

Довженко Н.М., Собчук В.В.

Державний університет телекомунікацій, Київ

Коваль М.О.

Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРИНЦИПУ СПРАВЕДЛИВОСТІ

Запропонована математична модель багатокритеріальної оптимізації якості обслуговування сенсорних мереж з використанням принципу справедливості є цілком виправданим та своєчасним рішенням. Адже в існуючих засобах й методах управління навантаженням і мережними ресурсами сенсорних мереж прийняття рішення здійснюється на основі одного показника. Таке управління не є оптимальним для безпроводових технологій, оскільки в цьому випадку до звичайних мережних проблем додаються ще і проблеми, пов'язані з наявністю перешкод у лініях зв'язку, завмиранням сигналів. Такі явища вимагають чіткого вибору не тільки відповідної завадозахищеної структури сигналу і рівня випромінювання їх передавальними пристроями, але і необхідності фрагментації пакетів та зміни швидкості передачі інформації.

Ключові слова: сенсорна мережа, критерії, завадозахищеність, моніторинг, дані.

Dovzhenko N.M., Sobchuk V.V.

State university of telecommunication, Kyiv.

Koval M.O.

Military Institute of Kyiv National Taras Shevchenko University, Kyiv.

THE MATHEMATICAL MODEL OF MULTI-CRITERIAN OPTIMIZATION OF THE QUALITY OF SERVICE OF SENSOR NETWORKS USING THE PRINCIPLE OF JUSTICE

The development of a mathematical model of multicriteria optimization of the quality of sensor network service using the principle of equity, is entirely justified. On existing tools and methods of load management and network resources of sensor networks, decision-making is based on one indicator. This control is not ideal for wireless technology, because in this case, the problems associated with the presence of interference in communication lines, the fading of signals is added to the usual network problems specific to the wired and optical lines.

Such phenomena must a clear choice not only of the appropriate noise immune structure of the signal and the level of radiation by their transmitting devices, but also the ways for adapting to the signal-interference situation, which is formed at a specific moment of time, the need for fragmentation of packets and change the speed of information transmission.

The paper demonstrates the feasibility of applying the "fairness principle" to different modes of the touch network. The article analyzes several variants of the implementation of the principle of equity that can be used in sensor networks, namely: the maximum criterion of fairness, the criterion of proportional justice, the criterion of proportional justice with weights, the criterion of justice in the form of a minimum of potential delay.

Keywords: sensory network, criteria, noise immunity, monitoring, data

Довженко Н.М., Собчук В.В.

Государственный университет телекоммуникаций, Киев

Коваль Н.А.

Военный институт Киевского национального университета имени Тараса Шевченко

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПА СПРАВЕДЛИВОСТИ

Предложенная математическая модель многокритериальной оптимизации качества обслуживания сенсорных сетей с использованием принципа справедливости является полностью оправданным и своевременным решением. Ведь в существующих средствах и методах управления нагрузкой и сетевыми ресурсами сенсорных сетей принятия решения осуществляется на основе одного показателя. Такое управление не является оптимальным для беспроводных технологий, поскольку в этом случае к обычным сетевым проблемам добавляются еще и проблемы, связанные с наличием помех в линиях связи, замиранием сигналов. Такие явления требуют четкого выбора не только соответствующей помехозащитной структуры сигнала и уровня излучения их передающими устройствами, но и необходимости фрагментации пакетов и изменения скорости передачи информации.

Ключевые слова: сенсорная сеть, критерии, помехозащитность, мониторинг, данные.

1. Вступ. Нехай X – рішення, яке визначене на допустимій множині рішень X , що утворений множиною управляючих параметрів. Якість рішення оцінюється безліччю окремих критеріїв $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$, де $k_1 \dots k_n$ – безліч критеріїв якості обслуговування в сенсорній мережі. Відомо відображення множини рішень на множину окремих критеріїв $x \rightarrow K$ і відносна важливість окремих критеріїв $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$. Необхідно знайти оптимальне рішення

$$x^0 = \text{opt}G[K(x), \Lambda], \quad x \in X. \quad (1)$$

Рішення поставленого завдання не викликає труднощів в тому випадку, якщо відомий оператор A і визначено вид оператора $\text{opt} G$, тобто заданий узагальнений критерій або правило, що дозволяє впорядковувати можливі рішення.

2. Дослідження функції корисності. Один з найбільш поширених підходів до вирішення завдання (1), заснований на зведенні багатокритеріальної задачі до однокритеріальної. Такий підхід заснований на теорії корисності [1], згідно з якою передбачається, що існує деяка узагальнена оцінка цінності або корисності будь-якого рішення $x \in X$. У цьому випадку формування схеми компромісу пов'язано з видом функції корисності

$$P = F \{K_1(x), K_2(x), \dots, K_n(x)\}. \quad (2)$$

Для вирішення цього завдання необхідно обґрунтувати вид функції корисності локальних критеріїв $\xi(K_i)$.

Функція корисності окремих критеріїв повинна бути універсальною і добре пристосованою до обліку особливостей конкретних систем, їх цілей і критеріїв [2]. Для цього вона повинна відповідати наступним вимогам: бути безрозмірною; мати одиничний інтервал вимірювання; бути інваріантною до виду екстремуму окремого критерію.

Перерахованим вимогам відповідає функція виду:

$$\xi_i(K_i) = \left(\frac{K_i - K_{i\bar{o}}}{K_{i\bar{e}} - K_{i\bar{o}}} \right)^{\alpha_i}, \quad (3)$$

де K_i – значення i -го окремого критерію для варіанту системи; $K_{i\bar{e}}$, $K_{i\bar{o}}$ – його найкраще і найгірше значення, відповідне або до кордонів області допустимої зміни відповідних параметрів системи, або до програм наближеної області компромісів; α_i – показник нелінійності.

Функція корисності (3) характеризує ступінь наближеності до локального оптимуму за критерієм K_i . Для визначення меж наближення області компромісів X^P , тобто значень $K_{i\bar{e}}$ і $K_{i\bar{o}}$ користуються наступним методом. На множині допустимих рішень X проводять оптимізацію по кожному з окремих критеріїв K_i , в результаті визначається екстремальне за даним критерієм рішення

$$X_i^0 = \arg \underset{x \in X}{extr} K_i(x), \quad i = \overline{1, n} \quad (4)$$

і відповідні йому значення всіх окремих критеріїв, $j = \overline{1, n}$. Тоді $K_{i\bar{e}} = K_i(X_i^0)$, а

$$K_{i\bar{o}} = \begin{cases} \max_j K_i(x_j^0), & K_i(x) \rightarrow \min; \\ \min_j K_i(x_j^0), & K_i(x) \rightarrow \max. \end{cases} \quad (5)$$

Таким чином, $K_{i\bar{e}}$ і $K_{i\bar{o}}$, $i = \overline{1, n}$ є межами відображення наближеної області компромісів X^P на простір критеріїв. Область X^P включає в себе область компромісів (область Парето), так як для неї справедливим є необхідна умова області компромісів – включення глобальних екстремумів всіх окремих критеріїв. Область X^P ширше області Парето, так як включає в себе деякі підмножини із області згоди, тому в загальному випадку компромісні рішення, вибрані з області X^P , необхідно перевіряти на приналежність області Парето.

Розглянута функція корисності (3) є не єдиною можливою. Вибір їх конкретного виду та кількісних параметрів є евристичною операцією.

Для вибору єдиного рішення з області компромісів необхідно обґрунтувати аксіоматику і на її основі сформулювати правило (схему компромісу) прийняття рішення. Для вирішення цього завдання потрібна додаткова інформація, яку можна отримати шляхом аналізу та формалізації особливостей цілей системи.

Узагальнений критерій, за відомих кількісних значеннях вагових коефіцієнтів w_i окремих критеріїв $K_i(x)$ або їх функції корисності $\xi_i(K_i)$ приймає наступний вигляд:

$$J(k) = \max_{x \in X} \sum_{i=1}^n w_i \xi_i[K_i(x)], \quad i = \overline{1, n}, \quad \sum_i w_i = 1. \quad (6)$$

Під рішенням багатокритеріальної задачі будемо розуміти сукупність керованих змінних, які забезпечують оптимум одночасно до всіх введених критеріїв оптимальності. Визначимо безліч керованих параметрів і безліч критеріїв оптимальності. Визначимо три основних параметри якості послуг для СМ, які повинні узгоджуватися мережними пристроями при встановленні з'єднання при реалізації принципу самоорганізації: достовірність інформації, що передається, затримка при передачі пакетів, відсоток втрачених пакетів [3].

Показник ймовірності переданої інформації $K_1(x)$, згідно IEEE 802.15.2-2003, може бути визначений частотою бітових помилок.

$$K_1(x) = BER = \left(\frac{2^{8-1}}{2^8 - 1} \right) SER_{11} = \frac{128}{255} SER_{11}, \quad (7)$$

де SER_{11} – імовірність помилки символу, визначається виразом

$$SER_{11} \leq 24 \cdot Q(\sqrt{4 \cdot SIR}) + 16 \cdot Q(\sqrt{6 \cdot SIR}) + 174 \cdot Q(\sqrt{8 \cdot SIR}) + 16 \cdot Q(\sqrt{10 \cdot SIR}) + 24 \cdot Q(\sqrt{12 \cdot SIR}) + Q(\sqrt{16 \cdot SIR}), \quad (8)$$

$Q(x)$ – функція, визначена як Гауссовий розподіл:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt,$$

SIR – співвідношення сигнал/завада.

Функція, що описує затримку при передачі пакетів, згідно G.107 [4], залежить від трьох чинників і може бути виражена за допомогою наступного співвідношення:

$$K_2(x) = I_{dte} + I_{dle} + I_{dd}, \quad (9)$$

де I_{dte} – оцінка погіршення QoS через відлуння джерела повідомлення

$$I_{dte} = \left[\frac{N_{0e} - N_e}{2} + \sqrt{\frac{(N_{0e} - N_e)^2}{4} + 100} - 1 \right] \cdot (1 - e^{-\tau}), \quad (10)$$

$N_{0e} = -1.5 \cdot (N_0 - N_L)$, N_0 [дБ] – потужність різних джерел шуму (шум схем, ефективний шум кімнати, власні шуми), N_L [дБ] – потужність шумів на приймальній стороні,

$$N_e = 80 + 2.5 \cdot (G - 14),$$

$$G = V - 40 \log \frac{1 + \frac{\tau}{10}}{1 + \frac{\tau}{150}} + 6e^{-0.3\tau^2}, \quad (11)$$

V – оцінка відлуння джерела повідомлення на приймальній стороні, τ – затримка між приймаючою стороною і точкою приєднання, де відбуваються відображення сигналу на неоднорідностях;

I_{dle} – оцінка погіршення QoS із-за затримки і відлуння сигналу

$$I_{dle} = \frac{N_0 - N_{le}}{2} + \sqrt{\frac{(N_0 - N_{le})^2}{4} + 169}, \quad (12)$$

N_{le} – оцінка затримки на підтвердження прийому τ_r та середнього значення відлуння на всьому шляху передачі S : $N_{le} = 10.5 \cdot (S + 7) \cdot (\tau_r + 1)^{-0.25}$;

I_{dd} – оцінка абсолютної затримки

$$I_{dd} = 25 \cdot \left\{ \left(1 + X^6\right)^{\frac{1}{6}} - 3 \cdot \left(1 + \left[\frac{X}{3}\right]^6\right)^{\frac{1}{6}} + 2 \right\}, \quad (13)$$

$X = \frac{\log\left(\frac{\tau_a}{100}\right)}{\log 2}$, τ_a – абсолютна затримка між сторонами передачі і прийому в одному напрямку передачі.

Функція, що описує надійність передачі пакетів, згідно G.107, може бути визначена наступним виразом:

$$K_3(x) = I_e + (95 - I_e) \cdot \frac{P_{pl}}{P_{pl} + B_{pl}}, \quad (14)$$

де I_e – коефіцієнт впливу процедури кодування-декодування на відсоток втрачених пакетів, P_{pl} – ймовірність втрати пакета, B_{pl} – стійкість до втрат пакетів.

Крім розглянутих окремих критеріїв K_1 , K_2 , K_3 , що входять до загального критерію (5), можуть бути включені й інші, що визначається конкретним рішенням того чи іншого завдання.

3. Розробка методів забезпечення «принципу справедливості»

Справедливість обслуговування в сенсорних мережах є критичним параметром. Справедливість у класичному варіанті означає «зважене» обслуговування потоків даних з пріоритетами, а саме: з великим пріоритетом потоки обслуговуються в першу чергу, однак і менш пріоритетні не повинні бути відкинуті. При високій інтенсивності пріоритетизованого потоку виникає ситуація, коли вся пропускна здатність каналу використовується тільки пріоритетним потоком, у той час як трафік без пріоритету може обслуговуватися з мінімальним QoS або ж залишитися не переданим [5].

Для сенсорних мереж така ситуація може виявитися аварійною, так як можлива втрата трафіку без пріоритету, який може нести важливу екстрену інформацію, що вимагає термінового прийняття рішення. У критичних ситуаціях можна всім потокам дати найвищий пріоритет, тобто складається ситуація, при якій по БСМ передаються тільки пріоритетизовані потоки, але при цьому зазвичай передається велика кількість другорядної інформації. Таким чином, постає задача справедливого розподілу швидкостей передачі в сенсорній мережі.

Справедливий розподіл швидкостей $v = (v_1, \dots, v_S)$ в мережі може бути отриманий з рішення оптимізаційної задачі. Алгоритм розподілу швидкостей в мережі, що максимізує суму цільових функцій джерел при обмеженнях на ємності мережних каналів, є алгоритмом справедливого (відповідно до цільових функцій) розподілу в стані рівноваги. У простій моделі з використанням одного каналу зв'язку справедливість означає вибір швидкостей джерел таким чином, що вони в рівній пропорції поділяють цей загальний канал. Однак для сенсорної мережі такий простий підхід не є раціональним, оскільки завжди є більш цінні сигнали і сигнали теж корисні, але другорядні. Розглянемо рішення оптимізаційної задачі.

Для забезпечення принципу справедливості використовуємо адитивну модель сумарної корисності при передачі по l каналах зв'язку. Нехай є n джерел та l мережних каналів передачі даних. Канал l , $l = 1, \dots, L$, має пропускну здатність C_l . Визначимо матрицю T , елементи якої T_{il} інтерпретуються як частка трафіку, породженого джерелом i , що проходить через канал l .

Будемо вважати, що $T_{li} \in \{0,1\}$. У цьому випадку $T_{li} = 1$, якщо i -е джерело використовує l -й канал, і $T_{li} = 0$ в іншому випадку. Значення T_{li} можуть бути й іншими, позитивними значеннями, нормованими до 1. Допустиме значення швидкостей джерел $v = (v_1, \dots, v_S)$, $v_i \geq 0$, має бути таким, що

$$\sum_{i=1}^S T_{li} v_i \leq v_l, \quad l=1, \dots, L. \quad (15)$$

Зіставимо кожному джерелу i цільову функцію $\hat{O}_i(v_i)$, яка є функцією швидкості v_{0_i} . Кожному мережного каналу l зіставимо функцію вартості $c_l(\cdot)$, що є функцією завантаження цього каналу $T_l = \sum_{i=1}^U T_{li} v_i$. У припущенні, що всі канали в робочому стані ($T_{li} = 1$), модель справедливості визначимо як такий допустимий набір швидкостей $v = v_1, \dots, v_S$, на якому досягається максимум сумарною "корисність" за вирахуванням сумарної вартості мережних каналів, тобто:

$$J(v) \rightarrow \max_{v_i \geq 0, i=1, \dots, U}, \quad \text{де } J(v) = \sum_{i=1}^I \hat{O}_i(v_i) - \sum_{l=1}^L c_l(f_l(v)). \quad (16)$$

Передбачається, що функції Φ_i є зростаючими, суворо опуклими, і безперервно диференційовними. Вираз (3.16) може звестися до більш простішого вигляду:

$$J(v) \rightarrow \max_{v_i \geq 0, i=1, \dots, U}, \quad \text{де } J(v) = \sum_{i=1}^I \hat{O}_i(v_i). \quad (17)$$

Різні форми справедливості відповідають різним видам цільових функцій $\hat{O}_i(v_i)$. Умова локального максимуму $J(\cdot)$ з (17) в точці v_0 впливають з вигляду функції $J(v)$ в (17) і задаються умовою:

$$\text{grad} < 0 \quad J(v), v - v_0, \quad (18)$$

для будь-якого іншого вектора швидкостей v в околиці рівноважної точки v_0 . Розглянемо відомі, поширені форми справедливості, які розрізняються виглядом критерію справедливості.

3.1. Максимінний критерій оптимізації (max-min).

При цьому критерії справедливе розміщення швидкостей таке, що подальше зростання швидкості одного джерела може здійснитися тільки за рахунок зменшення деякої і так вже меншої швидкості іншого джерела [6]. Таке розміщення дає пріоритет малим швидкостям. Максимінна форма (4, 5) справедливості є узагальненням для мережі рівного розподілу одного ресурсу, коли всі сенсорні мережі несуть інформацію одного рівня цінності. У даному випадку допустиме розміщення швидкостей $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_I)$ таке, що для будь-якого іншого допустимого розміщення $v = (v_1, \dots, v_I)$ виконано: якщо $v_i > \lambda_i$, то існує i' таке, що $\lambda_{i'} \leq \lambda_i$, і $v_{i'} < \lambda_{i'}$. В [7] показано, що максимінний критерій є граничним випадком справедливості з використанням послідовності цільових функцій. Застосування цього критерію є найбільш раціональним в разі відсутності передачі екстреної інформації, тобто при функціонуванні СМ як транзитної телекомунікаційної мережі або ж в пасивному режимі.

3.2. Критерій пропорційної справедливості.

При такій формі критерію справедливості, ситуація сприяє потокам, що використовують менше число мережних каналів. Умова такої справедливості зводиться до наступного вигляду:

$$\sum_{i=1}^U \frac{v_i - \lambda_i}{\lambda_i} \leq 0$$

і відповідає логарифмічним цільовим функціям джерел $\Phi_i(\lambda_i) = \log(\lambda_i)$.

Цей критерій раціонально використовувати в разі, коли всі сенсорні мережі несуть інформацію одного рівня цінності. Рекомендується цей критерій застосовувати при роботі СМ у звичайному режимі опитування та періодичному зборі інформації з сенсорів про об'єкти моніторингу.

Критерій пропорційної справедливості з вагами. Умова справедливості виражається аналогічно попередньому, але з вагами: $\sum_{i=1}^U w_i \frac{v_i - \lambda_i}{\lambda_i} \leq 0$. Тут цільові функції – логарифмічні функції з вагами $\Phi_i(\lambda_i) = w_i \log(\lambda_i)$.

3.3. Критерій справедливості у вигляді мінімуму потенційної затримки.

Цьому критерію відповідає цільова функція обернено пропорційна швидкості: $\Phi_i(x_i) = -1/\lambda_i$.

Параметричний клас цільових функцій має вигляд

$$\hat{O}_i(x_i) = \begin{cases} (1-k_i)^{-1} \lambda_i^{1-\alpha}, & k_i \neq 1 \\ \log(\lambda_i), & k_i = 1 \end{cases}. \quad (19)$$

Для коефіцієнта k повинна виконуватися умова $k \geq 0$. Даний критерій включає в себе цільові функції, які відповідають максимінної (при $k \rightarrow \infty$), пропорційній (при $k = \infty$) і мінімуму потенційної затримки (при $k = 2$) формам справедливості. Випадок $k = 0$ відповідає розподілу швидкостей, при якому сумарна пропускна здатність найбільша. Найбільш раціонально застосовувати цей критерій в умовах критичної ситуації – пожежа, аварія, проникнення на територію об'єкту, що охороняється і т.д, коли екстрена інформація буде мати найвищий пріоритет на передачу, але і для іншого трафіку також вироблена певна смуга пропускання. Цей критерій характерний для сенсорної мережі, що функціонує в робочому режимі.

4. Висновки

У даній статті показано можливість виконання «принципу справедливості» для різних режимів роботи сенсорної мережі. У роботі проаналізовано кілька варіантів реалізації принципу справедливості, які можуть бути використанні в сенсорних мережах, а саме: максимінний критерій справедливості, критерій пропорційної справедливості, критерій пропорційної справедливості з вагами, критерій справедливості у вигляді мінімуму потенційної затримки.

Список використаної літератури

1. Lysenko O.I. A Method of Control of Telecommunication Airsystems for the Wireless AD HOC Networks Optimization / O.I. Lysenko, S.V. Valuiskyi, O.M. Tachinina, S.L. Danylyuk // 2015 IEEE 3rd International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD): Proceedings. – 2015. – Pp. 182 – 185.

2. Новіков В.І. Доставка повільного трафіку в сенсорній мережі з самоорганізацією / В.І. Новіков, В.А. Воловик // Науковий вісник Академії муніципального управління. Збірник наукових праць. Серія «Техніка». – 2015. – Вип.9. – С. 136 – 141.
3. Довженко Н.М. Аналіз методів підвищення пропускної здатності сенсорних мереж та способів забезпечення достовірності інформації / Н.М. Довженко // Сучасний захист інформації. – 2018. – Вип. №3 (35). – С.58-63
4. Довженко Н.М. Розробка математичної моделі динаміки функціонування сенсорної мереж / Н.М. Довженко, О.В.Барабаш, М.О.Коваль // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2017. – Вип. № 58. – С. 74 – 80.
5. Кучерявый Е.А. Принципы построения сенсоров и беспроводных сенсорных сетей / Е.А. Кучерявый, С.А. Молчан, В.В. Кондратьев // Электросвязь. – 2006. № 6.
6. Горяева С.Н. Особенности построения сенсорных сетей / С.Н. Горяева // 2-а міжнародна наукова конференція «Сучасні інформаційні системи. Проліми та тенденції розвитку.»: Зб. матеріалів конференції — Х.: ХНУРЕ, – 2007. – С. 145—146.
7. Галелюка І.Б. Моделювання бездротових сенсорних мереж / І.Б. Галелюка // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2015. – № 14. – С. 141 – 150.

References

1. Lysenko O.I., Valuiskyi S.V., Tachinina O.M., and Danylyuk S.L. “A Method of Control of Telecommunication Airsystems for the Wireless AD HOC Networks Optimization.” *IEEE 3rd International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD): Proceedings* (2015):182 – 185. Print.
2. Novikov V.I., and Volovyk V.A. “Delivery of slow traffic on the sensor network with self-organization.” *Scientific Bulletin of the Academy of Municipal Administration. Collection of scientific works. Technique series*, Vol.9 (2015): 136 – 141. Print.
3. Dovzhenko N. M. “Analysis of methods for increasing bandwidth sensory networks and ways to ensure the reliability of information.” *Modern protection of information*, 3 (35) (2018): 58-63. Print.
4. Dovzhenko N. M., Barabash O.V., and Koval M.O. “Development of mathematical model of dynamics of functioning of sensor networks.” *Collection of scientific works of the Military Institute of the Taras Shevchenko National University of Kyiv, VIKNU*, 58 (2017): 74-80. Print.
5. Kucheryavyy E.A., Molchan S.A., and Kondratev V.V. “Principles of building sensors and wireless sensor networks.” *Elektrosvyaz*. 6 (2006). Print.
6. Goryaeva S.N. “Features of building sensor networks.” *2nd International Scientific Conference "Modern Information Systems. Challenges and Trends »: Conference Proceedings HNURE* (2007): 145—146. Print.
7. Galeljuka I.B. “Simulation of wireless sensor networks.” *Computers, networks, and systems systemy* 14 (2015): 141 – 150. Print.

Автори статті (Authors of the article)

Довженко Надія Михайлівна – к.т.н., доцент кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки. (Dovzhenko Nadiia Mykhailivna – PhD, Associate Professor of the Department of Information and Cybersecurity). Phone: +380(63)863 97 30. E-mail: nadezhdadovzhenko@gmail.com

Собчук Валентин Володимирович – к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри вищої математики (Sobchuk Valentyn V. – PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics). Phone: +380(44) 249 25 03. E-mail: kafedrvm@ukr.net

Коваль Мирослав Олександрович – ад'юнкт Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Koval Myroslav Oleksandrovych – Associate at the Taras Shevchenko National University of Kyiv).