

НЕЙРО-НЕЧІТКА МОДЕЛЬ ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ ВІКОН ПРОЗОРОСТІ В ТЕРАГЕРЦОВОМУ ДІАПАЗОНІ

На основі розробленої функціональної моделі процесів вибору значень параметрів вікон прозорості для безпроводних мереж 4-го і 5-го покоління запропоновано методику побудови нейро-нечітких систем з застосуванням алгоритмів нечіткого висновку Сугено 0-го і 1-го порядків для оптимального вибору значень параметрів вікон прозорості в терагерцовому діапазоні.

Ключові слова: нейро-нечіткі системи, терагерцовий діапазон, вікна прозорості, алгоритми нечіткого висновку.

Saiko V. H., Kazimirenko V. Ya., Lysenko D. O., Hryshchenko L. M. Neuro-fuzzy model for selection of transmission windows parameters in terahertz range In this paper the functional model of rational choice processes of the transmission windows parameters of a terahertz range from the system approach positions is given. It presents the interrelations reflecting the influence of various processes and factors to the values characterizing: the probabilities of the correct reception of a multi frequency radio communication system for each value of the threshold value; channel capacity; communication range for these windows; the bandwidth widths of the transmission windows. The proposed model allowed to validate the application of the neuro-fuzzy systems for new generation mobile networks to select the values of the transmission windows parameters.

Neuro-fuzzy systems that are used to select the values of the transmission windows parameters of the terahertz range for new-generation wireless networks are proposed to be created on the basis of the application of the 0th and 1st orders Sugeno fuzzy logic algorithms.

Keywords: neuro-fuzzy systems, terahertz range, transmission windows, fuzzy logic algorithms.

1. Вступ. Основними вимогами, що пред'являються до мобільних систем радіозв'язку нового покоління, є висока швидкість і надійність передавання даних великій кількості користувачів в складних умовах поширення сигналів. Для практичної реалізації цих вимог розробники здебільшого приділяють велику увагу найбільш перспективним шляхам побудови мереж мобільного зв'язку 4G і 5G з використанням телекомунікаційних систем цифрового радіозв'язку терагерцового діапазону [1,2].

Найбільш придатними для мобільних телекомунікаційних систем в терагерцовому діапазоні є вікна прозорості, які можна визначити за певним рівнем загасання. Згідно з [3] таким граничним рівнем може бути 100 дБ/км. Тоді можна створити п'ять вікон прозорості, у смугах яких пропускна здатність терагерцового діапазону може досягати сотень Гбіт/с. Причому, чим менша відстань радіотраси, тим меншого впливу зовнішніх факторів і тим більшої пропускної здатності можна досягати.

У [4] запропоновано спосіб вибору вікон прозорості на основі оцінювання коефіцієнта перепускання середовища шляхом позбавлення від молекулярної абсорбції. Він дозволяє знайти компроміси між відношенням сигнал/шум, пропускною спроможністю каналу і пропускною здатністю. Суттєвим недоліком визначення вікон прозорості у такий спосіб є те, що за фіксованого граничного рівня порогу коефіцієнт використання радіоканалу, який визначається відношенням часу передавання даних в переривчастому зв'язку до загального часу сеансу зв'язку, буде змінним і, відповідно, ефективність використання вікна прозорості також буде змінною.

У [5] на основі ймовірної моделі запропоновано спосіб зниження ймовірності помилкового приймання даних в радіоканалах терагерцового діапазону, який дозволить забезпечити оптимальний вибір частотних діапазонів або вікон прозорості. У залежності від вимог необхідних додатків можна зробити раціональний вибір параметрів радіосистем, які відповідатимуть критеріям пропускної здатності і дальності зв'язку цих додатків. Однак автори приділили дуже мало уваги питанням моделювання на основі розробленого способу.

Метою статті є розробка моделі управління вибором оптимальних вікон прозорості для підвищення ефективності їх використання в терагерцовому діапазоні багаточастотної системи радіозв'язку при забезпеченні необхідної якості приймання.

2. Функціональна модель процесів вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління. Виділити об'єкт розробки із зовнішнього середовища, визначити набір його функцій і описати взаємодію його елементів дозволяє функціональна модель процесів вибору параметрів вікна прозорості для мереж нового покоління, блок-схема якої представлена на рис. 1.

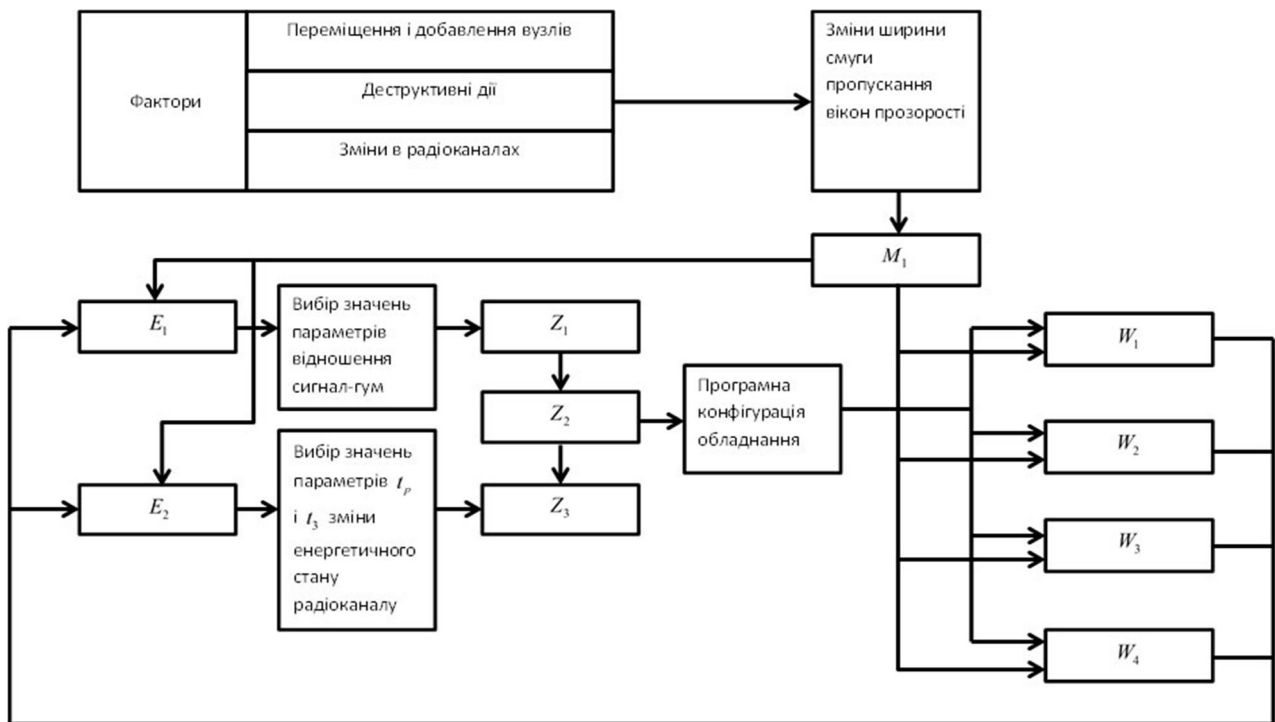


Рис. 1. Блок-схема функціональної моделі процесів вибору параметрів вікна прозорості для мереж нового покоління

Специфіка вибору параметрів вікна прозорості в першу чергу визначається наступними процесами [5]:

1. Вибір параметрів вимірювання відношення сигнал-шум Z_o для кожного активного в даний момент часу радіоканалу.

2. Вибір параметрів вимірювання квазіперіодів t_p і t_3 зміни енергетичного стану радіоканалу, де t_p і t_3 відповідно середні тривалості інтервалів стійкої роботи каналу і завмирань сигналу на граничному рівні A_{gp} (A_{gp} – граничне значення рівня сигналу, що приймається, відносно величин чутливості приймача та рівня зовнішніх адаптивних радіозавад).

3. Вибір оптимального значення порогової величини k_{opt} як порогової величини, за якої значення результуючої ймовірності правильного приймання пакету багато частотної системи радіозв'язку є максимальним.

Вказані процеси є елементами модельованого об'єкту. Інші процеси в моделі постають в якості зовнішнього середовища по відношенню до досліджуваного об'єкту. Процеси вибору значень параметрів ширини вікна прозорості терагерцового діапазону безпосередньо не

взаємодіють один з одним. Їх взаємний вплив проявляється через взаємодію з іншими процесами.

Відповідно до принципу невизначеності системного підходу дана функціональна модель враховує вплив на досліджуваний об'єкт невизначеностей і випадковостей, обумовлений наявністю зовнішніх чинників:

- мобільності вузлів;
- деструктивних зовнішніх дій;
- динамічних змін характеристик терагерцового радіоканалу.

Динамічність топології мобільних мереж нового покоління, зовнішні деструктивні дії і зміни характеристик частотно-селективних властивостей каналу призводять до випадкової зміни пропускної спроможності і характеристик частотного спектру, що також є важливою особливістю мереж LTEAdvanced і Інтернет речей.

Вплив перелічених вище чинників на процеси вибору параметрів вікон прозорості в мобільних мережах нового покоління враховує наступні величини множини G :

μ_1 – величини, що характеризують зміни характеристик каналу в мобільних мережах нового покоління, обумовлені впливом зовнішніх і внутрішньо системних чинників.

У процесах при виборі параметрів вікна прозорості каналу в мережах нового покоління використовується множина вхідних величин \emptyset :

ε_1 – величини, що характеризують динамічний діапазон зміни відношення сигнал/шум;

ε_2 – величини, що характеризують середні тривалості інтервалів стійкої роботи каналу і завмирань сигналу на граничному рівні.

Вибір значень параметрів вікон прозорості зводиться до отримання наступних вихідних величин Z :

z_1 – значення відношення сигнал/шум;

z_2 – значення квазіперіодів t_p і t_s зміни енергетичного стану радіоканалу;

z_3 – значення порогової величини k_{opt} , де $k = A / A_o$; A, A_o – відповідний поточний (що приймається) і середній рівень сигналу.

Ефективність вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж 4-го і 5-го поколінь характеризує наступний набір величин W (приватні показники):

w_1 – величини, що характеризують значення ймовірності *правильного приймання пакета багаточастотної* системи радіозв'язку для кожного значення порогової величини;

w_2 – величини, що характеризують значення пропускної здатності каналу;

w_3 – величини, що характеризують значення дальності зв'язку для цих вікон;

w_4 – величини, що характеризують значення ширини смуги пропускання вікон прозорості.

Наявність в моделі великого числа зв'язків, взаємних залежностей і замкнутих контурів свідчить про складний характер взаємодії аналізованих процесів.

Значення показників $w_1 \dots w_4$ залежать від численних чинників:

- мобільності вузлів;
- деструктивних зовнішніх дій;
- оперативного додавання до мережі нових вузлів;
- особливості реалізації процесів вимірювання рівнів відношення сигнал/шум;
- особливості реалізації процесів вимірювання середньої тривалості інтервалів стійкої роботи радіоканалу і завмирання сигналу на граничному рівні;
- особливості динаміки зміни характеристик терагерцового радіоканалу.

З часом вплив вказаних чинників випадковим чином посилюється або послаблюється, стохастичним чином змінюються значення перелічених вище характеристик. Зважаючи на наявність в даній моделі численних складних і випадкових взаємозв'язків, виявити і

формалізувати закономірності, що точно відображають залежності шуканих вихідних величин $w^1 \dots w^4$ від наявних значень вхідних величин, не є можливим. Тому велике значення має правильний вибір наукового апарату, на основі якого доцільно здійснювати вибір значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління.

Ефективним засобом в таких умовах є застосування систем нечіткого висновку [6]. Основна перевага таких систем полягає в здатності використовувати умови і методи вирішення завдань, описаних на мові, близькій до природної. Центральне місце в процедурах нечіткого висновку займає база правил нечітких продукцій. Однак, відомо, що класичним системам з нечіткою логікою, не здатним автоматично навчатися, властивий істотний недолік, який полягає в тому, що набір нечітких правил, вид і параметри функцій приналежності, що описують вхідні і вихідні змінні системи, а також вид алгоритму нечіткого висновку вибираються суб'єктивно експертом-людиною, тому вони можуть бути не достатньо адекватними дійсності.

Для усунення зазначених недоліків використовують апарат нейро-нечітких систем [7,8]. Нечітка нейронна мережа – це багатошарова мережа, в якій шари виконують функції елементів системи нечіткого висновку. Фактично це є гібридна мережа, що об'єднує в собі переваги нейронних мереж і систем нечіткого висновку. Тому доцільно застосувати ці гібридні інтелектуальні системи з метою вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління.

Тоді основними функціями, що виконуються в процесі нейро-нечіткого вибору значень вікон прозорості терагерцового діапазону, будуть: вимірювання значень вхідних величин процесів вибору значень параметрів вікон прозорості, обчислення значень змінних систем нейро-нечіткого вибору значень вікон прозорості, нейро-нечіткий висновок, обчислення значень вихідних величин процесу вибору значень вікон прозорості для мереж нового покоління. Найбільш складною функцією нейро-нечіткого висновку, що включає процедури фазифікації, агрегації, активізації і дефазифікації.

3. Узагальнені моделі нейро-нечітких систем вибору значень вікон прозорості

В процесі нейро-нечіткого вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління повинні виконуватися наступні функції:

$$U = \{U, U^x, U^y, U^z\}, \quad (1)$$

де U^e – вимірювання вхідних величин $\emptyset = \{Z_{\varepsilon_b}\}$ процесу вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління (b – номер вхідної величини, $b = 1, 2 \dots, B$); U^x – обчислення величин $X = \{X_m^l\}$, тобто вхідних змінних систем нейро-нечіткого вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління (m – номер системи нейро-нечіткого висновку, $m = 1, 2 \dots, M$; l – номер вхідної змінної, $l = 1, 2 \dots, n_m$); U^y – отримання величин $Y = \{Y_m\}$, тобто вихідних змінних систем нейро-нечіткого вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління (нейро-нечіткий висновок); U^z – обчислення вихідних величин $Z = \{Z_m\}$ процесу вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління.

Найбільш складною функцією є U^y функція нейро-нечіткого висновку. Склад процедур, що виконуються в процесі нейро-нечіткого висновку, залежить від використовуваного алгоритму нечіткого висновку. Одними з найбільш простих алгоритмів нечіткого висновку є алгоритми Сугено нульового і першого порядків [9]. Відповідно до цих алгоритмів виконання нейро-нечіткого висновку в процесі вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління ґрунтується на застосуванні бази нечітких правил. Структура узагальненої моделі нейро-нечітких систем вибору значень параметрів вікон прозорості для

мереж нового покоління, основана на застосуванні алгоритму нечіткого висновку Сугено нульового порядку (модель СУГЕНО-О), буде складатись з чотирьох шарів:

– *Шар 1* здійснює фазифікацію. Фазифікація (приведення до нечіткості) полягає в тому, що для конкретних значень вхідних змінних X_m^l обчислюються величини $\mu_m^{1,1}, \dots, \mu_m^{1,2}, \dots, \mu_m^{1,j}, \dots, \mu_m^{1,k_m^1}, \dots, \mu_m^{2,1}, \dots, \mu_m^{2,2}, \dots, \mu_m^{2,j}, \dots, \mu_m^{2,k_m^2}, \dots, \mu_m^{l,1}, \dots, \mu_m^{l,2}, \dots, \mu_m^{l,j}, \dots, \mu_m^{l,k_m^l}, \dots, \mu_m^{n_m,1}, \dots, \mu_m^{n_m,2}$ значення функції приналежності вхідних змінних відповідним термам. Тут $\mu_m^{l,j}$ – значення функції приналежності вхідної змінної X_m^l терму номер j .

– *Шар 2* виконує процедуру агрегування. Агрегування – обчислення ступеня істинності умов кожного нечіткого правила при конкретних значеннях вхідних змінних:

$$\begin{cases} G_m^1 = \mu_m^{1,2} \wedge \mu_m^{2,1} \wedge \dots \wedge \mu_m^{/1} \wedge \mu_m^{n_m,1}; \\ G_m^2 = \mu_m^{1,2} \wedge \mu_m^{2,1} \wedge \dots \wedge \mu_m^{/1} \wedge \mu_m^{n_m,1}; \\ G_m^r = \mu_m^{1,2} \wedge \mu_m^{2,/} \wedge \dots \wedge \mu_m^{/j} \wedge \mu_m^{n_m,j}; \\ G_m^{R_m} = \mu_m^{1,k_m^1} \wedge \mu_m^{2,k_m^2} \wedge \dots \wedge \mu_m^{/,k_m^l} \wedge \mu_m^{n_m,k_m^{n_m}}; \end{cases} \quad (2)$$

де \wedge – позначення операції логічного мінімуму.

– *Шар 3* виконує процедуру активізації і частину процедури дефазифікації – зважене підсумовування результатів агрегування:

$$\circ \sum_{r,1}^{R_m} G_m^r J_m^r, \quad (3)$$

а також підсумовування результатів агрегування: $\sum_{r,1}^{R_m} G_m^r$; де J_m^r – індивідуальний висновок нечіткого правила номер r нейро-нечіткої системи номер m .

При цьому $r = 1, 2, \dots, R_m$, де кількість нечітких правил $R = k^1, k^2, \dots, k^m$.

Якщо для кожної вхідної змінної використовується однакова кількість термів, тобто $k_m^1 = k_m^2 = \dots = k_m^{n_m} = k_m$, то $R_m = (k_m)^{n_m}$.

– *Шар 4* призначений для здійснення завершальної частини процедури дефазифікації ділення результатів функціонування 3-го шару. Дефазифікація – визначення чіткого значення вихідний змінної. Відповідно до методу центру тяжіння для одноточкових множин результат дефазифікації визначається за формулою:

$$Y_m = \frac{\sum_{r,1}^{R_m} G_m^r J_m^r}{\sum_{r,1}^{R_m} G_m^r}. \quad (5)$$

На основі вище запропонованих моделей пропонується здійснювати синтез нейро-нечітких систем вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління. Для цього рекомендується використовувати наступні етапи:

1. Визначення вхідних і вихідних величин нечіткої нейронної мережі.
2. Вибір алгоритму нечіткого висновку.
3. Визначення функцій приналежності для вхідних величин:
 - вибір кількості функцій приналежності;
 - вибір форми функцій приналежності.
4. Вибір алгоритму навчання нечіткої нейронної мережі.

5. Створення навчальної вибірки для налагодження параметрів нечіткої нейронної мережі.

6. Вибір кількості циклів для навчання нечіткої нейронної мережі.

7. Налагодження параметрів (навчання) нечіткої нейронної мережі.

4. Висновки:

1. Нейро-нечіткі системи, що служать для вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління, запропоновано створювати на основі застосування алгоритмів нечіткого висновку Сугено 0-го і 1-го порядків. Залежно від вибору алгоритму нечіткого висновку узагальнені моделі систем, що синтезуються, структурно складаються з чотирьох або п'яти нейронних шарів.

2. Алгоритм побудови нейро-нечітких систем, що служать для вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління, включає наступні етапи: визначення вхідних і вихідних величин нечіткої нейронної мережі, вибір алгоритму нечіткого висновку, визначення функцій приналежності для вхідних величин, вибір алгоритму навчання нечіткої нейронної мережі, створення навчальної вибірки для налагодження параметрів нечіткої нейронної мережі, вибір кількості циклів для навчання нейро-нечіткої системи, налагодження параметрів (навчання) нейро-нечіткої системи.

Список використаної літератури

1. Сайко, В. Г. Використання розподілених транспортних радіомереж терагерцового діапазону в рамках побудови мереж мобільного зв'язку нового покоління [Текст] / В. Г. Сайко, Т. М. Наритник, В. Я. Казіміренко, Л. В. Дакова, Л. М. Грищенко, В. І. Кравченко // Зв'язок. – 2016. – № 6. – С. 16-21.

2. Ильченко, М. Е. Самоорганизующиеся радиосети со сверхширокополосными сигналами [Текст] / М. Е. Ильченко, С. Г. Бунин, А. П. Войтер, В. А. Романюк. – Київ : «Наукова думка». – 2013. – С. 444.

3. Grigat, M. Link budget considerations for THz Fixed Wireless links [Текст] / M. Grigat // IEEE Trans. on Terahertz science and technology. – 2012. – Vol. 2, No. 2. – P. 567-572.

4. Боронин, П. Н. Анализ пропускной способности и характеристик частотного спектра в сетях связи сверхмалого радиуса действия в терагерцовом диапазоне [Текст] / П. Н. Боронин, Е. Ф. Кучерявый, Д. Ф. Молчанов // Электросвязь. – 2014. – № 11. – С. 18-21.

5. Сайко, В. Г. Метод визначення оптимальних параметрів вікон прозорості в терагерцовому діапазоні [Текст] / В. Г. Сайко, Д. О. Лисенко, Л. М. Грищенко, Л. В. Дакова, В. І. Кравченко // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2017. – № 1. – С. 10-17.

6. Гостев, В. И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления [Текст] / В. И. Гостев. – Київ : «Радиоаматор», 2008. – 972 с.

7. Рудковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рудковская, М. Пилиньский, Д. Рудковский. – Москва: Горячая линия – Телеком. – 2006. – 452 с.

8. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MatLab и FuzzyTech [Текст] / А. В. Леоненков. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.

9. Тархов, Д. А. Нейросетевые модели и алгоритмы [Текст] / Д. А. Тархов. – Москва : Издательство «Радиотехника», 2014. – 352 с.

References

1. Saiko V. H., Narytnyk T. M., Kazimirenko, V. Ya. Dakova, L. V. Hryshchenko L. M., and Kravchenko V. I. (2016). Using of distributed transport radio networks of the terahertz rage under the new generation mobile networks construction. Zviazok, no.6, pp. 16-21.

2. Ilchenko M. E., Bunin S. G., Voiter A. P., and Romanyuk V. A. (2013). Self-organizing radio networks with ultra-wideband signals. Kyiv : Publishing house "Naukova Dumka", Ukraine, 444 p.
3. Grigat M. (2012). Link budget considerations for THz Fixed Wireless links. IEEE Trans. on Terahertz science and technology, vol. 2, no. 2, pp. 567-572.
4. Boronin P. N., Kucheryavij E. A., and Molchanov D. A. (2014). Analysis of the bandwidth and characteristics of the frequency spectrum in the communication networks of ultra-short range in the terahertz range. Elektrosvyaz, no. 11, pp. 18-21.
5. Sayko V. H., Lysenko D. O., Hryshchenko L. M., Dakova L.V., and Kravchenko V. I. (2017). The method for determining optimal parameters of the low-loss transmission windows in terahertz range. Telekomunikatsiyni ta informatsiyni tehnolohii, no. 1, pp. 10-17.
6. Gostev V. I. (2008). Fuzzy regulators in automatic control systems. Kiev: Publishing house "Radiomator", Ukraine, 972 p.
7. Rudkovskaya D., Pilińskij M., and Rudkovskij D. (2006). Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems. Moskva: Goryachaya Liniya-Telecom, Russia, 452 p.
8. Leonenkov A. V. (2003). Fuzzy modeling in MatLab and FuzzyTech. St. Petersburg: Publishing house "BHV-Petersburg", Russia, 736 p.
9. Tarhov D. A. (2014). Neuronetwork models and algorithms. Moskva: Publishing house "Radiotekhnika", Russia, 352 p.

Автори статті

Сайко Володимир Григорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел.: +380 (44) 249 25 04. E-mail: vgsaiko@gmail.com.

Казіміренко Валерій Якович – кандидат технічних наук, доцент кафедри мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел.: +380 (67) 409 71 83. . E-mail: vkazim2@gmail.com

Лисенко Дмитро Олександрович – аспірант кафедри мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел.: +380 (67) 959 02 38. E-mail: lysenko@ucrf.gov.ua.

Грищенко Людмила Миколаївна – завідувач лабораторії, кафедра мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел.: +380 (93) 672 65 40. E-mail: mila_1956@mail.ru.

Authors of the article

Saiko Volodymyr Hryhorovych – doctor of sciences (technical), professor, head of mobile and video informative technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (44) 249 25 04. E-mail: vgsaiko@gmail.com.

KazimirenkoValerii Yakovych – candidate of sciences (technical), associate professor of mobile and video informative technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (67) 409 71 83. . E-mail: vkazim2@gmail.com.

Lysenko Dmytro Oleksandrovych – postgraduate student of mobile and video informative technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (67) 959 02 38. E-mail: lysenko@ucrf.gov.ua.

Hryshchenko Liudmyla Mykolaivna – manager of laboratory, mobile and video informative technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (93) 672 65 40. E-mail: mila_1956@mail.ru.

Дата надходження
в редакцію: 27.04.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор В. А. Дружинін
Державний університет телекомунікацій, Київ