

УДК 004.728.4(045)

І.А. ЖУКОВ, Ю.Ю. ІСКРЕНКО

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕДАЧІ БІТОВОГО ПОТОКУ ШУМОПОДІБНИМИ СИГНАЛАМИ ІЗ ЗАДАНОЮ СИНХРОНІЗАЦІЄЮ

Анотація. Впровадження і використання в роботі аеропортів широкопосмугового бездротового зв'язку при управлінні повітряним рухом транспортних засобів забезпечує підвищення пропускної спроможності і дальності дії під час інтенсивно працюючих операцій з такими даними як навігація та контроль.

Ключові слова: передача мультимедійного трафіка, широкопосмуговий бездротовий зв'язок, шумоподібні сигнали, синхронізація трафіка.

Аннотация. Внедрение и использование в работе аэропортов широкополосной беспроводной связи при управлении воздушным движением транспортных средств, обеспечивает повышение пропускной способности и дальности действия во время интенсивно работающих операций с такими данными как навигация и контроль.

Ключевые слова: передача мультимедийного трафика, широкополосная беспроводная связь, шумоподобные сигналы, синхронизация трафика.

Annotation. Introduction and use in-process of air-ports by broadband wireless networks to control air traffic, provides the increase of bandwidth and distance of action during intensive workings operations with such information as a navigation and control.

Key words: multimedia traffic transmission, broadband wireless network, noise-shaped signals, traffic synchronization.

Вступ

За рахунок великої швидкості передачі інформації, великого радіусу і дальності дії цей підхід здатний зменшити час координації і відгуку повітряних транспортних засобів. Передаючи інформацію шумоподібними сигналами підвищується завадостійкість, тим самим зменшується час затримки передачі інформації під час польоту.

Найбільш перспективним засобом колегіального управління комп'ютерними системами і територіально розподіленими мобільними об'єктами в реальному часі є впровадження бездротових технологій *WiFi* і *WiMAX* [1]. Перша технологія забезпечує передачу бітового потоку в невеликому радіусі, з максимальною швидкістю передачі 2 Мбіт/с. Для цифрової широкопосмугової інтеграції більше підходить друга технологія з радіусом дії до 100 км і швидкістю передачі рівної 50 Мбіт/с [2].

В основу технології *WiMAX* покладена стільникова топологія передачі інформації, де кожна базова станція (БС) соти повинна забезпечувати у рамках соти передачу мультимедійного трафіку (ММТ) із заданою якістю обслуговування *QoS*.

Актуальність

Однією з особливостей процесу функціонування мережі є управління під час виникнення різних конфліктних ситуацій. До конфліктних ситуацій можна віднести найбільш поширені: перевантаження мережі в цілому, що характерно для передачі ММТ в реальному часі; перевантаження її окремих компонентів або сегментів. У запропонованому методі синхронізації при виникненні перевантаження під час роботи мережі виконується розподіл пам'яті і каналів на пріоритетні та не пріоритетні потоки.

Мета

Для колегіального управління в сотах потрібна взаємодія технології *WiMAX*, високонадійних і завадостійких способів передачі між базовими і абонентськими станціями (АС).

Постановка задач

- 1) Оптимізувати пам'ять і канали в комутаційному вузлі певного типу. Синхронізація мультимедійного трафіку;
- 2) Коригувати мультимедійний трафік в умовах появи перешкод, за рахунок розширення спектру і використання шумоподібних сигналів (ШПС).

Розв'язання задач

Синхронізація мультимедійного трафіку при передачі комутаційним вузлом

Відомі два основні компоненти мультимедійного трафіку – аудіо компонент, який повинен передаватися без великих затримок і відео компонент, затримки можливі, але мають бути мінімальні. При використанні цих технологій в процесі колегіального управління повітряним рухом виникає проблема недостатньої пропускної спроможності і дальності дії існуючих систем управління. Для безпечного і ефективного управління повітряним рухом потрібна точна і своєчасна обробка інформації картографічного інтерфейсу на аеродромі, картографічного інтерфейсу смуги посадки, зони очікування; в умовах картографічних траєкторій, що постійно накладаються. Це представлення є вузловим місцем колегіального управління, оскільки і диспетчер, і штурман бачать хто, де, і як здійснює повітряний рух. Результатом виконання є система що підтримує управління великою кількістю об'єктів в більшій зоні дії.

Втрати одного потоку визначаються числом каналів, їх продуктивністю і пам'яттю.

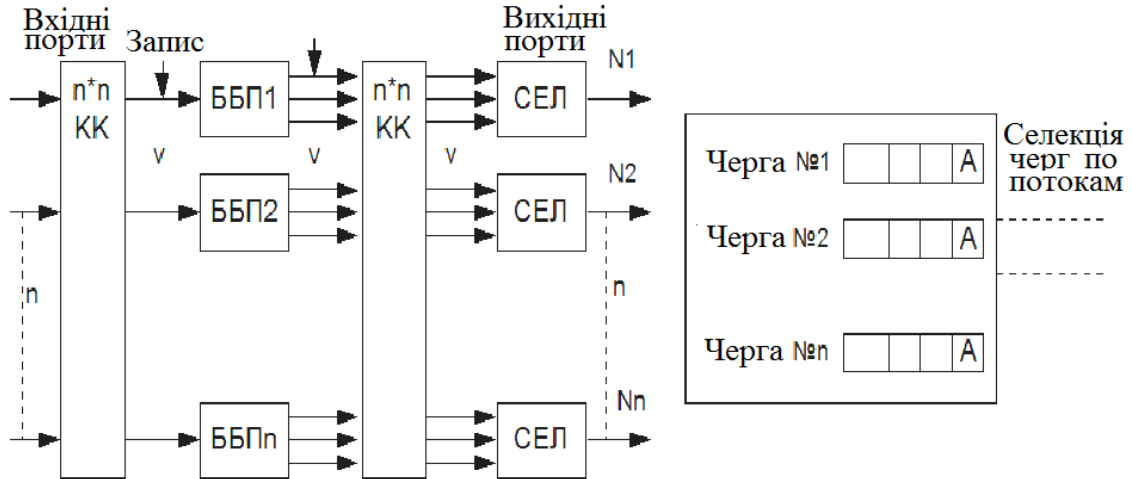


Рисунок 1 – Структурна схема комунікаційного вузла з мультибуферною пам'яттю і системою синхронізації мультимедійного трафіку.

Послідовність розрахунку втрат при передачі ММТ із заданою інтенсивністю виглядає таким чином:

- 1) функціональна структура вузла комутації;
- 2) часова діаграма передачі;
- 3) граф переходу з одного стану в інший;
- 4) система рівнянь.

Для реалізації такого підходу пропонувані вузли з інтенсивностями поступання інформації - λ_1, λ_2 і загальна пам'ять.

У функціональній структурі для синхро передач необхідно вказати для кожного синхронізованого потоку число каналів і елементів пам'яті окремо. Для побудови графіку переходів необхідно побудувати тимчасову діаграму переходів. При цьому має бути визначена функціональна структура синхронної передачі ММТ для пріоритетного потоку λ_1 , числом пам'яті, що не перевищує задану затримку. Для другого непріоритетного потоку, можна збільшити в два рази пам'ять, оскільки затримки не впливають на потік, але в результаті втрат буде менше. Якщо співвідношення λ_1 і λ_2 один до одного, то число каналів може бути однакове, якщо інтенсивність вступу λ_2 в два рази більше, отже, ресурс буде задіяний в два рази більше, тому що відношення λ_1 до $\lambda_2 - 0,5$. Це співвідношення використовується, тому що на вході має бути синхро передаючий потік, який за кількістю компонент, що приймаються, поступається пріоритетному.

Процес синхронізації може бути реалізований у рамках комунікаційного вузла, що складається з блоків мультибуферної пам'яті і набору кресточечних комутаторів (рис. 1) [3]. Після проходження інформаційного потоку через мультибуферну частину вузла інформація поступає в систему синхронізації мультимедійного трафіку, де відбувається її подальший розподіл на пріоритетні і не пріоритетні потоки. Збільшення пам'яті дає можливість не втратити ці пакети, оскільки при зайнятті каналів, пам'ять також зайнята, як наслідок йдуть втрати. Пам'ять зберігається, а продуктивність підвищується за рахунок числа каналів і пропускної спроможності кожного каналу, чим швидше вони працюють, тим менше втрат.

Один з потоків передачі ММТ є пріоритетним і не повинен мати втрат більше допустимого рівня, другий потік - непріоритетний і не повинен мати великих затримок при передачі [4, 5].

У цифровому зв'язку на кожні п'ять посилок контейнерів відео доводиться один аудіо контейнер, для правильної синхронізації необхідно серед інтенсивності вступу відео контейнерів ухлинювати аудіо контейнери, виконуючи цю умову тимчасова діаграма вступу складатиметься з двох інтенсивностей (λ_1 - відео і λ_2 - аудіо). λ_1 відео - втрати мають бути у рамках допустимого значення, λ_2 - має свої вимоги - аудіо трафік не повинен мати великих затримок, вони не мають бути більше допустимих.

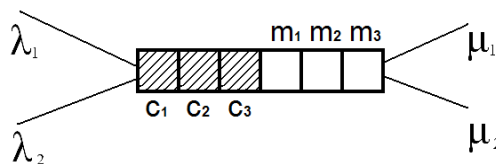


Рисунок 2 – Структура комутатора з трьома каналами передачі і трьома елементами пам'яті.

Запропонований комутаційний вузол в який поступають компоненти ММТ: λ_1 і λ_2 , в цьому вузлі є пам’ять і є декілька каналів, для цього вузла формується тимчасова діаграма. Одна вісь – час, друга – стани (рис. 3).

При формуванні цієї діаграми головним є обчислення виштовхування неперіоритетних компонент у втрати (G), тобто оптимізація роботи системи.

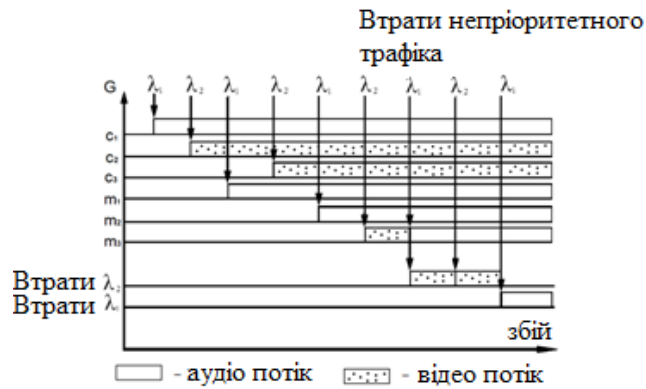


Рисунок 3 – Часова діаграма переходів станів

Послідовно відбувається процес використання усіх каналів і усіх елементів пам’яті до моменту виникнення втрат. Часова діаграма дозволяє отримати граф переходів станів розподілу пам’яті і каналів.

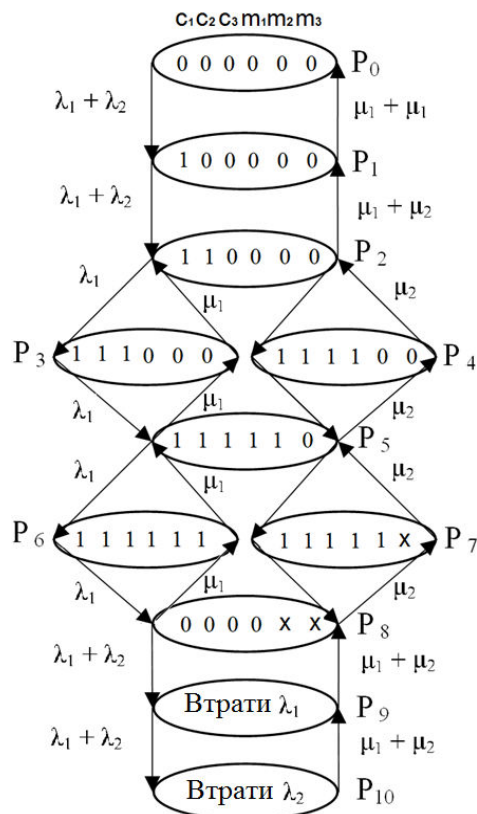


Рисунок 4 – Граф переходу з одного стану в інший.

На основі графа переходів будується система рівнянь, за результатами рішення якої вибирається оптимальне значення. Що дозволяє скласти втрати і отримати коефіцієнт втрат, скласти коефіцієнти передачі і отримати коефіцієнт ефективної передачі без втрат.

$$\begin{cases} -P_0(\lambda_1 + \lambda_2) + P_1(\mu_1 + \mu_2) = 0 \\ P_0(\lambda_1 + \lambda_2) + P_2(\mu_1 + \mu_2) - P_1(\lambda_1 + \lambda_2) - P_1(\mu_1 + \mu_2) = 0 \\ P_1(\lambda_1 + \lambda_2) - P_2(\mu_1 + \mu_2) - \lambda_1 P_2 + \mu_1 P_3 - \lambda_2 P_2 + \mu_2 P_4 = 0 \\ \lambda_1 P_2 - \mu_1 P_3 - \lambda_1 P_3 + \mu_1 P_5 = 0 \\ \lambda_2 P_2 - \lambda_2 P_4 + \mu_2 P_5 - \mu_2 P_4 = 0 \\ \lambda_1 P_3 - \mu_1 P_5 + \lambda_2 P_4 - \mu_2 P_5 - \lambda_1 P_5 + \mu_1 P_6 - \lambda_2 P_5 + \mu_2 P_7 = 0 \\ \lambda_1 P_5 - \mu_1 P_6 - \lambda_1 P_6 + \mu_1 P_8 = 0 \\ \lambda_2 P_5 - \mu_2 P_7 - \lambda_2 P_7 + \mu_2 P_8 = 0 \\ \lambda_1 P_6 - \mu_1 P_8 + \lambda_2 P_7 - \mu_2 P_8 - P_8(\lambda_1 + \lambda_2) + P_9(\mu_1 + \mu_2) = 0 \\ P_8(\lambda_1 + \lambda_2) - P_9(\mu_1 + \mu_2) - P_9(\lambda_1 + \lambda_2) + P_{10}(\mu_1 + \mu_2) = 0 \\ P_9(\lambda_1 + \lambda_2) - P_{10}(\mu_1 + \mu_2) = 0 \end{cases}$$

Для знаходження значень матриці великої розмірності, вона була розбита на дві частини.

При постійних: λ_2, μ_1, μ_2 .

При $\lambda_2 = 0,2, \mu_1 = 0,5, \mu_2 = 1; n_1 = \lambda_1, n_2 = \lambda_2, m_1 = \mu_1, m_2 = \mu_2$.

Second system $n1 := 0,1, n2 := 0,1, m1 := 0,1, m2 := 0,1; K := n1 + n2 + m1 + m2$.

Інтенсивності вступу інформації відомі та змінюються для знаходження оптимального значення та опису побудови матриці, складеної на основі системи рівнянь (1). Розрахунки виконуються системою комп'ютерної алгебри *MathCad*:

Замінюючи значення одного рівняння системи рівнянь на одиницю відбувається обчислення і розрахунок результатів :

$A2 := \text{stack}(A21, A22) \text{ rank}(A2) = 11;$

$P2 := \text{lsolve}(A2, B2).$

$$A21 := \begin{bmatrix} -(n1+n2) & m1+m2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ n1+n2 & -K & m1+m2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & n1+n2 & -K & m1 & m2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & n1 & -(n1+m1) & 0 & m1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & n2 & 0 & -(n2+m2) & m2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & n1 & n2 & -K & m1 & m2 \end{bmatrix}$$

$$A22 := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & n1 & -(n1+m1) & 0 & m1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & n2 & 0 & -(n2+m2) & m2 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & n1+n2 & -K & m1+m2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & n1+n2 & -(m1+m2) \end{bmatrix}$$

Після обчислень отримуємо наступний результат кожного стану запропонованої системи:

$P2_0 = 0,795; P2_1 = 0,159; P2_2 = 0,032; P2_3 = 0,06358; P2_4 = 0,0636; P2_5 = 0,01272; P2_6 = 0,002543;$

$P2_7 = 0,00255; P2_8 = 0,0005086; P2_9 = 0,0001017; P2_{10} = 0,00002034;$

Наступним кроком є побудова графіку залежності λ_1 від P , при різних значеннях λ_1 вибирається одне значення P , наприклад при $\lambda_1 = 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1$.

Приклад розрахунку одного зі значень при $\lambda_1 = 0,2$ представимо у вигляді:

$P2_0 = 0,721; P2_1 = 0,192; P2_2 = 0,051; P2_3 = 0,017; P2_4 = 0,012; P2_5 = 0,03896; P2_6 = 0,01324; P2_7 = 0,00896;$

$P2_8 = 0,002961; P2_9 = 0,0007895; P2_{10} = 0,0002105;$

Міняючи одну з інтенсивностей передачі або інтенсивність вступу, можна зробити висновок про значення μ і λ . При $\mu = 1$ (незадовільне), $\lambda = 2$ (буде дуже багато втрат), якщо навпаки, то результат покращується. Підставляючи $P5$, при різних значеннях, будується графік:

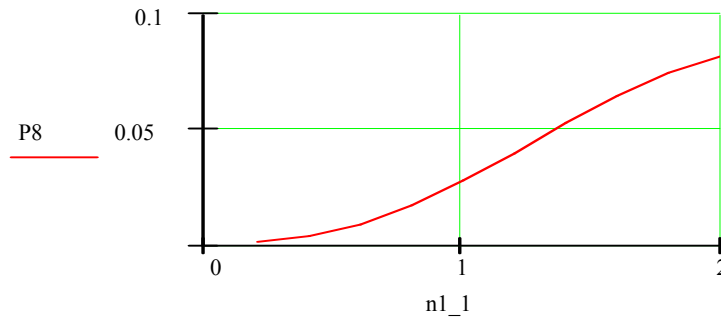


Рисунок 5 – Графік залежності втрат пріоритетного і не пріоритетного трафіків.

Формування пакету передачі бітового потоку по радіоспектру

Стандарт 802.16 на фізичному рівні використовує технологію *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)*.

У специфікації для вказівки різної тривалості по осі часу використовується поняття тимчасової одиниці $TS = 1/(15000 \times 2048)$ с. Передача радіоканалом здійснюється кадрами завдовжки $T_f = 307200 \times TS = 10$ мс. При цьому підтримуються дві структури кадрів. Одна - для випадку частотного дуплексу (*Frequency Division Duplex, FDD*), інша - для часового дуплексу (*Time Division Duplex, TDD*) [6, 7].

Структура кадрів. Спочатку розглядається кадр для випадку *FDD*. Кожен кадр (рис. 6) складається з 20 слотів завдовжки $T_{slot} = 0.5$ мс, які пронумеровані від 0 до 19. Окрім цього, виділяється поняття підкадру, який складається з двох сусідніх слотів, тобто підкадр з номером i включає слоти з номерами $2i$ і $2i+1$.

У разі *FDD* низхідний (*downlink*) і вхідний (*uplink*) канали передаються на різних частотах, тому в кожному 10 мс інтервалі часу є 10 підкадрів для "завантаження" і 10 підкадрів для "вигрузки".

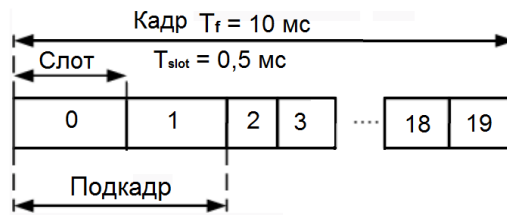


Рисунок 6 – Структура кадру при *FDD* передачі.

Розглянемо кадр для випадку *TDD*. При тимчасовому дублексуванні каналів кадр ділиться на низхідний і вихідний субкадри (їх співвідношення може гнучко змінюватися в процесі роботи, залежно від необхідної смуги пропускання для низхідних і вихідних каналів). Розділені спеціальним інтервалом (рис. 7). У низхідному каналі інформація від базової станції передається у вигляді послідовності пакетів [2]. Дані про параметри пакету, його довжину, момент початку передачі, а також про його приналежність до певного з'єднання містяться в карті низхідного каналу *DL - MAP*. Цей випадок представлено на рис. 7 [2]:

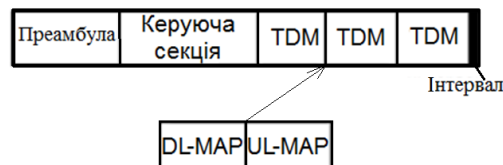


Рисунок 7 – Структура кадру при *TDD* передачі.

Після розгляду формування кадрів технології *WIMAX*, можливе застосування шумоподібних сигналів чисельними послідовностями Баркера для їх передачі. Для цього необхідно, щоб бітовий потік мав службову інформацію. Бітовий потік повинен передаватися невеликими посилками (кадрами) за допомогою перешкод кодових чисельних послідовностей Баркера. Знаючи розмір передаваного кадру, можна розрахувати ширину смуги частот по Баркеру.

Існують наступні чисельні послідовності Баркера, приведені в таблиці [8]:

Спектр кодової послідовності. Амплітудний спектр $|H(x)|$ кодової послідовності знаходиться безпосередньо з виразу [8]:

$$|H(\omega)| = \sqrt{\sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^N a_n a_k \cos(n-k)\omega\tau_0}.$$

Таблиця. Кодові послідовності Баркера.

№	A_n при n													R_{2l}
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
3	1	1	-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1/3
4	1	1	-1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+1/4
5	1	1	1	-1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1/5
7	1	1	1	-1	-1	1	-1	-	-	-	-	-	-	-1/7
11	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-	-	-1/11
13	1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	1/13

Енергетичний спектр кодової послідовності Баркера $R(\mu) = 1/N$ описується виразом:

$$|H(x)|^2 = N \left(1 - \frac{1}{N} + \frac{1}{N} \frac{\sin N x}{x} \right).$$

При $R(\mu) = -1/N$

$$|H(x)|^2 = N \left(1 + \frac{1}{N} - \frac{1}{N} \frac{\sin N x}{x} \right).$$

Інформація передається передавачами таким чином, що байт розкладається та передається і в цей же потік вступають перешкоди, при отриманні сигнали перетворюються і фільтруються приймачами.

Висновки

Обґрунтовані вимоги передачі мультимедійного трафіку потоком пакетів при використанні технології *WIMAX*, які визначають оптимальне значення λ_1 і λ_2 , а також оптимальне значення пам'яті і рівень продуктивності, необхідний для надійної передачі.

Розрахована точність синхронізації ММТ для певної швидкості передачі (λ_1 - пріоритетний, λ_2 - непріоритетний, пам'ять - певне значення) і смуги пропускання. Смуга залежатиме від того з якою інтенсивністю передається інформація шумоподібними сигналами.

Розглянуто рішення завдань, пов'язаних зі знаходженням оптимального розподілу ресурсів пам'яті і каналів на комутаційному вузлі запропонованого типу [3], в якому можна передавати стійкий ШПС.

Список літератури

1. Вишне夫斯基 В.М., Ляхов А.И. Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
2. Вишне夫斯基 В. Энциклопедия WIMAX. Путь к 4G. – М.: Техносфера, 2009. – 470 с.
3. Ластовченко М.М., Ярошенко В.Н., Биляк В.И. Математические аспекты проектирования интеллектуальных коммутационных систем передачи ММТ // Математ. машины и системы. – 2001. – № 6. – С. 56-69.
4. Радченко Ю.С., Радченко Т.А. Эффективность кодового разделения сигналов с неизвестным временем прихода // Труды междунар. конф. Радиолокация, навигация, связь. – 1999. – С. 507-514.
5. Баскадов С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высш. шк., 2000. – 462 с.
6. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.
7. Ратынский М.В. Основы сотовой связи. – М.: Радио и связь, 1998. – 248 с.
8. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.

Відомості про авторів

Жуков Ігор Анатолійович – завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж, Національний Авіаційний університет, пр. Комарова 1, м. Київ, 03058, тел. (044)-406-76-78.

Іскренко Юрій Юрійович – аспірант кафедри комп'ютерних систем та мереж, Національний Авіаційний університет, пр. Комарова 1, м. Київ, 03058, тел. -099-051-37-49, e-mail: iskra2008@gmail.com.