір засобів, стратегії, принципи забезпечення безпеки, гарантії безпеки, що керують принципами, підходи до керування ризиками, дії, професійна підготовка, практичний досвід, страхування та технології, які можуть бути використані для захисту кіберсереді, ресурсів організації та користувача. Ресурси організації та користувача включають приєднані комп'ютерні пристрої, персонал, інфраструктуру, додатки, послуги, системи електрозв'язку та сукупність переданої та збереженої інформації в кіберсереді. Кібербезпека полягає в спробі досягнення та збереження властивостей безпеки у ресурсах організації або користувача, спрямованих проти відповідних загроз безпеки у кіберсереді. Спільні завдання забезпечення безпеки включають наступне:

- доступність;
- цілісність, яка може включати автентичність та безвідмовність;
- конфіденційність.

Основна відмінність інформаційної безпеки від кібербезпеки полягає в наступному. При інформаційній безпеці організовується захист інформаційних ресурсів, тобто інформації та засобів її обробки, при кібербезпеці додається організація захисту кіберсереді.

Постановка задачі й мета дослідження

Метою даної роботи є формалізація нових функцій аудиту та моніторингу у забезпеченні кібербезпеки підприємств.

Актуальність роботи полягає в тому, що аудит інформаційної безпеки здобуває важливе значення для підприємств державної та приватної власності.

Однієї з основних складових кібербезпеки є аудит та моніторинг інформаційних систем [2]. Серед процесів контролю та перевірки інформаційної безпеки особливе місце займає аудит (від лат. *audit* – слухати) інформаційної безпеки об'єкту інформаційної

діяльності. Аудит є незалежною експертизою окремих областей функціонування організації. Його основним призначенням є формування, як правило, незалежної оцінки інформаційної безпеки.

Завданнями даної роботи є визначення функцій аудиту у кібербезпеці підприємств та застосування програмного забезпечення для моніторингу інформаційних систем.

Основний зміст досліджень

Результатом аудиту є висновок про те, наскільки успішно функціонує об'єкт і наскільки він відповідає вимогам, які йому пред'являються. Вихідними документами аудиту є оціночні звіти з конкретними й твердими рекомендаціями щодо приведення внутрішніх процесів, регламентів, інструкцій до відповідності чинним стандартам та нормативно-правовим документам [3].

Методи аудиту та моніторингу дають можливість адміністраторам ІТ оцінити безпеку системи в цілому, включаючи інструкцію з виявлення та програмне забезпечення для запобігання вторгнень. Адміністратори ІТ можуть використовувати цей метод для виконання аналізу системи з метою виявлення її слабких місць після атаки. У деяких випадках аналіз системи може бути виконаний під час активної атаки на систему.

При керуванні політикою безпеки можуть використовуватися безпечні журнали реєстрації для збереження сліду аудиту користувача або дій адміністратора й подій, створених самим пристроєм, що є важливим елементом замкненого циклу керування політикою безпеки. Зібрані неопрацьовані дані називаються «журналом аудита», а ланцюг, що перевіряється, подій за допомогою журналів аудита, називається «слідом аудита». З метою забезпечення ефективності журналів аудита по безпеці вони повинні містити достатню кількість інформації для наступного розслідування або аналізу інцидентів, що стосуються безпеки. Ці журнали аудита надають кошти для досягнення декількох цілей, пов'язаних з безпекою, включаючи індивідуальну підзвітність, відтворення минулих подій, виявлення вторгнення й аналіз проблем. Журнали можуть також використовуватися для аналізу довгострокових тенденцій. Інформація з журналу аудита допомагає визначити основну причину проблеми, пов'язаної з безпекою, і запобігти майбутнім інцидентам; ця інформація повинна бути надійно збережена. Наприклад, журнали аудита можуть використовуватися для відтворення послідовності подій, які привели до таких проблем, як одержання порушником несанкціонованого доступу до ресурсів системи або несправна робота системи, викликана невірною конфігурацією або помилковою реалізацією.

Система виявлення вторгнень (СВВ – IDS Intrusion Detection System) [4] може використовуватися для поточного спостереження за мережею для гарантій того, що жоден несанкціонований користувач не має доступу до мережі. У більшості додатків СВВ порівнює мережний потік з реєстраційними записами хоста для того, щоб, порівнявши підписи даних і профілі адреси хоста, виявити та зафіксувати факт несанкціонованого проникнення в систему (наприклад, діяльність хакерів та ін.). Система виявлення вторгнень ідентифікує моделі потоку, які вказують на присутність несанкціонованих користувачів. Підозрілі дії запускають сигнали тривоги адміністратора. СВВ може бути поділена на категорії, у відповідності з наступними критеріями:

- тимчасові рамки виявлення інциденту;
- тип установки: мережних і на основі хоста;
- тип реакції на інцидент.

Приклади доступних технологій кібербезпеки для аудиту та моніторингу наведені в табл. 1.

Таблиця 1.

Технології кібербезпеки для аудиту та моніторингу

Методи	Категорія	Технологія	Ціль
Аудит і моніторинг	Виявлення	Виявлення вторгнення	Порівнює потік мережі й елементи реєстрації у вузлі для добору даних про підписи, які є вказівками на хакерів
	Запобігання	Запобігання вторгнення	Виявлення атак на мережу й проведення заходів, як визначено організацією, для зм'якшення цих атак. Підозрілі дії запускають сигнали тривоги адміністратора й інші реконфігуровані відгуки
	Реєстрація	Інструменти реєстрації	Веде поточне спостереження й порівнює потік у мережі й елементи реєстрації у вузлі для добору даних про підписи й профілі адрес у вузлі, які є вказівками на хакерів

Методи аудиту та моніторингу дають можливість адміністраторам мереж оцінити безпеку системи в цілому, включаючи інструкції з виявлення й програмне забезпечення для запобігання вторгнень. Адміністратори мережі можуть використовувати цей метод для виконання аналізу системи з метою виявлення її слабких місць після атаки. У деяких випадках аналіз системи може бути виконаний під час активної атаки на систему. СВВ може використовуватися для поточного спостереження за мережею для гарантій того, що жоден несанкціонований користувач не має доступу до мережі. Як було зазначено раніше, система виявлення вторгнень, порівнюючи мережний потік з реєстраційними записами хоста, виявляє факти спроб неавторизованого доступу. СВВ ідентифікує моделі потоку, які вказують на присутність несанкціонованих користувачів. Підозрілі дії запускають сигнали тривоги адміністратора та інші конфігуровані відгуки.

Повертаючись до питання типізації СВВ, зазначимо, що загалом можна виділити наступні категорії, у відповідності з критеріями:

- часові рамки виявлення інциденту: у реальному часі або в режимі відключеної лінії, залежно від того, чи проводиться аналіз облікових записів системи й мережного потоку в момент часу, коли ця подія відбувається, або в пакетному режимі протягом неробочих годин;

- тип установки: у мережі або в хості. В СВВ, яка установлена в мережу, як правило, включені безліч пристроїв поточного контролю (часто попередньо сконфігурованих додатків), які встановлюються в пунктах фільтрації мережі (де можна спостерігати весь потік між двома пунктами). Для СВВ, яка установлена в хості, необхідно, щоб програмне забезпечення, з допомогою якого ведеться поточне спостереження за мережними зв'язками й за діяльністю користувача на цих серверах, встановлювалося безпосередньо на сервері, що захищається;

- тип реакції на інцидент: чи втручається СВВ активним образом для запобігання атак (наприклад, за допомогою зміни правил для брандмауера або для фільтрів маршрутизатора) або просто повідомляє персонал або інші мережні системи про виниклу проблему.

Методи керування конфігурацією дають можливість адміністраторам мережі встановлювати й перевіряти встановлені параметри безпеки на пристроях у своїх мережах. Керування політикою безпеки дозволяє адміністраторам мереж визначати безпека керування бізнесом і політики якості обслуговування (Quality of Service – QoS), здійснювати їх в організації без необхідності розуміння всіх правил, що ставляться до конк-

ретних пристроїв, і встановлених параметрів, які необхідні для здійснення необхідних політик. Технічно, політика є набором правил для керівництва, керування й контролю доступом до ресурсів мережі; вони повинні бути виведені з ділових політик, певних організацій або корпорацій.

На рис. 1 зображена архітектурна структура еталонної моделі керування політикою безпеки мережі. Ця еталонна модель використовується як зразок для керування політикою безпеки, як безпекою, так і керуванням QoS. Таким чином, якщо керування політикою безпеки засноване на цій моделі, буде реалізовано в мережі й на всіх рівнях даної архітектури, то воно буде доступно для всіх типів користувачів і додатків, включаючи службовців, технічних фахівців служби мережі, партнерів і навіть споживачів.

У компоненти даної моделі входять:

- пункт примусового застосування політики (ППЗП). Пристрій мережі або системи безпеки, що ухвалює політику (правила конфігурації) з пункту вибору політики й примусово застосовує її відносно мережного потоку, що проходить через цей пристрій. Цей компонент вигідно використовує мережні й допоміжні для мережі механізми безпеки належним чином.
- пункт вибору політики (ПВП). Пункти ПВП або абстрактні мережні стратегії сервера політики в повідомленнях керування конкретними пристроями, які потім інтегруються до пунктів проведення політики.
- загальна відкрита служба політики (ЗВСП). Служба ЗВСП – це простий протокол запиту й відгуку, на основі протоколів TCP зі змінюваним станом, який може використовуватися для зміни інформації політики, між ПВП і пунктами проведення політики своїх клієнтів.
- репозитарій політики. Мережний каталог є репозитарієм для всієї інформації про політику; у ньому описані користувачі мережі, додатки, комп'ютери й послуги (тобто об'єкти й атрибути), і взаємозв'язки між цими об'єктами.
- полегшений протокол доступу до мережних каталогів (ППДМК). ППДМК є протоколом клієнт-сервер для організації доступу до послуги каталогу.
- пульт керування політикою безпеки. Люди взаємодіють із системою керування політикою безпеки за допомогою пульта керування, звичайно за допомогою набору на персональному комп'ютері або на робочій станції.

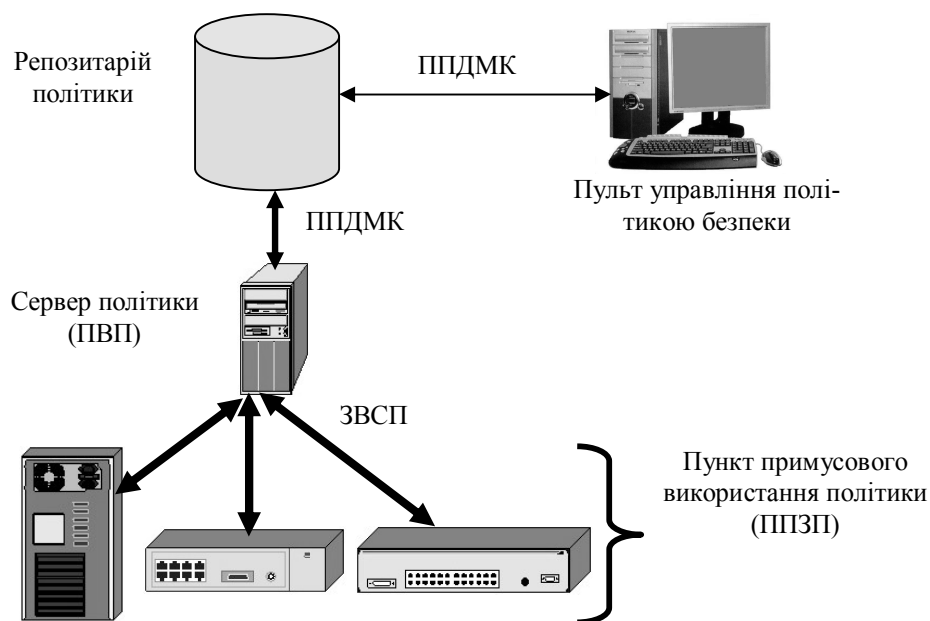


Рис. 1. Еталонна модель керування політикою безпеки

Висновки

На основі вищесказаного можна зробити наступні висновки:

1) Більшість комерційної продукції СВВ надають комбінацію можливостей моніторингу: мережних і на основі хоста, у яких хост центрального керування одержує повідомлення від різних пристроїв спостереження й подає сигнал тривоги для персоналу підтримки мережі.

2) Використання програм СВВ з мережними зв'язками рекомендується для більшості мережних пристроїв, залежно від конкретних потреб споживачів.

3) Програмна продукція систем виявлення вторгнень є найбільш актуальною складовою системи кібербезпеки, що бурхливо розвивається.

У висновку відзначимо, що використання технологій аудиту та моніторингу інформаційних систем значно підвищує ефективність кібербезпеки підприємств.

Список літератури

1. Рекомендация МСЭ-Т X.1205 Обзор кибербезопасности. Режим доступа: <http://www.itu.int/itu-t/recommendations/index.aspx?ser=X>.
2. Менеджмент інформаційної безпеки: навчальний посібник / Т.М. Тардаскіна, В.Г. Кононович – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2009. – 265 с.
3. Шевцов Ю.С., Кононович В.Г., Кільдішев В.Й. Модель спільного використання системи виявлення і обробки атак із системою постійного аудиту інформаційної безпеки // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2010. – № 9 (151), ч.1. – С. 52-58.
4. ITU-T Recommendation ISO/IEC 18043. Information technology – Security techniques – Selection, deployment and operations of intrusion detection systems. – Geneva, 2006. – 46 p. – Режим доступа: <http://www.itu.int/net/home/index.aspx>

С.А. Михайлов, Ю.С. Шевцов

НОВЫЕ ФУНКЦИИ АУДИТА И МОНИТОРИНГА В ОБЕСПЕЧЕНИИ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ

Получены рекомендации использования продукции систем обнаружения вторжений для большинства сетевых устройств в зависимости от конкретных запросов потребителей.

Ключевые слова: киберсреда, кибербезопасность предприятия, аудит, мониторинг, информационная система

S. Mikhailov, Yu. Shevtsov

NEW FEATURES OF AUDIT AND MONITORING FOR ENTERPRISE NETWORK SECURITY

These recommendations for use of intrusion detection systems products for most network installations, depending on the specific needs of consumers.

Keywords: cyber environment, enterprise network security, audit, monitoring, information system

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИРОДООХРАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

О.И. Бодюл, Е.С. Бодюл, А.В. Шаталов

Одесская государственная академия холода,
ул. Дворянская, 1/3, Одесса, 65082, Украина; e-mail: olga_bodyul@ukr.net

Предлагается метод анализа экологической безопасности систем переработки промышленных сточных вод, основанный на совместном рассмотрении процессов функционирования природоохранного оборудования и экологических последствий потенциально возможного аварийного загрязнения. Разработанные математическая модель и программное обеспечение позволяют получить достаточную для управления безопасностью переработки стоков информацию о риске развития последствий возможной аварии и соответствующем экологическом ущербе.

Ключевые слова: минерализованные сточные воды, экологические последствия, природоохранное оборудование, надежность, безопасность

Введение

В Украине минерализованные промышленные стоки – один из основных источников интенсивного загрязнения природных вод. В водоемы и реки поступает в среднем за год 1161 тыс.т сульфатов, 862 тыс.т хлоридов, 72 тыс.т нитратов, натрия и кальция по 12 тыс.т, фосфатов – 8 тыс.т, магния – 4 тыс.т и т.д. [1]. Стоки, содержащие соли меди, цинка, свинца, никеля, цианиды, фтористые соединения, губительно воздействуют на все живое, снижают интенсивность окислительных реакций, тормозят биохимические процессы.

Известны случаи крупных аварий, связанных с загрязнением природных вод высокоминерализованными стоками. Влияние аварий охватывает целые регионы, переходя границы государств. Например, экологическая катастрофа – «дунайский Чернобыль», на золоторудном комбинате «Аурул» в Бая-Маре, в Румынии. В результате разрушения стен отстойников в реки Самош и Тисса вытекло около 100 тыс. кубометров воды, содержащей цианистые соединения. Смертоносный поток достиг Дуная. Содержание цианидов превышало ПДК в 2000 раз. Неблагоприятная экологическая обстановка и высокие уровни антропогенной нагрузки в результате аварий могут сохраняться от нескольких дней до нескольких лет. Ликвидация последствий аварий требует значительных средств.

Состояние высокой антропогенной напряженности практически всех водных объектов Украины (см. табл. 1) свидетельствует о необходимости перехода от политики реагирования к предупреждению чрезвычайных ситуаций. Важнейшей составляющей решения этой задачи является широкое использование природоохранного оборудования. Однако, наличие систем обезвреживания стоков и технологических растворов на предприятии не устраняет полностью риск загрязнения с экологическими последствиями различной тяжести. Возможны аварийные ситуации из-за отказов оборудования очистных систем. В процессе эксплуатации может снижаться производительность агре-

готов систем обезвреживания стоков из-за отложений на теплообменных поверхностях, засорения мембран, трубопроводов, регулирующих органов. В результате возможно загрязнение природных вод [2].

Традиционные показатели надежности систем обезвреживания стоков не характеризуют экологических последствий отказов оборудования или снижения его производительности. Нашей целью является разработать методы анализа и оценки безопасности систем переработки сточных вод с учетом как вероятности безотказной работы природоохранного оборудования, так и вероятности развития отрицательных последствий возможного загрязнения в результате аварийной ситуации, и, используя разработанное программное обеспечение, получить информацию, достаточную для управления безопасностью переработки стоков.

Метод анализа и оценки экологической безопасности систем переработки сточных вод

Экологические последствия определяются как вероятностью безотказной работы очистного оборудования, так и процессами распространения и биохимического превращения примесей в среде-реципиенте [3].

Таблица 1.

Поступление со сточными водами отдельных загрязняющих веществ в моря и реки Украины [1] (объемы загрязнений вычислены по сухому остатку; данные по морям не включают загрязняющие вещества, поступившие с водой наибольших рек страны).

Водный объект	Нефтепродукты, тонн	Сульфаты, тыс.тонн	Хлориды, тыс.тонн	Нитраты, тыс.тонн	СПАВ, тонн	Железо, тонн
Азовское море	31,1	82,8	42,5	2,9	12,4	44,9
С.Донец	249,3	310,0	240,6	13,1	99,0	205,5
Лугань	14,9	101,5	57,2	0,8	28,2	57,2
Оскол	–	0,9	1,0	0,0	0,8	0,2
Кальмиус	64,3	335,9	594,3	6,8	13,7	103,2
Салгир	4,3	0,0	4,1	1,0	0,9	3,1
Западный Буг	1,6	28,7	37,2	0,9	0,5	225,0
Черное море	17,2	11,2	29,8	1,3	85,0	30,3
Днепр	247,7	112,0	71,9	13,8	33,1	382,2
Ингулец	63,0	67,6	131,1	1,4	2,5	61,1
Самара	155,8	110,1	80,4	1,2	31,1	213,2
Рось	4,1	1,4	2,8	0,4	4,4	1,4
Десна	10,1	3,3	6,3	0,6	6,2	15,6
Припять	29,6	13,9	11,1	1,0	11,6	67,6
Днестр	28,2	23,4	45,3	1,5	34,3	35,5
Дунай	3,0	30,6	39,2	0,7	7,1	5,0
Прут	2,6	2,8	4,2	0,2	7,1	3,0
Тиса	0,0	2,4	2,1	0,4	-	-
Южный Буг	16,1	30,6	23,5	2,2	19,2	32,5
Ингул	10,5	4,4	4,7	0,6	0,1	9,0

Для адекватной оценки экологической безопасности необходимо учитывать неизбежные отрицательные последствия, сопровождающие переработку стоков: сбросы тепла, уходящих газов, шламов и т.п.

Величина перерабатываемого стока определяется по соотношению:

$$G = \bar{g} \cdot t_{\text{ц}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{ц}} = t_p + t_{\text{п}}$ – время рабочего цикла системы переработки сточных вод; t_p – время работы системы; $t_{\text{п}}$ – время простоев из-за ремонтов, очистки, аварий и т.п.; $\bar{g}$ – средняя производительность, определяемая по соотношению:

$$\bar{g} = \frac{\int_0^{t_p} g dt}{t_{\text{ц}}}. \quad (2)$$

В соотношении (2) производительность g может поддерживаться постоянной, варьироваться в зависимости от производительности источника g_0 или уменьшаться с течением времени вследствие засорения элементов системы переработки стока, отложений на поверхностях нагрева и др. Необходимо обеспечить переработку стока источника G_0 , который определяется по соотношению:

$$G_0 = \int_0^{t_{\text{ц}}} g_0 dt. \quad (3)$$

Возможны следующие случаи:

$$G < G_0; \quad G = G_0; \quad G > G_0. \quad (4)$$

В случае $G < G_0$ используют накопитель отходов, не обеспечивающий приемлемого уровня надежности предотвращения загрязнения. При $G > G_0$ возможна переработки накопленных отходов, после чего следует снизить производительность системы в соответствии с величиной G_0 .

Анализ безопасности функционирования систем переработки высокоминерализованных стоков должен выполняться на основании исследования вероятного достижимого положительного экологического эффекта очистки и возможных отрицательных последствий. Эти показатели в свою очередь зависят от состояния системы очистки стоков, определяемого числом работающих элементов оборудования – агрегатов системы [2].

На рис. 1 изображен граф состояний системы, состоящей из N взаимозаменяемых агрегатов, из которых в любой момент времени t должны работать M агрегатов. Остальные L – резервные (резервирование оборудования является достаточно эффективным средством повышения его надежности и снижения риска аварийных ситуаций).

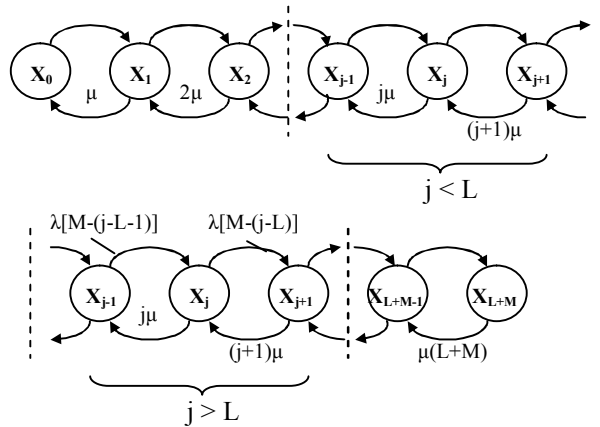


Рис. 1. Граф состояний системи очистки сточных вод

В первых L состояниях $(x_0, x_1, x_2, \dots, x_L)$ поступающий на обезвреживание сток G_0 полностью перерабатывается. Это обеспечивается одновременной работой M агрегатов. Производительность системы $G = G_0$, и загрязнения природного водоема не происходит. Экологические последствия выражаются соответствующими положительными и отрицательными эффектами.

При $G = G_0$ положительный экологический эффект очистки составляет Y_j^+ ($j = 0, 1, 2, \dots, L$), а отрицательный экологический эффект от сброса непереработанного стока – $Y_{1j}^- = 0$ ($j = 0, 1, 2, \dots, L$). Однако в результате эксплуатации M агрегатов и изготовления N агрегатов возникают отрицательные экологические эффекты Y_{2j}^- ($j = 0, 1, 2, \dots, L$) и Y_3^- соответственно.

В последующих M состояниях системы $(x_{L+1}, x_{L+2}, \dots, x_N)$ положительный экологический эффект Y_j^+ ($j = L+1, L+2, \dots, N$) обеспечивается одновременной работой $[M - (j - L)]$ агрегатов. При этом возможен сброс неочищенной сточной воды в количестве $G_0 - G[M - (j - L)]/M$. Такой сброс сопровождается возникновением отрицательного эффекта Y_{1j}^- .

В указанных состояниях также возникают экологические эффекты Y_{2j}^- ($j = L+1, L+2, \dots, N$), Y_3^- связанные с эксплуатацией $[M - (j - L)]$ и изготовлением N агрегатов.

Положительный Y_j^+ и отрицательный Y_{2j}^- ($j = 0, 1, 2, \dots, N$) экологические эффекты (последствия) в каждом из N состояний системы являются дискретными случайными величинами, а экологический эффект (последствие) Y_3^- является величиной детерминированной.

Для определения в первом приближении этих величин мы предлагаем использовать соотношения:

$$m[Y_z^+] = \sum_{i=1}^n f_i(t) a_i c_i \cdot \int_0^t g(t) dt \cdot \left[\sum_{j=0}^L P(t)_j + \sum_{j=L+1}^N \frac{M - (j - L)}{M} P_j(t) \right], \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 m[Y_z^-] = m[Y_{z1}^-] + m[Y_{z2}^-] + Y_3^- = \sum_{i=1}^n f_i(t) a_i c_i \cdot \int_0^t g_0 dt - G^* - \left[\sum_{i=1}^n f_i(t) a_i c_i \cdot \int_0^t g(t) dt - \right. \\
 \left. - \sum_{i=n+1}^r f_i(t) a_i y_i M \left[\sum_{j=0}^L P_j(t) + \sum_{j=L+1}^N \frac{M - (j-L)}{M} P_j(t) \right] + \sum_{i=r+1}^k f_i(t) a_i y_i N \right],
 \end{aligned} \quad (6)$$

где $m[Y_z^+]$ – математическое ожидание достижимого положительного эффекта обезвреживания, численно равного предотвращенному потенциальному ущербу от загрязнения природных вод высокоминерализованным стоком; $m[Y_z^-]$ – математическое ожидание отрицательного эффекта; $m[Y_{z1}^-]$ – математическое ожидание ущерба от поступлении неочищенного стока вследствие уменьшения производительности системы при образовании отложений на поверхностях теплообмена, засорении трубопроводов и регулирующих органов, вследствие простоев или аварийных ситуаций; $m[Y_{z2}^-]$ – математическое ожидание отрицательных последствий (ущерба), развивающихся при поступлении в природную среду различных газообразных, жидких и твердых отходов, связанных с эксплуатацией очистного оборудования; Y_3^- – ущерб от загрязнения природной среды при изготовлении оборудования; G^* – емкость накопителя отходов, используемого в случае $\int_0^t g_0 dt > \int_0^t g dt$, c_i – концентрация i -ой примеси в стоке; a_i ($i = 1, 2, \dots, k$) – коэффициент, характеризующий реакцию среды-реципиента на загрязнение; n – число компонентов в стоке; $r - (n + 1)$ – число компонентов отходов, сопровождающих очистку стоков; k , r – число компонентов отходов, сопровождающих изготовление природоохранного оборудования; $f_i(\tau) = 1 - \frac{\tau_e e^{(\tau_1 - \tau)/\tau_e} - \tau_r e^{-\tau/\tau_r} - \tau_r e^{(\tau_1 - \tau)/\tau_r} (1 - e^{\tau_1/\tau_r})}{\tau_e - \tau_r}$ – функция,

учитывающая динамические характеристики (время водообмена τ_r , инерционность τ_e , запаздывание τ_l в развитии отрицательных последствий) подвергающегося загрязнению водотока, позволяющая установить взаимосвязь между расходом и концентрацией сточной воды, поступающей в реку, между скоростью увеличения концентрации примеси, притоком примеси со сточной водой и ее вымыванием, а также между концентрацией примесей в водоеме и характером и уровнем последствий, выраженных в виде экономического ущерба, полученная при условии равномерного распределения примеси на рассматриваемом участке водотока; P_j – вероятность j -го состояния системы очистки стоков.

Можно оценить безопасность эксплуатации системы переработки минерализованных стоков и целесообразность резервирования природоохранного оборудования, сопоставляя экологические последствия – достижимый положительный и привносимый отрицательный эффекты. Критерием эффективности при этом может служить отношение математических ожиданий соответствующих величин:

$$U = \frac{m[Y_z^+]}{m[Y_z^-]}. \quad (7)$$

Вероятности $P_j(t)$ определяются на основании уравнений Эрланга [4, 5]. Так как процесс перехода системы из состояния в состояние является марковским, то, используя граф состояний системы, можно записать:

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_j(t)}{dt} &= -\lambda M P_0(t) + \mu P_1(t), \\
 \frac{dP_j(t)}{dt} &= \lambda M P_{j-1}(t) - (j\mu + \lambda M) P_j(t) + \mu(j+1) P_{j+1}(t), \quad j=1, 2, 3, \dots, L, \\
 \frac{dP_j(t)}{dt} &= \lambda(N-j+1) P_{j-1}(t) - [j\mu + \lambda(N-1)] P_j(t) + \mu(j+1) P_{j+1}(t), \\
 &\quad j = L+1, L+2, \dots, N-1, \\
 \frac{dP_N(t)}{dt} &= \lambda P_{N-1}(t) - \mu N P_N(t),
 \end{aligned} \tag{8}$$

где λ , μ – плотности потоков отказов и восстановления агрегатов.

На основании системы уравнений (8) при выполнении условий стационарности $\frac{dP_j(t)}{dt} = 0$ ($j=0, 1, 2, \dots, N$) и нормировки $\sum_{j=0}^N P_j(t) = 1$ можно получить систему линейных алгебраических уравнений и ее решение:

$$P_j(t) = \frac{v^j}{j!} P_0(t) \pi_j, \tag{9}$$

где $v = \frac{\lambda M}{\mu}$; $\pi_j = 1$, если $j=1, 2, \dots, L$; $\pi_j = \frac{\prod_{j=L+1}^N (N-j+1)}{M^{j-L}}$, если $j=L+1, L+2, \dots, N$.

Тогда суммарные вероятности состояний системы, безопасного и связанного с риском загрязнения, определяются по соотношениям

$$\sum_{j=0}^L P_j(t) = 1 / \left[1 + \frac{\sum_{j=L+1}^N \frac{v^j}{j!} \pi_j}{1 + \sum_{j=1}^L \frac{v^j}{j!}} \right], \tag{10}$$

$$\sum_{j=L+1}^N P_j(t) = 1 - \sum_{j=0}^L P_j(t).$$

Первое из соотношений (10) позволяет определить вероятность безопасных состояний системы, а второе – вероятность состояний, связанных с экологическим риском.

Используя соотношение (7) с учетом (5), (6), (8)-(10) можно оценить безопасность эксплуатации систем переработки высокоминерализованных стоков, а также других потенциально опасных объектов.

Результаты

На основании предложенной модели при использовании разработанного программного обеспечения был выполнен комплекс расчетов экологической безопасности

эксплуатации систем обезвреживания минерализованных сточных вод различных производств. Полученные результаты отображают изменение возможных последствий аварий в зависимости от условий среды-реципиента, а также снижение экологической опасности загрязнения при оптимизации оборудования по переработке сточных вод. Программное обеспечение допускает изменение перечня примесей и их концентрации в стоках, выполнение оценок для любых потенциально опасных производств, расположенных вблизи различных водных объектов.

В качестве примера рассмотрена комбинированная установка концентрирования стоков титано-магниевого производства.

Предусмотрено использование на первой стадии концентрирования многоступенчатой выпарной установки. На второй стадии используется установка мгновенного (адиабатного) вскипания с промежуточным газовым теплоносителем.

В состав сточных вод (табл. 2) входят загрязненные производственные (образующиеся при мойке оборудования и рабочих площадок), кислые, гипохлоридные, фторсодержащие и мышьяк-содержащие стоки, а также продувочные воды и регенерационный раствор, ливневые и условно чистые стоки.

Таблица 2.

Состав стоков центральных очистных сооружений титано-магниевого производства

Компоненты	Единицы измерения	Количество в стоках
Взвешенные вещества	мг/л	0,19
Хром VI	мг/л	0,00006
Магний	мг/л	20,2
Медь	мг/л	0,063
Железо	мг/л	0,29
Фтор	мг/л	0,52
Хлориды	мг/л	10000
Сульфаты	мг/л	180
Щелочность	мг-экв/л	2,1
Сухой остаток	мг/л	20000

Кислые и гипохлоридные стоки нейтрализуются и поступают на центральные очистные сооружения предприятия. Сюда же поступает часть загрязненных производственных стоков. Осветленные минерализованные стоки после центральных очистных сооружений поступают в систему обезвреживания – комбинированную установку концентрирования стоков.

Фрагменты полученных результатов и сформированной базы данных приведены в табл. 3, 4 и на рис. 2 и 3. Согласно полученным результатам, влияние динамических характеристик среды-реципиента на экологические последствия вероятного загрязнения существенно падает при возрастании текущего времени $\tau \geq 10\tau_r$, $\tau \geq 5\tau_e$, т.е. в условиях длительного загрязнения и прогрессирующей тенденции экологического состояния при подавлении способности к самоочищению. В этом случае в рамках данной модели оценка последствий может быть выполнена по линейной зависимости от эмиссии примеси с погрешностью менее 2%. Влияние динамических характеристик на величину ущерба особенно существенно при малых t , т.е. при кратковременных выбросах, не превышающих компенсаторные возможности биоценоза. При этом в условиях высокой способности к самоочищению (увеличение τ_e и τ_r) снижается расчетное значение потенциального ущерба от загрязнения, т.е. уменьшается тяжесть предотвращаемых последствий.

Таблица 3.

Предотвращенный ущерб в зависимости от динамических характеристик водоема-реципиента ($\tau_1 = 0$)

Динамические характеристики водоема-реципиента, час		Текущее время τ , час	Предотвращенный экономический ущерб от загрязнения водоема, грн/год
τ_r	τ_e		
720	288	1944	2380170
720	288	3888	5315800
720	288	5832	8030100
720	288	7776	10711800
720	864	1944	1884360
720	864	3888	5120060
720	864	5832	7989900
720	864	7776	10708300
720	1440	1944	1469510
720	1440	3888	4660370
720	1440	5832	7756640
720	1440	7776	10615600
1440	576	3888	4760350
1440	576	7776	10631500
1440	1728	3888	3768720
1440	1728	7776	10240100
1440	2880	3888	2939030
1440	2880	7776	9320750

Анализ влияния на экологическую безопасность установки динамических характеристик среды-реципиента показал, что в интервале текущего времени $0 \leq t \leq 10\tau_r$, уровень безопасности резервированной системы, сохраняя в $5 \div 10$ раз более высокие значения, снижается интенсивнее, чем нерезервированной с более высоким значением суммарной вероятности состояний, связанных с экологическим риском (рис. 3).

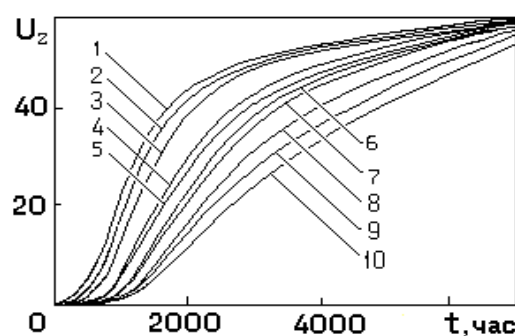


Рис. 2. Изменение во времени экологической безопасности резервированной системы очистки при τ_r равном 720 ч (1–5), 1440 ч (6–10) и $\tau_e - 0.4\tau_r$ (1, 6), $0.8\tau_r$ (2, 7), $1.2\tau_r$ (3, 8), $1.6\tau_r$ (4, 9) и $2\tau_r$ (5, 10)

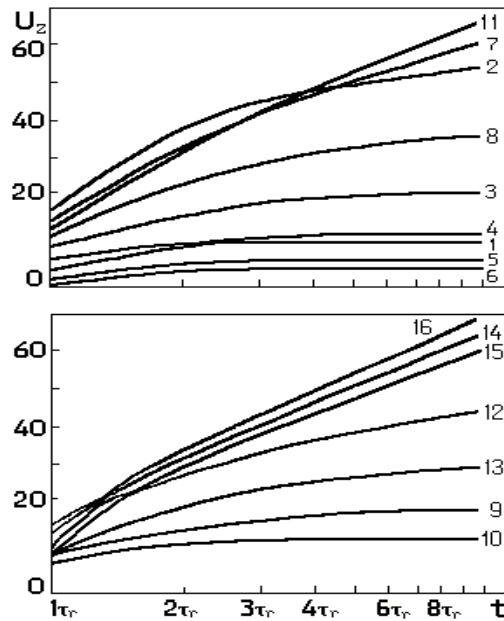


Рис. 3. Изменение во времени экологической безопасности нерезервированной (1) и резервированной системы при $M=1, L=1$ (2); $M=2, L=1$ (3); $M=3, L=1$ (4); $M=4, L=1$ (5); $M=5, L=1$ (6); $M=2, L=2$ (7); $M=3, L=2$ (8); $M=4, L=2$ (9); $M=5, L=2$ (10); $M=3, L=3$ (11); $M=4, L=3$ (12); $M=5, L=3$ (13); $M=4, L=4$ (14); $M=5, L=4$ (15); $M=5, L=5$ (16)

Вероятность состояний системы, связанных с экологическим риском, снижается при резервировании оборудования. Но при увеличении числа резервных агрегатов экологическая безопасность эксплуатации системы возрастает лишь при достаточно больших текущих временах ($t > 2\tau_r$). Это связано с особенностями среды-реципиента, описываемыми функцией $f_i(t)$. При $t > 2\tau_r$ рост отрицательных последствий изготовления большего числа резервных агрегатов перекрывает положительный эффект от увеличения надежности системы, что существенно снижает общий уровень безопасности.

В табл. 4 приведен фрагмент данных о вероятности безотказной работы системы и критерии безопасности u_z в зависимости от условий эксплуатации. Согласно выполненному анализу максимум экологической безопасности и максимум надежности системы достигаются при различных значениях определяющих параметров, что объясняется влиянием процессов распространения и превращения примеси в водотоке. При экологически целесообразном снижении риска аварийных ситуаций в зависимости от динамических характеристик водоема реципиента экономический эффект переработки стоков может быть повышен на $267 \div 519$ тыс. грн. в год.

Таблица 4.

Экологические показатели системы переработки стоков титано-магниевого производства

Критерий	$\sum_{j=0}^L P_j(t)$	u_z	$m[\Delta_3]$, грн./год	$m[\Delta_{3z}] - \Delta_3$
$M = 1, L = 0$; $\tau_r = 720, \tau_r = 1440$; $\tau_e = 288, \tau_e = 2880$	0.9018	8.2 7.7	8280000 7200000	0 0
$M = 1, L = 1$; $\tau_r = 720, \tau_r = 1440$; $\tau_e = 288, \tau_e = 2880$	0.9946	52.8 38.7	8800000 7467000	519000 267000
$M = 1, L = 2$; $\tau_r = 720, \tau_r = 1440$; $\tau_e = 288, \tau_e = 2880$	0.9998	69.8 46.5	8450000 7102000	167000 -97000
$M = 1, L = 3$; $\tau_r = 720, \tau_r = 1440$; $\tau_e = 288, \tau_e = 2880$	0.9999	67.9 45.0	8.0 6.649	-285000 -551500
$M = 2, L = 1$; $\tau_r = 720, \tau_r = 1440$; $\tau_e = 288, \tau_e = 2880$	0.9662	20.4 17.8	7316000 6052000	-973000 -1147900
$M = 2, L = 2$; $\tau_r = 720, \tau_r = 1440$; $\tau_e = 288, \tau_e = 2880$	0.9967	56.7 40.0	7519000 6172000	-770000 -1028000
$M = 2, L = 3$; $\tau_r = 720, \tau_r = 1440$; $\tau_e = 288, \tau_e = 2880$	0.9997	66.2 31.5	7169000 5813000	-1121000 -1386600
$M = 2, L = 4$; $\tau_r = 720, \tau_r = 1440$; $\tau_e = 288, \tau_e = 2880$	0.9999	65.1 30.0	6.762 5.406	-1528000 -1794000

Таким образом, совместный экологический анализ процесса функционирования природоохранного оборудования и развития последствий вероятных аварийных ситуаций, учет в процессе принятия решений способности среды к самоочищению обеспечивает получение новой информации о целесообразном уровне надежности оборудования в системах переработки сточных вод.

Выводы

1) Наиболее значимыми факторами при принятии решений по снижению риска последствий аварийных ситуаций являются динамические характеристики среды-реципиента, отражающие ее способность к самоочищению.

2) Решения о предотвращении возможного ущерба на основе минимизации суммарной вероятности связанных с риском состояний потенциально опасного объекта без

достаточного учета свойств среды-реципиента может привести к необоснованным экономическим потерям.

3) Существует область значений текущего времени, в которой потенциальный риск отрицательных последствий может не достигать существенной величины вследствие влияния свойств среды-реципиента, а эффект от предотвращения риска перекрывается отрицательными последствиями природоохранных мероприятий, в частности, изготовления резерва оборудования.

4) При снижении суммарной вероятности состояний, связанных с риском, экологическая безопасность природоохранного оборудования возрастает лишь при больших значениях текущего времени ($t > 2\tau_r$), что связано с особенностями среды-реципиента.

Список литературы

1. Довкілля України. – Київ: Державний комітет статистики України, 2009. – 310 с.
2. Бодюл О.И. Анализ экологической безопасности переработки высокоминерализованных стоков // III Міжнародна міждисциплінарна науково-практична конференція «Сучасні проблеми науки та освіти». – Харків, 30.04 – 9.05 2002. – С. 44.
3. Цыкало А.Л., Бодюл О.И. Прикладная экология. Нормирование антропогенной нагрузки. В двух частях. Одеса, Ассоциация «Экологическая безопасность и противодействие чрезвычайным ситуациям» им. ак. Н.И. Андрусова. ПО «Издательский центр», 2008, 164 с.
4. Ивченко Б.П., Мартыщенко Л.А. Информационная экология. Оценка риска техногенных аварий и катастроф. – Киев: НОРДМЕД-ИЗДАТ, 1998. – 208 с.
5. Suter G.W. Uncertainty in environmental risk assessment. Chapter 9, pp 203-230, In G.M. von Furstenberg (ed.), Acting Under Uncertainty: Multidisciplinary Conceptions. Kluwer Academic Publishers, Boston, USA. – 1990.

О.І. Бодюл, О.С. Бодюл, О.В. Шаталов
МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ СИТУАЦІЙ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
ПРИРОДООХОРОННОГО ОБЛАДНАННЯ

Пропонується метод аналізу екологічної безпеки систем переробки промислових стічних вод заснований на спільному розгляді процесів функціонування природоохоронного устаткування і екологічних наслідків потенційно можливого аварійного забруднення. Розроблені математична модель і програмне забезпечення дозволяють отримати достатню для управління безпекою переробки стоків інформацію про ризик розвитку наслідків можливої аварії і відповідні екологічні збитки.

Ключові слова: мінералізовані стічні води, екологічні наслідки, природоохоронне устаткування, надійність, безпека

O. Bodyul, E. Bodyul, A. Shatalov
MODELLING OF ECOLOGICAL SITUATION IN THE OPERATION OF
ENVIRONMENTAL PROTECTION EQUIPMENT

The method of ecological safety analysis of the systems of industrial sewages processing is presented. This method is based on simultaneous research of environmental protection equipment functioning processes and ecological consequences of probable emergency situation. Developed the mathematical model and software allow to get the sufficient information for a management of safety of sewages processing.

Keywords: sewage, ecological consequences, environmental protection equipment, reliability, environmental safety

МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ АДАПТИВНОЇ ТРЕНАЖЕРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ СПЕЦПІДРОЗДІЛІВ

Ю.О. Гунченко¹, С.В. Ленков²

¹ Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: 7996445@mail.ru

² Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка,
просп. Глушкова, 2, корпус 8, Київ, 03680, Україна

Розроблено модель функціонування адаптивної тренажерної системи, за допомогою якої забезпечується оптимальне планування процесу відпрацювання навчальних задач з урахуванням досягнутого поточного рівня для підготовки фахівців спецпідрозділів.

Ключові слова: адаптивна тренажерна система, особовий склад, рівень підготовки, адаптивне управління, навчальні задачі

Вступ

Постійні загрози терористичних актів та удосконалювання засобів масового знищення населення, пред'являє підвищені вимоги до рівня підготовки та злагодженості особового складу (ОС) підрозділів спеціального призначення (СП). Отже, наприклад, теракт під час Євро-2012 може мати максимальний руйнівний ефект та негативний міжнародний резонанс. За оцінками провідних спецслужб світу, загроза скоєння теракту під час проведення широкомасштабних спортивних заходів класу «Олімпійські ігри», «Кубок світу FIFA», «Футбольний чемпіонат EURO» зростає утричі. Для України як держави-господаря безпека великих міжнародних спортивних заходів такого рівня — це нове завдання, виконання якого фактично залежить від рівня підготовки ОС підрозділів СП. Впровадження сучасних засобів та систем підготовки ОС пов'язане з капітальними вкладками як на розробку проектів та виконання підготовчих робіт, так і на придбання тренажерних систем (ТС). Тому вибір варіанта побудови ТС та його впровадження в процес підготовки ОС підрозділів СП має передувати всебічне обґрунтування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Існуючі тренажерні засоби [1-3] морально та технічно застаріли і, що найчастіше, функціонують у демонстраційному режимі та без урахування динаміки зміни рівня підготовки особового складу по виконанню типових навчальних задач (НЗ). Як показує практика, у більшості випадків деякі типи НЗ виконуються ОС з самого початку тренування з необхідною якістю, однак їхнє відпрацювання продовжується за часом однаково з іншими типами НЗ, що значно збільшує час навчання [1]. Одним із напрямків усунення зазначених недоліків є розробка адаптивних тренажерних систем (АТС), які на кожному кроці (етапі) навчання забезпечують оптимальне планування й адаптивне управління процесом відпрацювання НЗ різних типів [3,4].

Мета досліджень

Метою статті є розробка моделі функціонування адаптивних тренажерних систем підготовки особового складу підрозділів спеціального призначення.

Виклад основного матеріалу дослідження

В основу побудови АТС може бути покладена наступна модель підготовки ОС підрозділів СП.

У першу чергу формулюється ціль і план поетапного навчання. Кінцевою метою підготовки підрозділів СП є досягнення у всіх категорій ОС умінь, навиків і якостей, необхідних для виконання НЗ у різних умовах обстановки. Для досягнення кінцевої цілі на основі використання статистичних даних попередніх періодів навчання підготовляється оптимальний план поетапного відпрацювання типових НЗ на черговий період навчання. У процесі тренувань, поки ціль не досягнута, повторюється наступна послідовність дій:

- відповідно до оптимального плану здійснюється відтворення необхідної імітованої обстановки для послідовного відпрацювання такого набору типових НЗ, при якому забезпечується досягнення необхідного (максимального) рівня підготовки ОС;
- на основі порівняння поточного рівня підготовки ОС по виконанню типових задач із необхідним рівнем приймається рішення про подальший хід тренування.

Якщо поточний рівень не нижче необхідного – тренування продовжується. В інших випадках, в залежності від досягнутого рівня, виникає необхідність в адаптивній зміні (повторної оптимізації) плану відпрацювання різних типів НЗ. При цьому процес функціонування АТС являє собою керований динамічний процес, що характеризується двома видами параметрів [2-5]:

- параметрами керування D (послідовністю постановки типових НЗ);
- параметрами стану U (рівнем підготовки ОС по виконанню НЗ).

У якості обмежень виступає сумарний ресурс навчального часу (T) та витрат (C), що виділяється на спеціальну та тактичну підготовку протягом періоду (етапу) навчання.

Тоді цільова функція рішення задачі адаптивного управління навчанням $W(D)$ може бути подана у виді:

$$W(D) = \max, \quad (1)$$

а обмеження у виді:

$$T_n \leq T, \quad C_n \leq C, \quad (2)$$

де T_n – використовуваний час навчання ОС; C_n – поточні витрати підготовки ОС протягом періоду (етапів) навчання.

У ході підготовки ОС процес функціонування АТС може бути розбитий на N тимчасових інтервалів (етапів, кроків), на кожному з яких використовується свій набір НЗ (D_n).

Застосування на кожному етапі періоду навчання визначеного набору НЗ є управляючим впливом на особовий склад як на об'єкт керування, що змінює його параметри стану, тобто показники якості діяльності $\{U_i\}$. Керування в такій системі підготовки носить дискретний характер, задається в момент часу $\partial = \frac{(n-1)T}{N}, n = \overline{1, N}$ і залишається-

ся незмінним у межах кожного етапу (кроку), якщо тренування проходить згідно з оптимальним планом. Максимальна кількість інтервалів керування протягом періоду навчання N залежить від мінімального інтервалу проведення тренувальних занять ($\min \Delta t D_{j \min}$) і визначається за формулою

$$N = \frac{T}{\min \Delta t D_{j \min}}. \quad (3)$$

При такому підході опис усього керованого багатошагового процесу функціонування АТС у ході підготовки ОС може бути поданий у виді:

$$U(n+1) = Q(U(n), D(n), n), n = 0, 1, \dots, N-1; u(0) = u^0, \quad (4)$$

де $U(n) = (U_1(n), \dots, U_i(n), \dots, U_r(n))$ – значення показників якості діяльності, що характеризують рівень навченості особового складу на момент часу n (параметри стану); r – число показників, необхідних для оцінки якості діяльності особового складу; $D(n) = (D_1(n), \dots, D_j(n))$ – послідовність управляючих впливів (НЗ) на n -ом інтервалі періоду навчання; $Q(U, D, n)$ – вектор-функція, тобто $Q = (Q_1, \dots, Q_n)$; $u(0)$ – значення показників якості діяльності особового складу на початку періоду (етапу) навчання.

З урахуванням дискретного опису процесу керування цільова функція (1) може бути подана сумою:

$$W_N(D) = \frac{1}{T} \int_0^{T/N} F_1[u_0(t), D_1(t)] dt + \frac{1}{T} \int_{T/N}^{2T/N} F_2[u_1(t), D_2(t)] dt + \frac{1}{T} \int_{\frac{(N-1)T}{N}}^T F_N[u_{N-1}(t), D_N(t)] dt = \max$$

або у дискретному вигляді:

$$W_N(D) = \sum_{n=1}^N G_n[D_n] = \frac{1}{KN} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K F_k[u(n-1), D(n)] = \max, \quad (5)$$

де $G_n[D_n]$ – значення цільової функції на n -ом етапі;

$F_k = \begin{cases} 1, & \text{якщо } u_i \in U, \quad u_{ik} \geq u_{iTP} \\ 0, & \text{якщо } u_i \notin U, \quad u_{ik} < u_{iTP} \end{cases}$ – безрозмірний коефіцієнт, який характеризує відповід-

ність показника якості; u_{ik} – значення i -го показника якості діяльності на момент часу

k ; $k = 1, \dots, K$; $K = \frac{n}{h}$; h – інтервал дискретизації n -го етапу процесу функціонування

АТС; u_{iTP} – нормативне значення i -го показника якості діяльності ОС.

Задача максимізації функціоналу (5) при обмеженнях (2) є загальною задачею оптимального керування об'єктом з дискретним часом.

Вибір методу рішення задачі оптимізації зв'язаний, насамперед, з особливостями процесу функціонування АТС у ході бойової підготовки. Як показав аналіз до таких особливостей відносяться наступні:

- процес представляє собою функціонування дискретної динамічної керованої системи;

- змінні U_n і D_n у функціоналі (5) є багатомірними;

- рівняння (4) є векторними;

- вид функції, що оптимізується – невідомий.

Таким чином, задачу оптимального планування відпрацювання типових НЗ у процесі бойової підготовки можна представити як задачу пошуку оптимального режиму управління в динамічних дискретних керованих системах.

Специфіка цієї задачі в порівнянні з загальною задачею нелінійного програмування полягає в тому, що існує дві групи невідомих змінних: $U(n), n = 0, 1, \dots, N$ та $D(n), n = 0, 1, \dots, N - 1$.

Якщо ввести нові змінні $h = (U(0), \dots, U(N), D(0), \dots, D(N - 1))$, то в цих змінних сформульована задача перетворюється в загальну задачу нелінійного програмування. У тому випадку, коли $G_n(D_n)$ – опуклі (або увігнуті) функції, її рішення можна знайти, наприклад, методом невизначених множників Лагранжа. Якщо ж функції $G_n(D_n)$ не є такими, то відомі методи знаходження рішення задач нелінійного програмування не дозволяють визначити глобальний максимум функції (5). Тоді рішення задачі (5) можна знайти за допомогою методу динамічного програмування, основною перевагою якого є те, що він не залежить від виду функції $G_n(D_n)$ і добре пристосований до вирішення багатостадійних або багатокрокових задач.

Кінцевою метою тренувань (W_N) є досягнення ОС максимально можливого рівня підготовки по виконанню НЗ у різних умовах обстановки.

Загалом задача оптимального планування тренувань може бути подана наступним чином.

Визначити:

$$\max W_N = \sum_{n=1}^N G_n(m_n), \quad (6)$$

при заданому обмеженні часу:

$$T_N \leq T, \quad (7)$$

де T_N – використаний час навчання на протязі N етапів; m_n – кількість тренувань (імітованих ситуацій на n -му етапі навчання).

Процес підготовки ОС в часі розбивається на N етапів і характеризується переходом рівня підготовки ОС з одного стану в інший.

З урахуванням дискретного опису процесу керування цільова функція ефективності ОС може бути подана сумою:

$$W_N = \sum_{n=1}^N G_n(m_n) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N P_n(m_n), \quad (8)$$

де $P_n(m_n)$ – рівень підготовки ОС по виконанню n -го типу НЗ після відтворення $\{m_n\}$ імітованих ситуацій на n -му етапі навчання (визначається експериментально); N – загальна кількість етапів навчання.

Таким чином, необхідно знайти таку кількість імітованих ситуацій для відпрацювання типових НЗ на кожному етапі щоб максимізувати цільову функцію (8) при наступних обмеженнях:

$$\left. \begin{aligned} m_n &= 0, 1, 2, \dots, \\ \sum_{n=1}^N t_n m_n &\leq T, \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

де t_n – час виконання n -го типу НЗ на n -му етапі навчання.

Для знаходження оптимальних значень $\{m_n\}$ скористуємося методом динамічного програмування.

Позначимо

$$\Lambda_r(\xi) = \max_{m_1, \dots, m_r} \sum_{n=1}^r G_n(m_n), \quad (10)$$

при умові

$$\sum_{n=1}^r t_n m_n \leq \xi. \quad (11)$$

Після нескладних перетворень переходимо до наступного рекурентного співвідношення динамічного програмування:

$$\Lambda_r(\xi) = \max_{m_r} \{G_r(m_r) + \Lambda_{r-1}(\xi - t_r m_r)\}, \quad r = 1, \dots, N, \quad (12)$$

при умові

$$0 \leq m_r \leq \frac{\xi}{t_r}. \quad (13)$$

Характерним для динамічного програмування є визначений методичний захід, а саме: процес планування тренувань поділяється на N етапів і здійснюється послідовна оптимізація кожного з них. На кожному r -му етапі з урахуванням усіх можливих припущень результатів попереднього етапу обчислюється основне рекурентне співвідношення (12) та визначається умовний оптимальний параметр керування m_r .

Прийнявши $\xi = T$ та припустивши у (12) $r = N$, приходимо до співвідношення:

$$\Lambda_N(\xi = T) = \max_{m_N} \{G_N(m_N) + \Lambda_{N-1}(T - t_N m_N)\}, \quad (14)$$

при умові:

$$0 \leq m_N \leq \frac{T}{t_N}. \quad (15)$$

Знайшовши з (14) оптимальне значення m_N^{opt} та припустивши $\xi_1 = T - t_N m_N^{opt}(T)$, послідовно, починаючи з $(N-1)$ -го етапу, знаходяться оптимальні значення решти змінних: $m_{N-1}, m_{N-2}, \dots, m_1$. Необхідно відзначити, що метод динамічного програмування являє собою направлений послідовний перебір варіантів, що обов'язково приводить до глобального максимуму й оптимального вирішення задачі (6).

Висновки

Таким чином, за допомогою розробленої моделі на кожному етапі (кроку) процесу підготовки ОС забезпечується формування та відпрацювання оптимального набору НЗ з урахуванням поточного рівня підготовки ОС, обмежень по відведеному навчальному

часу. При цьому забезпечується максимальне значення імовірності того, що в будь-який момент періоду навчання рівень підготовки особового складу підрозділів СП буде не нижче необхідного, тобто такого, який забезпечить виконання поставлених задач у різних умовах обстановки.

Список літератури

1. Ковальчук А.М. Тренажерна модель стрілецьких вправ у підрозділах МВС України / А.М.Ковальчук // Збірник наукових праць ХОІФК. – 2001. – № 3. – С.79–80.
2. Растринин Л.А. Обучающие системы / Л.А. Растринин // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. – 1993. – № 2. – С.153–163.
3. Шворов С.А. Побудова інтелектуальних систем навчання / С.А. Шворов, В.Є. Лукін // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2011. – № 32. – С.143–147.
4. Шворов С.А. Теоретичні питання побудови інтелектуальних тренажерних систем інтенсивної підготовки операторів АСУ військового призначення / С.А. Шворов, О.В. Сілко // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ «КПІ». – 2011 р. – № 1. – С.179–183.
5. Шворов С.А. Методи оптимізації планування підготовки операторів АСУ спеціального призначення // С.А. Шворов, В.І. Куташев // Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє : VII междунар. наук.-практ. конф. ВІКНУ, 24-25 лист. 2011 р. : тези доп. – К., 2011. – С.87.

Ю.А. Гунченко, С.В. Ленков

МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АДАПТИВНОЙ ТРЕНАЖЕРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ СПЕЦПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

Разработана модель функционирования адаптивной тренажерной системы, с помощью которой обеспечивается оптимальное планирование процесса отработки учебных задач с учетом достигнутого текущего уровня для подготовки специалистов спецподразделений.

Ключевые слова: адаптивная тренажерная система, личный состав, уровень подготовки, адаптивное управление, учебные задачи

Yu. Gunchenko, S. Lenkov

THE MODEL OF FUNCTIONING OF ADAPTIVE TRAINER SYSTEM FOR PREPARATION OF SPECIALISTS OF THE SPECIAL DIVISIONS

The authors have developed a functioning model of the adaptive trainer system. This system ensures optimum planning (taking into account the current level) of training system for preparation members of the Special Forces.

Keywords: adaptive trainer system, personnel, training level, adaptive control, educational tasks

ОЦІНКА ВАРТОСТІ ОРНИХ ЗЕМЕЛЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ НА БАЗІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Ю.Я. Петрикович, Р.М. Гайдамаха, Т.І. Ковальський

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка,
вул. М.Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027, Україна: e-mail: y.petrykovych@yandex.ru

Акцентовано увагу на можливостях використання інтелектуальних систем на базі нечіткої логіки для моделювання розвитку і взаємозв'язків між різними економічними явищами і процесами. На основі ряду експериментів обґрунтовано оптимальну структуру нечіткої системи за алгоритмом нечіткого логічного висновку Сугено, що дозволило моделювати процес оцінки вартості орних земель.

Ключові слова: ієрархічна інтелектуальна система, нечітка логіка, експертна оцінка, вартість земельних ресурсів

Актуальність проблеми

На сьогоднішній день в Україні гостро постало питання про продовження чи відміну мораторію на продаж землі сільськогосподарського призначення. Особливо вразливими при відміні заборони продажу орних земель стають селяни, які в своїй більшості не знають реальної її вартості. Близько третини українських сільгоспвиробників недооцінює вартість землі, 49% вважають, що вартість одного гектара ріллі повинна перевищувати 10 тис. грн, а 28% оцінюють вартість менш ніж 5 тис. грн. за гектар. Такі результати наводяться у новому дослідженні Асоціації «Український клуб аграрного бізнесу» (УКАБ) «Ринкова вартість ріллі в Україні». За даними Держземагентства нормативна оцінка 1 га орних земель у 2010 р. в середньому по Україні склала 11,9 тис. грн. Тобто серед потенційних учасників ринку близько 30% оцінюють вартість ріллі нижче реального рівня [4].

Отже, зважаючи на все вищесказане, створення нечіткої експертної системи для оцінки вартості орних земель є актуальним питанням в умовах, які виникли на даний момент.

Аналіз останніх досліджень

Правила оцінки землі не змінювалися з часів СРСР, вони вже давно застаріли і втратили свою актуальність. На сьогоднішній день нормативна оцінка землі становить усього лише 10-12 тисяч гривень за один гектар.

Методика оцінки затверджена постановою кабінету міністрів України від 23 березня 1995 р. №213 «Про Методику грошової оцінки земель сільськогосподарського призначення та населених пунктів». В даній постанові запропонована методика оцінки в загальному вигляді і конкретно визначеного методу оцінки вартості орних земель (ріллі) в ній не визначено [3].

Відповідно до міжнародних стандартів оцінки для визначення вартості земельної власності використовують три загальновизнаних підходи: ринковий, витратний та до-

хідний, які базуються на принципах кон'юнктури ринку, найкращого та найефективнішого використання, очікуваних змін та доданої прибутковості землі.

Запропоновані методики є незрозумілими і громіздкими для пересічного громадянина і на базі цього можливе проведення недобросовісної або упередженої оцінки з боку експертів [2].

Нами було запропоновано проводити оцінку ріллі за допомогою експертної системи на основі нечіткої логіки, основоположником якої є Л. Заде. Проблема прийняття рішень на основі нечіткої логіки займалися українські та зарубіжні вчені: Ротштейн А.П., Штовба С.Д., Корчемний М.О., Круглов В.В., Борисов В.В., Чернов В.Г. Новак Вільям та багато інших.

Постановка задачі

Беручи до уваги непрозорість та складність існуючих методик проведення оцінки земель сільськогосподарського призначення, їх незрозумілість для звичайного селянина чи фермера і неможливість перевірки адекватності, ми поставили перед собою задачу розробити експертну систему, яка б наближено проводила грошову оцінку орних земель.

Було вирішено створити експертну систему на базі нечіткої логіки, оскільки саме нечіткі системи прийняття рішень поводять себе найбільш наближено і зрозуміло мисленню звичайної людини [1].

Основна частина

Розробка нечіткої системи оцінки вартості орних земель проводилася в декілька етапів, які описані нижче.

Насамперед була розроблена структура експертної системи. Обрані фактори, які варто брати до уваги при оцінці вартості гектара ріллі земельної ділянки і яким реально було б дати оцінку, не маючи спеціальної освіти та знань. Було взято до уваги наступні чинники:

- бал бонітету ґрунтів;
- вологість ґрунту;
- рівень проведених поліпшень ґрунту;
- віддаль від ділянки до населеного пункту;
- віддаль від населеного пункту до ринку чи місця збуту;
- стан дорожнього покриття;
- затрати на вирощування продукції;
- дохід від збуту продукції.

Бонітування ґрунтів — це порівняльна оцінка якості ґрунтів за їх основними природними властивостями. Бонітування ґрунтів проводиться за 100-бальною шкалою. Вищим балом оцінюються ґрунти з кращими властивостями, які мають найбільшу природну продуктивність. Бал бонітету ґрунту на території, де розташована земельна ділянка, можна дізнатися у відділенні державного земельного кадастру або ж після проведення бонітування ґрунту [5].

Для зручності всі інші фактори вирішено оцінювати також за 100-бальною шкалою. Дані чинники виступають в ролі нечітких лінгвістичних змінних, які є входами в нечітку систему. Зважаючи на велику кількість входних змінних, було прийнято рішення про розробку ієрархічної нечіткої системи і розробку трьох додаткових проміжних нечітких систем. Це системи «Оцінка ґрунту», «Оцінка інфраструктури» та «Оцінка рентабельності». Виходи даних проміжних систем є входами в нечітку систему

«Оцінка вартості», яка і буде здійснювати остаточну оцінку вартості землі. Структура нечіткої ієрархічної системи показана на рис. 1.

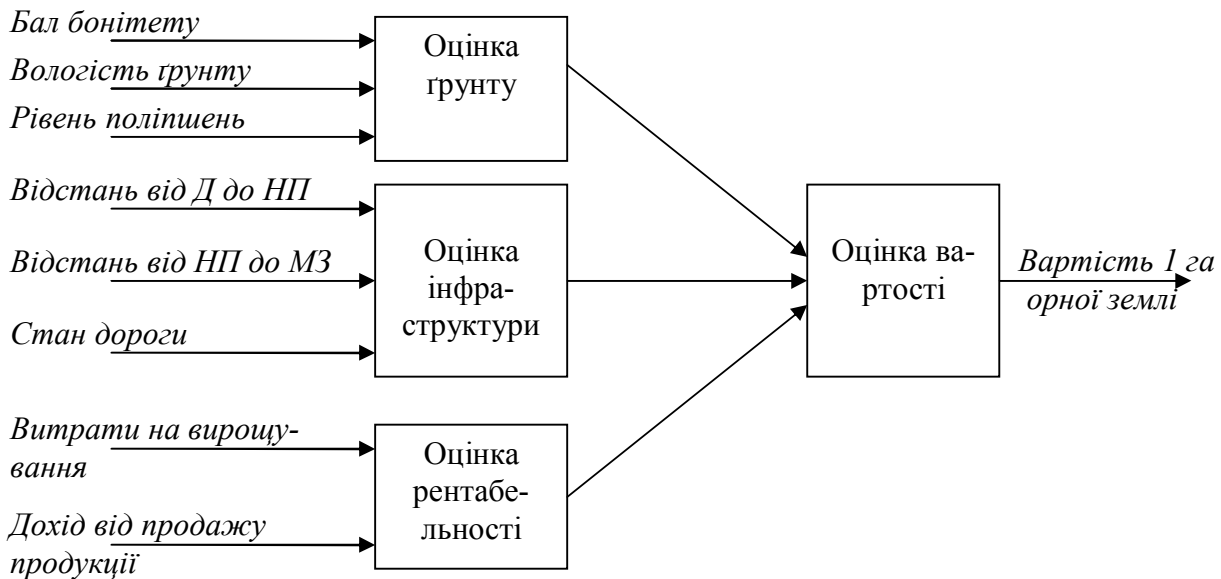


Рис. 1. Структура нечіткої ієрархічної експертної системи для оцінки вартості орних земель

Як видно з рис. 1 на виході нечіткої системи ми маємо одержати грошову оцінку одного гектара ріллі.

Програмним середовищем для розробки нечіткої системи був обраний пакет прикладних програм *MathWorks MATLAB*. Нечіткі системи були реалізовані за допомогою *Fis-редактора* та бібліотеки *Fuzzy Logic Toolbox* даного середовища [6].

Нечіткий логічний висновок систем проводився за алгоритмом Сугено. Були визначені кількість термів та тип функцій належності для кожної лінгвістичної змінної. На кожен вхідну змінну задано по два терми: *n* – «низько», *v* – «високо». Функції належності вхідних змінних fuzzy-систем обрано гаусівського типу, а вихідних – типу *constant*. На рис. 2 показано графічний вигляд функцій належності вхідної змінної «Оцінка ґрунту» нечіткої системи «Оцінка вартості».

Після розбиття діапазону вхідних та вихідних змінних на терми була сформована і введена база правил типу «Якщо» - «Тоді» нечітких систем. Нижче наведені правила нечіткої системи «Оцінка вартості».

- 1) **Якщо** (Оцінка ґрунту є низькою) **І** (Оцінка інфраструктури є низькою) **І** (Оцінка рентабельності є низькою) **Тоді** (Оцінка землі є низькою) (1)
- 2) **Якщо** (Оцінка ґрунту є низькою) **І** (Оцінка інфраструктури є низькою) **І** (Оцінка рентабельності є високою) **Тоді** (Оцінка землі є нижче середньої) (1)
- 3) **Якщо** (Оцінка ґрунту є низькою) **І** (Оцінка інфраструктури є високою) **І** (Оцінка рентабельності є низькою) **Тоді** (Оцінка землі є нижче середньої) (1)
- 4) **Якщо** (Оцінка ґрунту є низькою) **І** (Оцінка інфраструктури є високою) **І** (Оцінка рентабельності є високою) **Тоді** (Оцінка землі є вище середньої) (1)
- 5) **Якщо** (Оцінка ґрунту є високою) **І** (Оцінка інфраструктури є низькою) **І** (Оцінка рентабельності є низькою) **Тоді** (Оцінка землі є нижче середньої) (1)
- 6) **Якщо** (Оцінка ґрунту є високою) **І** (Оцінка інфраструктури є низькою) **І** (Оцінка рентабельності є високою) **Тоді** (Оцінка землі є вище середньої) (1)

7) **Якщо** (Оцінка ґрунту є високою) **І** (Оцінка інфраструктури є високою) **І** (Оцінка рентабельності є низькою) **Тоді** (Оцінка землі є вище середньої) (1)

8) **Якщо** (Оцінка ґрунту є високою) **І** (Оцінка інфраструктури є високою) **І** (Оцінка рентабельності є високою) **Тоді** (Оцінка землі є високою) (1)

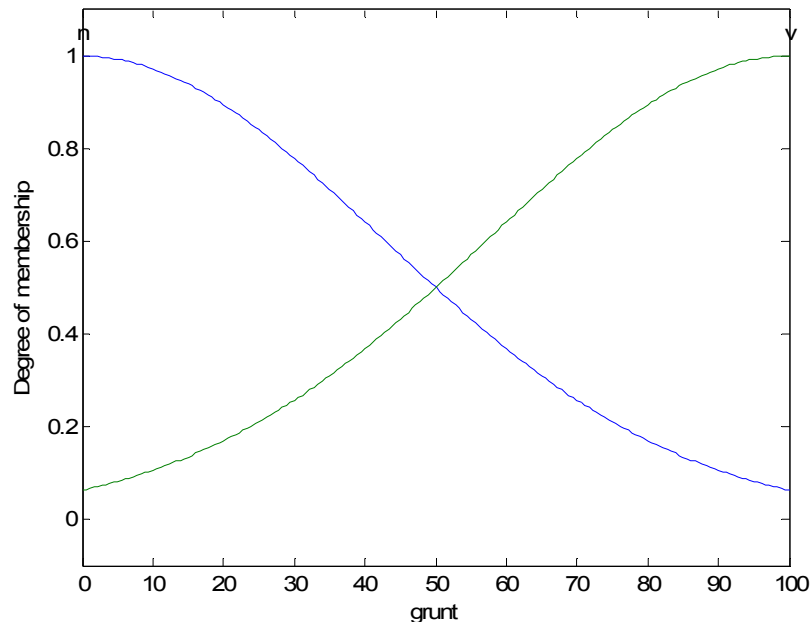


Рис. 2. Графічний вигляд гаусівських функцій належності вхідної змінної «Оцінка ґрунту»

На рис. 3 показана поверхня відгуку нечіткої системи оцінки вартості орної землі. На даній поверхні графічно зображена зміна вартості гектара землі в залежності від якості ґрунту та інфраструктури при середній рентабельності земельної ділянки.

За допомогою блоків бібліотеки Simulink програмного середовища MATLAB була створена модель нечіткого контролера на базі ієрархічної системи. Основою моделі є чотири блоки Fuzzy Logic Controller з бібліотеки *Fuzzy Logic Toolbox*, в кожен з яких вмонтовані описані вище нечіткі системи, які були створені в Fis-редакторі [7].

Вихід контролера подається на блок Display. Значення, які відображаються в даному блоці, відповідають грошовій оцінці гектара орної землі певної ділянки при заданих вхідних параметрах.

На рис. 4 зображена модель нечіткого контролера в *MathWorks Simulink*.

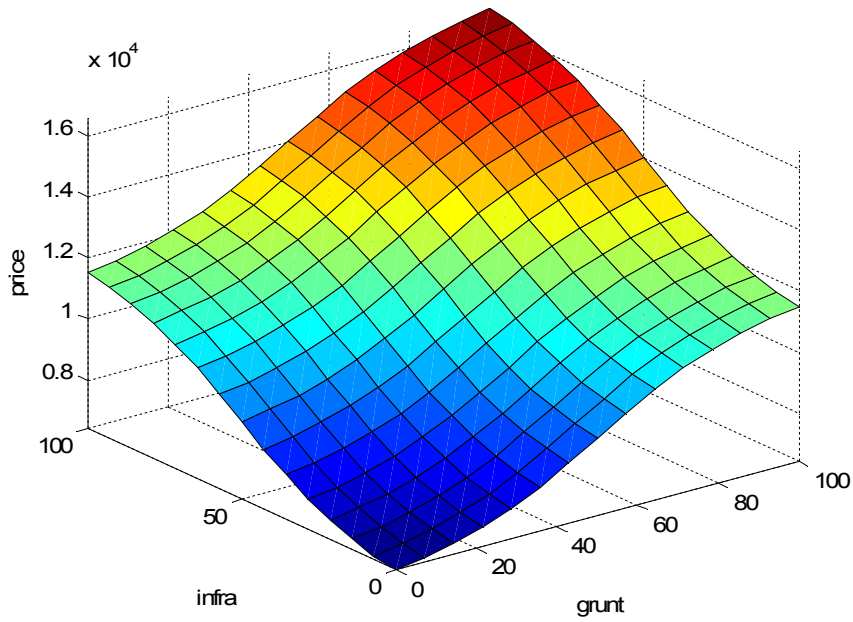


Рис. 3. Поверхня відгуку нечіткої експертної системи для оцінки вартості орної землі

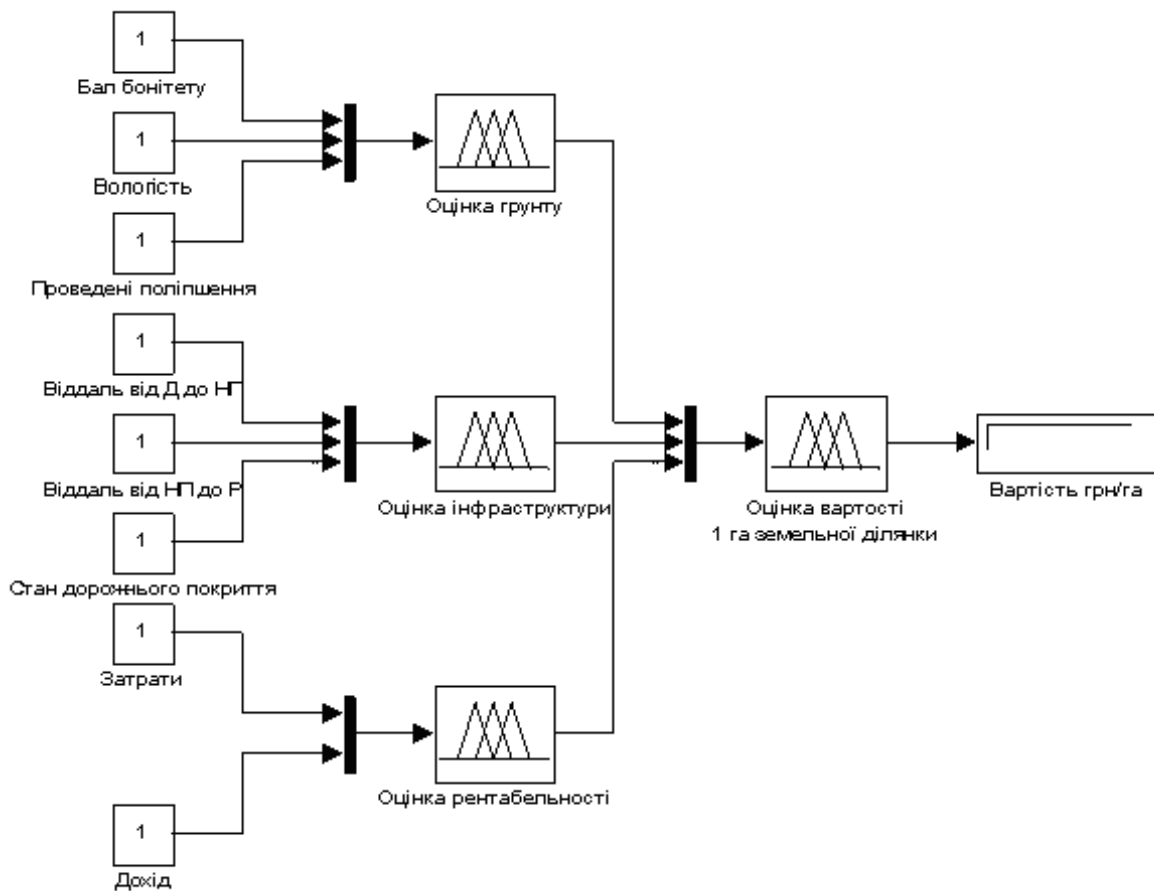


Рис. 4. Модель нечіткого контролера

На рис. 5 зображена модель реалізації нечіткого логічного висновку Сугено, складена з блоків Simulink.

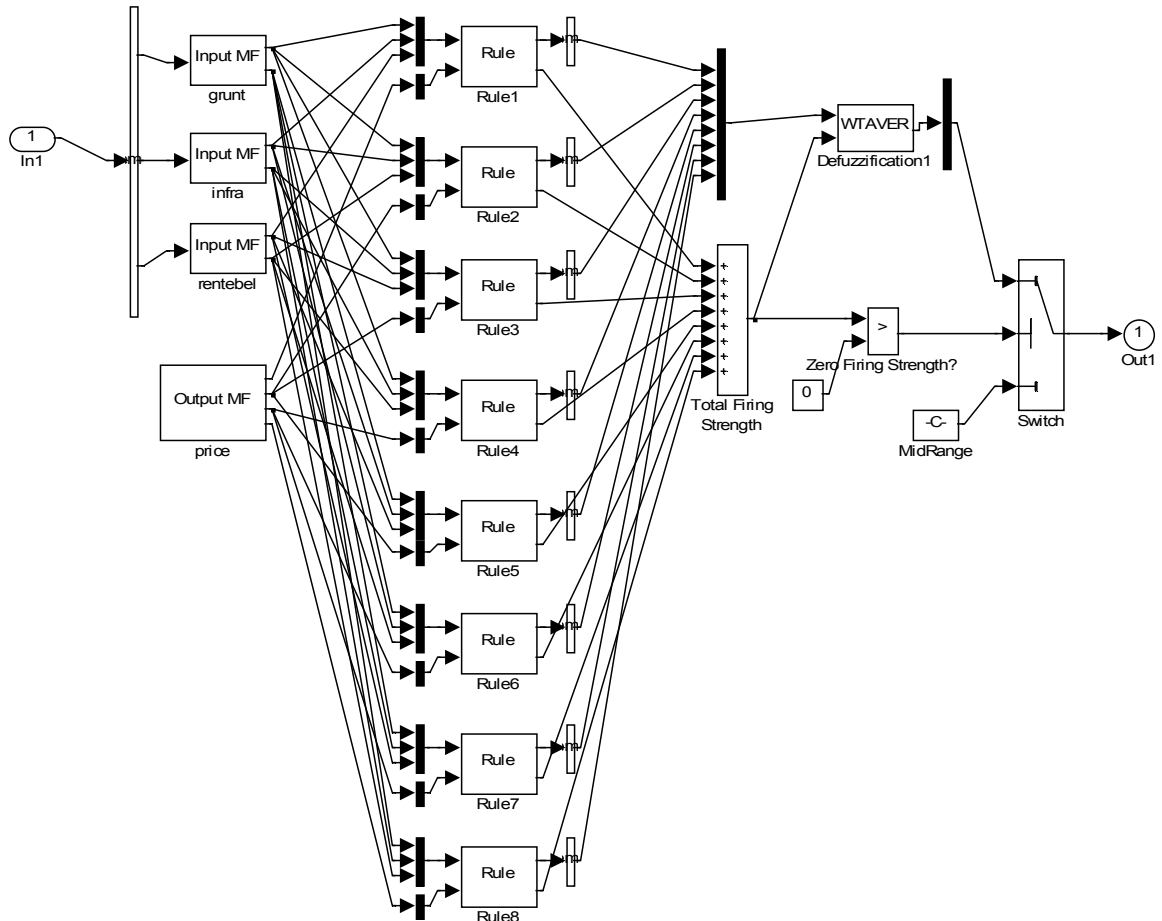


Рис. 5. Модель нечіткого логічного висновку Сугено

Робота нечіткого контролера була протестована на кількох вибірках вхідних даних. Для прикладу наведемо результати роботи нечіткого контролера, що подані в табл. 1.

Таблиця 1.

Результати грошової оцінки гектара орної землі
при заданих значеннях вхідних чинників

Чинники	Оцінка
Бал бонітету ґрунтів	68
Вологість ґрунту	50
Рівень проведених поліпшень ґрунту	80
Віддаль від ділянки до населеного пункту	50
Віддаль від населеного пункту до ринку чи місця збуту	50
Стан дорожнього покриття	60
Затрати на вирощування продукції	20
Дохід від збуту продукції	60
Грошова оцінка орної землі, грн/га	14880 грн

Як бачимо з табл. 1 вартість одного га землі при заданих значеннях вхідних факторів становить 14880 грн., що незначною мірою перевищує середні показники вартості орної землі по Україні. Такого результату слід було очікувати, адже значення вхідних

чинників теж знаходяться в діапазоні вище середніх величин. Зважаючи на це, можна стверджувати, що ієрархічна нечітка система є адекватною і придатною для проведення грошової оцінки орних земель.

Висновки

Зважаючи на сучасний стан речей на ринку землі України, створення інтелектуальної системи для грошової оцінки орних земель та земель сільськогосподарського призначення є актуальним та економічно доцільним. Дана система побудована на основі нечіткої логіки, прийняття рішень в якій формується за допомогою набору правил типу «Якщо» - «Тоді». Розроблена структура нечіткої ієрархічної системи, що була реалізована в програмному середовищі MATLAB. Вихід системи відповідає значенню грошової оцінки одного гектара орних земель при заданих вхідних параметрах.

Список літератури

1. Борисов В.В. Нечеткие модели и сети / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с.
2. Дамодаран А. Инвестиционная оценка: Инструменты и методы оценки любых активов / Асват Дамодаран; Пер. с англ. – 5-е изд. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. – 1340 с.
3. Дехтяренко Ю.Ф. Методичні основи грошової оцінки земель в Україні. Наукове видання / Ю.Ф. Дехтяренко, М.Г. Лихогруд, Ю.М. Манцевич, Ю.М. Палеха – К.: Вид-во «Профі», 2002. – 246 с.
4. Проців Х. Третина сільгоспвиробників недооцінює вартість землі [Електронний ресурс] / Х. Проців. – Режим доступу: <http://www.agribusiness.kiev.ua/uk/news/ucab/31-03-2011/1301574551>
5. Оцінка земель: Навчальний посібник / За заг. ред. М.Г. Ступеня. – Львів: «Новий світ – 2000», 2008. – 308 с.
6. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс] / С.Д. Штовба. – Режим доступа: <http://www.matlab.m/razzylogic/book1/index.asp>
7. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 288 с.

Ю.Я. Петрикович, Р.М. Гайдамаха, Т.И. Ковальский
ОЦЕНКА СТОИМОСТИ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ С ПОМОЩЬЮ ЭКСПЕРТНОЙ
СИСТЕМЫ НА БАЗЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Акцентируется внимание на возможности использования интеллектуальных систем на базе нечеткой логики для моделирования развития и взаимосвязей между различными экономическими явлениями и процессами. На основе ряда экспериментов обоснованно оптимальную структуру нечеткой системы по алгоритму нечеткого логического вывода Сугено, что позволило моделировать процесс оценки стоимости пахотных земель.

Ключевые слова: иерархическая интеллектуальная система, нечеткая логика, экспертная оценка, стоимость земельных ресурсов

Yu. Petrykovich, R. Gaidamakha, T. Kovalskiy
ASSESSMENTS ARABLE LANDS USING EXPERT SYSTEM BASED ON FUZZY
LOGIC

The attention on the potential use of intelligent systems based on fuzzy logic to model development and the relationship between economic phenomena and processes. Based on some experiments proved the optimal structure of fuzzy system with fuzzy inference algorithm Sugeno, allowing to simulate the process of arable land valuation.

Keywords: hierarchical intelligent system, fuzzy logic, expert evaluation, the cost of land

ВИЯВЛЕННЯ ОБЛАСТІ ФАЛЬСИФІКАЦІЇ ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ БЛОКАМИ ТРИКУТНОЇ ФОРМИ

П.Ю. Баранов, О.Ю. Лебедєва

Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: whiteswanhl@yahoo.com

У роботі розглядається методика побудови трикутних блоків, що використовуються в методі виявлення клонованих ділянок зображень при виявленні фальсифікації. Отримані висновки про доцільність та рекомендації щодо використання блоків трикутної форми.

Ключові слова: фальсифікація зображень, виявлення фальсифікацій, клонування, трикутні блоки

Вступ

Широке використання сучасних цифрових камер і програмного забезпечення для обробки зображення, наприклад, програмного комплексу Adobe Photoshop, приводить до створення підробок зображень, відео, які важко виявити людським оком. Кримінальне використання сучасних інформаційних технологій, яке є надзвичайно «популярним» у теперішній час, робить комп'ютерну злочинність не тільки прибутковою, але і достатньо безпечною справою, ставить її в один ряд з тероризмом і наркотичним бізнесом.

Процес упровадження нових інформаційних технологій у всі сфери життя суспільства неможливий без рішення питань інформаційної безпеки, складовою частиною якої є забезпечення автентичності цифрових сигналів, створення методів виявлення їх фальсифікації.

Перевірка автентичності сигналу може переслідувати різні цілі залежно від специфіки задач, складовою частиною яких є ця перевірка:

- виявлення лише наявності порушення автентичності;
- при виявленні порушення автентичності – груба локалізація області фальсифікації;
- при виявленні порушення автентичності – найбільш точна локалізація області фальсифікації.

Дана робота присвячена рішенням саме останньої задачі, яка є складною і сьогодні залишається невирішеною до кінця, про що свідчать численні матеріали, отримані з відкритих джерел [1-4].

Постановка задачі та мета дослідження

У роботі розглядаються фальсифікації, створені шляхом клонування частин одного і того ж зображення, оскільки цей вигляд фальсифікації дуже часто використовується завдяки легкості здійснення.

Для виявлення клонованих ділянок в завданнях фальсифікації пропонується методика, запропонована в [5]. Нехай I – цифрове зображення (ЦЗ) розміром $M \times N$. По-

будуємо розбиття зображення на блоки $D = \{d_1, d_2, \dots, d_l\}$, що не перетинаються, розміром $p \times p$, і на пересічні блоки $C = \{c_1, c_2, \dots, c_s\}$ розміром $p \times p$, де $p < M$ та $p < N$. Для кожного блоку d_i , $i = 1, \dots, l$ визначається подібний блок c_j , $j = 1, \dots, s$, тобто такий, що

$$\text{Metrica}(d_i, c_j) = \delta,$$

де δ – деяка числова константа, а $\text{Metrica}(\bullet)$ визначає певну метрику.

Якщо для d_i такий блок c_j знайдений, то ці блоки позначаються як дубльовані. Об'єднання дубльованих блоків

$$\bigcup_{k \leq l} d_k, \dots, \bigcup_{f \leq s} c_f$$

і визначає можливі клоновані частини зображення I . Як міра подібності блоків $\text{Metrica}(d_i, c_j)$ використовується коефіцієнт кореляції [5].

Для виявлення клонованих ділянок зазвичай використовують квадратні блоки [6]. Проте злоумисники, фальсифікуючи зображення шляхом клонування областей, наприклад, за допомогою програми, Adobe Photoshop, можуть скористатися такими інструментами, як «Гумка» (*Eraser tool*), «Ласо» (*Magnetic lasso tool*) та «Штамп» (*Clone stamp tool*). Перераховані інструменти дозволяють перетворити клоновану область в область довільної форми. В результаті покриття зображення квадратними блоками в процесі виявлення клонованих ділянок не дозволить точно визначити клоновану область, а в деяких випадках взагалі не зможе її виявити.

Для точнішого виявлення клонованих ділянок необхідно розглядати блоки неквадратної форми.

Метою роботи є дослідження можливості використання трикутних блоків при виявленні областей фальсифікації, проведеної шляхом клонування, в ЦЗ (ЦВ), що не піддалися процедурі стиску.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- 1) Розробити методику здобуття трикутних блоків;
- 2) З врахуванням розробленої методики на підставі обчислювального експерименту проаналізувати доцільність використання трикутних блоків.

Методика здобуття трикутних блоків

Для здобуття трикутних блоків використовуються квадратні блоки. Розіб'ємо квадратний блок двома діагоналями [7]. При розбитті можна використовувати цілі і половини діагоналей. В результаті такого способу побудови отримаємо сім випадків можливих розбивок (рис. 1).

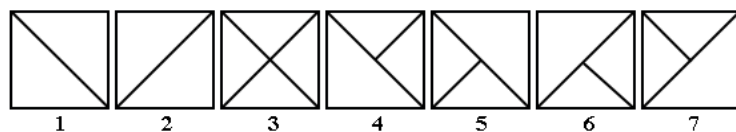


Рис. 1. Можливі розбивки квадратного блоку на трикутні блоки

Надалі обмежимося розглядом перших трьох розбивок, оскільки в розбивках, що залишилися, отримувані трикутні блоки вже передбачені в першій, другій та третій розбивках.

При трикутному розбитті виникає необхідність визначити, до якого трикутника належатимуть пікселі діагоналі. Для вирішення цього питання поділимо діагоналі навпіл. Нехай одна половина діагоналі належить одному трикутнику, а інша половина – другому (рис. 2).

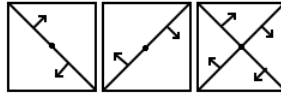


Рис. 2. Приналежність пікселів діагоналі

Результати досліджень

Для досліджень візьмемо зображення, отримані за допомогою цифрового фотоапарата. Клоновані ділянки додані за допомогою програми Adobe Photoshop CS. Результати фальсифікації не піддавалися стиску (рис. 3). Крім того, в дослідженнях використовувалися зображення без фальсифікації.



Рис. 3. Вхідні зображення (зліва) і фальсифіковані (справа)

Розглянемо розбиття на трикутники на основі квадратного блоку розміром 16x16. Результати вживання таких блоків представлені на рис. 4.

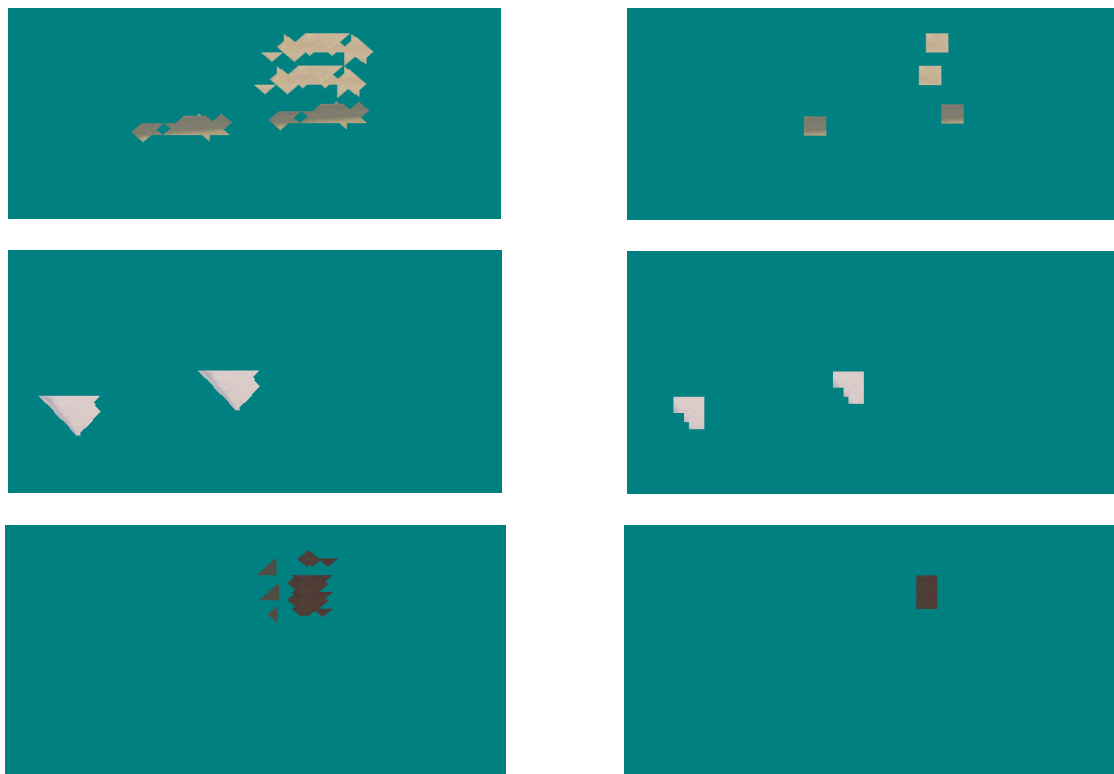


Рис. 4. Виявлені фальсифікації: трикутними блоками (зліва) і квадратними блоками (справа) розміром 16x16

З приведених результатів видно, що трикутні блоки на основі квадратного блоку 16x16 точніше покривають і виявляють фальсифіковані області, ніж квадратні блоки того ж розміру.

Для здобуття більш точної границі клонованих ділянок можна використовувати блоки менших розмірів. Отримане розбиття дозволить точніше виявити форму області фальсифікації. Були проведені експерименти по виявленню області фальсифікації блоками трикутної форми на основі квадратного блоку розміром 8x8. Результати експерименту наведені на рис. 5.

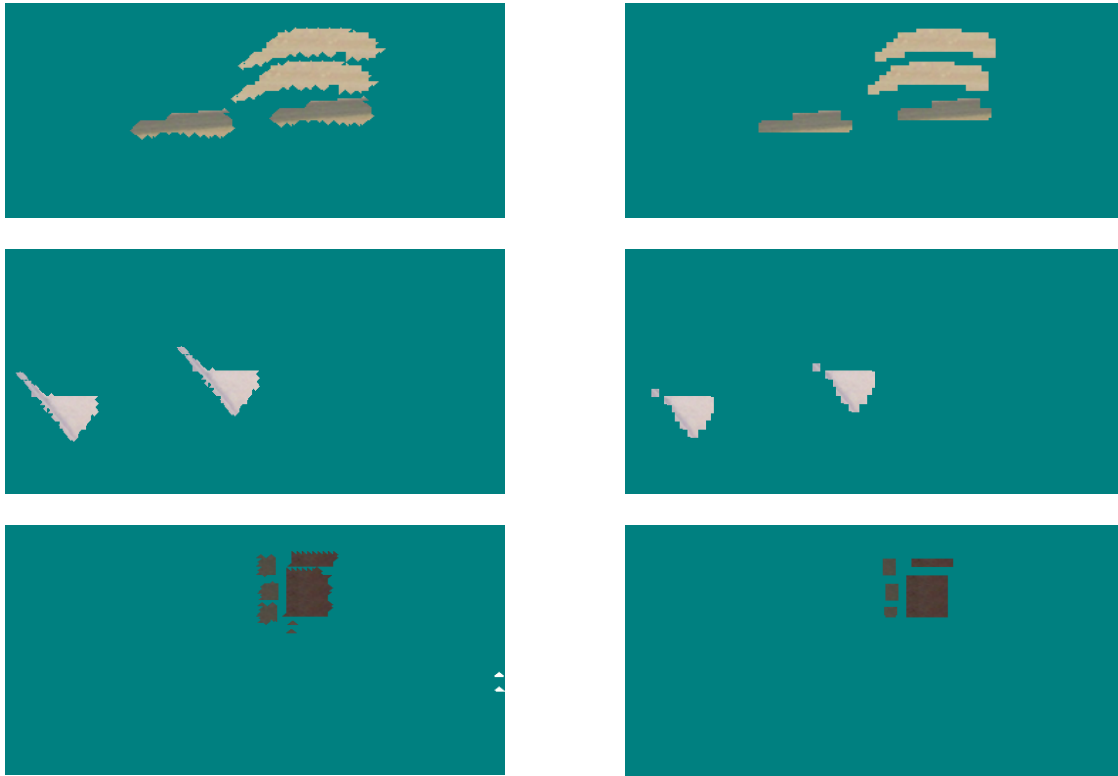


Рис. 5. Виявлені фальсифікації: трикутними блоками (зліва) і квадратними блоками (справа) розміром 8x8

Крім того, трикутні блоки дозволяють виявити фальсифікацію в тих випадках, де квадратні блоки того ж розміру не справляються (рис. 6).

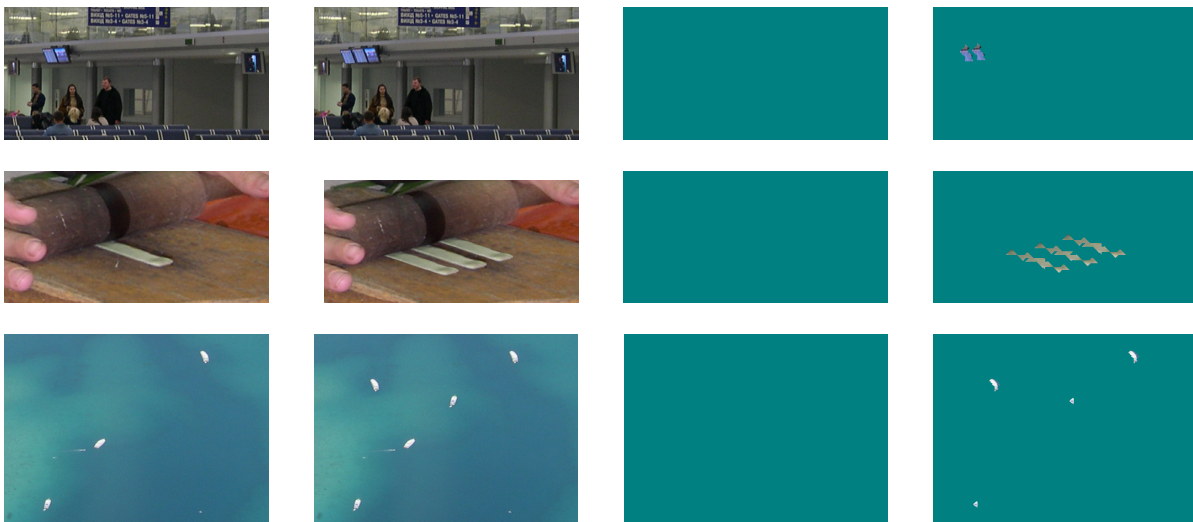


Рис. 6. Виявлені фальсифікації: перша колонка – вхідне зображення, друга колонка – фальсифіковане зображення, третя колонка – квадратні блоки розміру 16x16, четверта колонка – трикутні блоки розміру 16x16

Отримані результати обчислювальних експериментів, проведених в середовищі *MathWorks MATLAB* більш, ніж з 200 ЦЗ, підтвердили значну перевагу використання трикутних блоків для більш точного виявлення меж області фальсифікації в порівнянні з квадратними.

Деяке зменшення розміру блоку дозволяє уточнювати область фальсифікації. Проте зменшення блоку є обмеженим: при використанні малих блоків в процесі виявлення можуть з'являтися «лжеблоки», тобто блоки, що не містять частин фальсифікації, але мають одиничне значення коефіцієнта кореляції. Експериментально було виявлено, що блок, розміри якого менші за 4x4, може видавати лжеблоки. Так квадратні 4x4-блоки в 40% випадків визначають лжеблоки, до того ж схожі блоки розміру 4x4 виявляються і в зображеннях, фальсифікація яких відсутня (рис. 7).

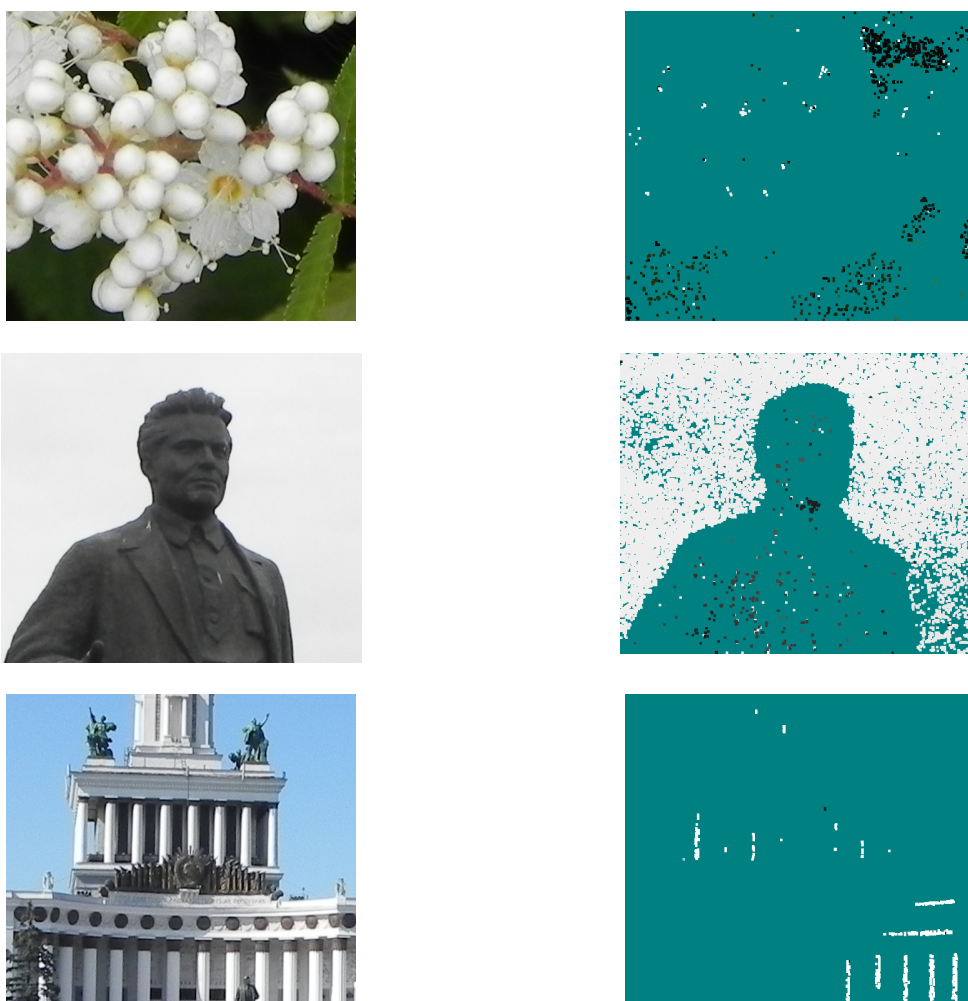


Рис. 7. Результат роботи запропонованої методики з блоками розміром 4x4: зліва – автентичні зображення, справа – виявлені лжеблоки

Як видно з рис. 4 та 5, області фальсифікації, виявлені квадратними блоками розміром 8x8, і області, виявлені трикутними блоками розміром 16x16, мають схожу форму. З отриманих експериментальних результатів випливає, що в тих випадках, коли квадратні блоки при виявленні фальсифікації з великою вірогідністю можуть видавати лжеблоки, має сенс скористатися трикутними блоками більшого розміру. Наприклад, квадратні блоки розміром 4x4 замінити на трикутні розміром 8x8. Відзначимо, що збільшення розміру блоку тут приведе до зменшення часу обчислень. Для подальшого прискорення процесу пошуку області порушення автентичності ЦЗ (ЦВ) в результаті

обчислювального експерименту були визначені трикутні блоки, які найчастіше використовуються в процесі виявлення і визначення меж області фальсифікації, – блоки розбивки 3 (рис. 1).

Висновки

Розглянуті трикутні блоки, що будуються на основі квадратного блоку, мають значні переваги при локалізації області фальсифікації ЦЗ (ЦВ), оскільки дозволяють отримати більш точні границі клонованих ділянок, ніж звичайні квадратні блоки того ж розміру, якщо клонована область не має форми квадрата або прямокутника, що на практиці зустрічається частіше.

За отриманою статистикою про частоту використання трьох варіантів розглянутих розбивок квадратного блоку на трикутні визначено варіант розбивки, який найчастіше використовується для виявлення клонованої області, тому надалі для підвищення швидкості пошуку областей фальсифікації можна розглядати трикутні блоки лише третього варіанту розбивки.

Список літератури

1. Narimanova O. Criteria of Double Quantization Effect Exhibition // Інформатика та математичні методи в моделюванні. – 2011. – Т.1, №1. – С.26-33.
2. Кобозева А.А. Повышение эффективности метода обнаружения фальсификации цифрового изображения, основанного на анализе сингулярных чисел матрицы / А.А. Кобозева, Е.А. Трифонова // Труды Одесского политехнического университета. — 2008. — №1(29). — С.183-190.
3. Wang W. Exposing Digital Forgeries in Video by Detecting Duplication / W. Wang, H. Farid // MM&Sec. — 2007. — PP.35-42.
4. Bayram S. Image manipulation detection / S. Bayram, B. Sankur, N. Memon // Journal of Electronic Imaging. — 2006. — Vol. 15(4). — PP.1-17.
5. Лебедева Е.Ю., Лебедев Ю.Ф. Исследование метрик используемых при обнаружении клонированных участков изображений в задачах выявления фальсификации // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Системний аналіз, управління та інформаційні технології». – Х.:НТУ «ХПІ», 2011. – №35. – С.25-31.
6. A.C. Popescu and H. Farid. Exposing digital forgeries by detecting duplicated image regions // Technical Report, TR-515, Dartmouth College, Computer Science. – 2004.
7. Лебедева Е.Ю., Павлов О.А. Использование нестандартных разбиений для оптимального покрытия объектов // Искусственный интеллект. – 2002. – №3. – С.606-610.

П.Е. Баранов, Е.Ю. Лебедева

ОБНАРУЖЕНИЕ ОБЛАСТИ ФАЛЬСИФИКАЦИИ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ БЛОКАМИ ТРЕУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ

В работе рассматривается методика построения треугольных блоков, используемых в методе обнаружения клонированных участков изображений при выявлении фальсификации. Получены выводы о целесообразности и рекомендации по использованию блоков треугольной формы.

Ключевые слова: фальсификация изображения, выявление фальсификации, клонирование, треугольные блоки

P. Baranov, O. Lebedyeva

DETECTION THE FALSIFICATION AREA OF DIGITAL IMAGE BY TRIANGULAR BLOCKS

The paper considers building of triangular blocks used in the detection of cloned areas of digital images. Drawing conclusions refers to appropriateness of proposed method and recommendations on the use of triangular blocks.

Keywords: image falsification, detection of falsification, image cloning, triangular blocks

THE ISSUES OF APPROACHES INTEGRATION TO SUBJECT DOMAINS METAMODELING

Eugene V. Malakhov

Odessa National Polytechnic University,
1, Ave. Shevchenko, Odessa, 65044, Ukraine; e-mail: opmev@mail.ru

This article discusses different approaches to metamodeling, show in place of these traditional models and set the direction of integration and sharing of these approaches.

Keywords: subject domain, metamodel, information system

Introduction

When designing and maintaining various applications information systems (IS) was used and are used concept models (mathematical, structural, information, etc.) and metamodels of both the information systems and subject domains (SD), to solve or support decisions problems over which these information systems are created. Moreover, a different, sometimes contradictory, meaning is put into the concept metamodel.

Information models and “classical” metamodels

The concept of information models is used quite widely now, although not clearly defined. One of common formulations of this concept states that as the SD model, which is supported by IS, is materialized in the form of properly organized information resources, it is called information model [1]. However, each information system developer uses this concept in the context own needs to describe of those or the other aspects of SD. It can be:

- 1) description of the information flows, that
 - circulating between the information system elements (including users of this information system);
 - coming in to the subject domain, coming out of it, or circulating within the SD;
- 2) description of the subject domain structural elements, i.e. entities, relationships between entities etc.;
- 3) integration of first and second views of the information model.

The first approach is used most often to describe an information systems in general, their components, their interaction between each and with the surrounding concrete information system world. The second most applicable when designing a databases (DB) and data warehouses (DW). Due to that a database is a kernel of any IS, and therefore issue structuring and manipulating the information stored in DBs and DWs is one of the most pressing, on this aspect should dwell more detail.

Entities in the models of this type are represented as abstractions are described by their properties, to which, in the case of object-oriented information model, we add and methods (i.e., operations, functions, events) that are characteristic for this entity.

In presenting in the database these properties are mapped into the appropriate attributes with the addition of their types, characteristics, formats etc. Sets these attributes values describe specific instances of the entity. That is, sets of the properties specific values of

entities (else the entities instances or the items) in the aggregate contain information about the subject domain. Accordingly, themselves properties or attributes is data about data that meets the definition of metadata.

Thus, the information model (or simply the model) is based on metadata about the elements of SD. If to collect an all the metadata description that describe the specific entity at several SDs or describe part or all elements of the specific subject domain, the next-level model or meta-model, because it contains data about the metadata that describe the data about elements of SD, will be received. In the first case it is an entity representation in the all available at given time the SDs, for which in [2] the concept and definition of universal entity were introduced. In the second case the SD is described, which can be represented as an object or entity of the higher-level SD [3].

The idea of creating and using metamodels expressed by many researchers. Moreover, it's proposed even ontology be seen as a metatheory [4]. Recent developments have been embodied in the specifications of Common Warehouse Metamodel (CWM) and Meta Object Facility (MOF) [5, 6], which implement a four-level architecture of metamodels, which became a classic: *meta-metamodel* – *metamodel* – *model* – *data*. *CWM* is a standard that describes the exchange of metadata when using Data Warehouses technology, Business Intelligence, Knowledge Management. Relying on the basic metamodel the standard adds metamodels for relational, multidimensional and table data, as well as for transformation, OLAP-functions, Data Mining and Data Warehousing, including the processes and operations. MOF defines common interfaces and semantics for interacting metamodels and a set of IDL-transformations. MOF is an example of a meta-metamodel or a model of metamodel as subset of the modeling language UML.

Hierarchical metamodels of the complex-structured subject domains

Approach proposed by the author of this article in [2] differs from the traditional view to the metamodels, that especially the not just different description languages are touched on, and the different levels of SDs and their respective models are viewed. In such a model can not be limited to four levels. Accordingly, the *metamodel of k-th level* is a mathematical, information or a structural model of the SD or the object whose elements are described by metadata of corresponding level. According to this definition, the database or, more precisely, the traditional database information model is a subject domain metamodel of 0-th level.

To remove restrictions on the levels number of metamodels was proposed also in article [7]. However, it also not dealt with the representation of the subject domains hierarchy, the manipulating their metamodels and the influence of the subject domain levels on their entities representation.

Obviously, it's necessary to look on the metadata wider than stated in the definitions above. “Meta ... (from Greek: *μετά* — *between, after, over*) is part of compound words, which denotes the passage of something, a transition to something else, change of state, the transformation of ...” [8]. According to this definition of the prefix “meta-” the metamodel should describe also the dynamics of the SD, its evolution or, at a minimum, include the opportunity to refine information about the SD.

DB, as a result of structural and information modelling of SD is the core of any IS. Therefore, the metamodel of SD is an effective tool for building IS, allowing to develop a database over time. That why in [9] it was proposed when DB designing to pay attention not only to model of systems and associated with them SDs, which are often unique, but also on the metamodels, their development and manipulation them.

A similar idea was developed in the technology of DSM (Domain Specific Modeling) with the metadata interpretation [10] and its implementation. In addition, in 1990 J. Mylopoulos was proposed the language *Telos* [11], designed to solve the problem of formal representation of knowledge about the many worlds, related to a specific IS. This language

contains object-oriented structure that supports aggregation, generalization and classification; processing attributes; an explicit representation of time; means for the constraints integrity determining and deductive rules. However, this language just as the language UML, does not include mathematical operations with the structures that describe the subject domain and, therefore, requires the subjective factor intervention at each modification of such structures (models) or in the modeling of complex-structured SDs.

Metamodel representation is possible by using various mathematical apparatus. Naturally, the choice of apparatus determines a set of mathematical operations that can be performed on metadata.

To the information model representation is often used a graph form. To the model processing is applied a corresponding mathematics, which, however, ignores the graph representation of this model, that is used exclusively for the model visualization.

So the a relational DB theory apparatus is one of the most developed, namely, the relational algebra, which is designed to work with metadata and the data they describe. Originally, however, that mathematics is not enough to work with metamodel of level above 1. In particular, it ignores the mass problems that are solved over the subject domain, and does not include graph and hypergraph representation of the model.

That why in [12] the author of this article stated that a SD is described by triplet $(E(d_j), V_i(d_j), P_i(d_j))$, where E is a set of different classes objects sets, V is set of relationships between them, P is the set of mass problems to be solved over the SD. Moreover, the set E consists of: a set of active objects H purposefully influencing each other and to other objects of the environment; a set of passive objects which are the only influence receivers and associated with research and production complex Q , associated with a given SD; and a set of objects O that are resulting of intellectual activity.

Accordingly, the operations for such a representation that take into account the peculiarities of the high-levels metamodels had been proposed in [12, 13, 14]. They are built on the integration of the following mathematical apparatuses.

To resolve the contradictions between the DB and the SD associated with the SD evolution, the *graph theory* as a mathematical tool is used when the SD metamodels development. At that the operations on metamodels are some operations on graphs, adapted to the fact that elements of their operands are sets of mass problems to be solved over the SDs and metainformation about the objects of these SDs represented by the graph nodes.

One element of this adaptation is the use of the suboperations (nested operations) on the SD metamodel. These nested operations are based on *set theory*. Accordingly, the operations on the SD metamodel are operations on sets, modified in view of the fact that their operands will be metainformation.

Finally, the metadata themselves are implemented as *multi-dimensional relations*. From the practical point of view, this approach allows the use of existing DBs, their functions and commands to manipulate tables and warehouses to perform operations on metadata.

Conclusions

From these approaches to metamodeling clearly that CWM specification or DSM (or language *Telos*) are effective for the initial design of IS, to determine its structure and interaction with the corresponding SD. At the same time the hierarchical metamodeling of SD is advisable used to build the DB and multilevel DW, since it allows to consider the evolution of SD and the mass problems that exist or arise over the SD with complex structure. Obviously, the next step in the evolution and use of metamodeling is the integration of these approaches.

References

1. Kogalovskij M.R. Advanced technologies for information systems. – M.: DMK Press, 2003. – 288 p. – (in Russian).
2. Malakhov E.V. Representation of objects in set of subject domains [text] // East-European journal of advanced technology. – Kharkov, 2006. – Vol. 2/2 (20). – PP. 20-23. – (in Russian).
3. Malakhov E.V. Elementary objects as basis of the object cores of the subject domains / E.V. Malakhov, V.M. Tonkonogy // Electrotechnic and computer systems. – K.: "Tehnika", 2010. – № 01 (77). – PP. 138-140. – (in Russian).
4. Milton S.K. Ontology as Metatheory: A Perspective. / S.K. Milton, E. Kazmierczak // Scandinavian Journal of Information Systems, 2006. – 18 (1). – PP. 85-94.
5. Common Warehouse Metamodel specification // Object Management Group, Inc. - Mode of access: <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?formal/01-10-01-1.10.2001>.
6. Green P. Using Meta Models for the Comparison of Ontologies / P. Green, I. Davies, S.K. Milton, M. Rosemann // Proceedings of the Eighth CAiSE/IFIP8.1 International Workshop on the Evaluation of Modeling Methods in Systems Analysis and Design. – Austria, June 2003. – 12 p.
7. Jarke M. Heterogeneity in Model Management: A Meta Modeling Approach / M. Jarke, M.A. Jeusfeld, H.W. Nissen, C. Quix // Conceptual Modeling: Foundations and Applications, Essays in Honor of John Mylopoulos. – Berlin: Springer-Verlag, 2009. – PP. 237-253.
8. Great Soviet Encyclopedia. 3rd ed. – Moscow: Soviet Encyclopedia, 1970-1978. – (in Russian).
9. Vostrov G.N., The subject domains' structure describing problems [text] / G.N. Vostrov, E.V. Malakhov, V.N. Kuleshov // Proc. Odes. Polytechnic. Univ. – 2000. – Vol. 2 (11). – PP. 111-114. – (in Russian).
10. Cook St. Domain-Specific Modeling and Model Driven Architecture // MDA Journal, January 2004. – PP. 2-10. [PDF]. ([www.bptrends.com/publicationfiles/01-04 COL Dom Spec Modeling Frankel-Cook.pdf](http://www.bptrends.com/publicationfiles/01-04_COL_Dom_Spec_Modeling_Frankel-Cook.pdf)).
11. Mylopoulos J. Telos: representing knowledge about information systems / J. Mylopoulos, A. Borgida, M. Jarke, M. Koubarakis // ACM Transactions on Information Systems, October 1990. – Vol. 8, No 4. – PP. 325-362.
12. Malakhov E.V. Expansion of operations on subject domains metamodels taking into account the mass problems [text] // East-European journal of advanced technology. – Kharkov, 2010. – Vol. 5/2 (47). – PP. 20-24. – (in Russian).
13. Malakhov E.V. Problems of the use of metadata for subject domains transformation [text] / E.V. Malakhov, T.V. Dobrovolskaya // Refrigeration engineering and technology. – Odessa, 2005. – Vol. 6 (98). – PP. 112-116. – (in Russian).
14. Malakhov E.V. Manipulation of the subject domains metamodels [text] // East-European journal of advanced technology. – Kharkov, 2007. – Vol. 5/3 (29). – PP. 6-10. – (in Russian).

Е.В. Малахов

ВОПРОСЫ ИНТЕГРАЦИИ ПОДХОДОВ К МЕТАМОДЕЛИРОВАНИЮ ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЕЙ

В данной статье рассмотрены различные подходы к метамоделированию, показано место в них традиционных моделей и определено направление интеграции и совместного использования этих подходов.

Ключевые слова: предметная область, метамодель, информационная система

Є.В. Малахов

ПИТАННЯ ІНТЕГРАЦІЇ ПІДХОДІВ ДО МЕТАМОДЕЛЮВАННЯ ПРЕДМЕТНИХ ОБЛАСТЕЙ

В даній статті розглянуті різні підходи до метамодельювання, показано місце в них традиційних моделей і визначено напрямки інтеграції та спільного використання цих підходів.

Ключові слова: предметна область, метамодель, інформаційна система

ІНФОРМАТИКА ТА МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ В МОДЕЛЮВАННІ

Том 1, номер 3, 2011. Одеса – 98 с., іл.

ИНФОРМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В МОДЕЛИРОВАНИИ

Том 1, номер 3, 2011. Одесса – 98 с., ил.

INFORMATICS AND MATHEMATICAL METHODS IN SIMULATION

Volume 1, No. 3, 2011. Odesa – 98 p.

Засновник: Одеський національний політехнічний університет

Зареєстровано Міністерством юстиції України 04.04.2011р.

Свідоцтво: серія КВ № 17610 - 6460Р

Друкується за рішенням Вченої ради Одеського національного політехнічного університету (протокол №8 від 26.04.2011)

Адреса редакції: Одеський національний політехнічний університет,
проспект Шевченка, 1, Одеса, 65044 Україна

Web: <http://www.immm.opu.ua>

E-mail: immm.ukraine@gmail.com

© Одеський національний політехнічний університет, 2011