

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗПОДІЛЕННЯ РЕСУРСІВ В СИСТЕМАХ  
МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ****Федін В. Ф., Сокол Г. В., Польщиків К. А., Балашова Я. А.**

Представлен анализ методов распределения ресурсов в системах мобильной связи. Рассмотрена эффективность сотовых систем связи, обоснована ее зависимость от выбора метода доступа к ресурсам системы связи, отношения сигнал/шум и размера кластера. Проанализирована эффективность методов доступа к ресурсам базовой станции, которые используются в современных системах мобильной связи. Предложена оценка эффективности сотовых систем связи согласно выбранным критериям и варианты использования сотовых систем связи в зависимости от размеров обслуживаемых территорий.

Представлений аналіз методів розподілу ресурсів в системах мобільного зв'язку. Розглянуто ефективність сотових систем зв'язку, обґрунтована її залежність від вибору методу доступу до ресурсів системи зв'язку, відношення сигнал/шум та розміру кластера. Проаналізовано ефективність методів доступу до ресурсів базової станції, які використовуються в сучасних системах мобільного зв'язку. Запропоновано оцінку ефективності сотових систем зв'язку згідно вибраним критеріям та варіанти використання сотових систем зв'язку в залежності від розмірів територій, які обслуговуються.

The analysis of methods of resources allocation in mobile communication networks is presented. The paper considers the efficiency of cellular communication systems, justified its dependence on the method of access to the resources of the communication system, the signal/noise ratio and the size of the cluster. The efficiency of the methods of access to the resources of the base station, which are used in modern mobile communication systems. Evaluation of cellular communication systems for your criteria and options for the use of cellular communication systems, depending on the size of the service area is proposed.

Федін В. Ф.

канд. техн. наук, доц. ПолтНТУ

Сокол Г. В.

канд. техн. наук, доц. ПолтНТУ  
SokolGalina@mail.ru

Польщиків К. А.

канд. техн. наук, доц. каф. КИТ ДГМА  
konspol@rambler.ru

Балашова Я. А.

студент ПолтНТУ  
woshalab@mail.ru

ПолтНТУ – Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 621.396.9

Федін В. Ф., Сокол Г. В., Польщиков К. А., Балашова Я. А.

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗПОДІЛЕННЯ РЕСУРСІВ В СИСТЕМАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

В даний час в телекомунікаційних мережах велика увага приділяється стільниковим системам зв'язку. Ефективність роботи стільникових систем зв'язку істотно залежить від вибору методу доступу до ресурсів системи. Тому актуальною є задача аналізу та оцінки ефективності методів доступу до ресурсів базової станції які використовуються в сучасних системах мобільного зв'язку.

Ресурс зв'язку представляє собою час і ширину спектру, які виділяються для передачі сигналу у відповідній системі. Для підвищення ефективності системи зв'язку необхідно спланувати розподіл ресурсу між споживачами системи, так щоб доступний ресурс зв'язку використовувався максимально. Результатом такого планування повинен бути рівноправний доступ споживачів до ресурсів.

Існує три основні способи збільшення пропускної спроможності (загальної швидкості передачі даних) систем мобільного зв'язку [1, 2]. Перший полягає у збільшенні ефективної ізотропно-випромінюючої потужності передавача або у зниженні втрат системи. Другий спосіб – збільшення ширини смуги частот каналу. Третій спосіб, полягає в підвищенні ефективності розділу ресурсу зв'язку. Одна із можливих реалізацій цього способу – множинний доступ.

Основні способи розподілу ресурсу зв'язку [2, 3, 4, 5]:

- 1) частотне розділення каналів (FDMA) – споживачам надаються відповідні смуги частот.
- 2) часове розділення каналів (TDMA) – споживачам надаються періодичні часові інтервали; в деяких системах споживачам надається обмежений час зв'язку, або час доступу споживача до ресурсу визначається динамічно.
- 3) кодове розділення каналів (КРК) – споживачам надаються відповідні елементи набору ортогонально-розподілених спектральних кодів, кожен з яких використовує весь діапазон частот.
- 4) просторове розділення каналів – за допомогою точкових променевих антен копії радіосигналів направляються в різні сторони; метод допускає багатократне використання одного частотного діапазону.
- 5) поляризаційне розділення каналів – для розділення сигналів застосовується ортогональна поляризація, що дозволяє використовувати один частотний діапазон.

У відповідності до вищесказаного, доцільним є розглянути і проаналізувати переваги та недоліки використання кожного з методів доступу (МСД) для побудови сучасних систем мобільного зв'язку.

Метод FDMA найбільш простий як по своїй ідеї, так і по реалізації. Для розділення абонентів використовується тільки різниця по частоті.

В системах мобільного зв'язку ємність стільника визначається тим, скільки частотних каналів «вміщується» в частотному діапазоні відведеного для даного стільника. Величина цього діапазону завжди складає 1/7 частину від загального діапазону стільників [1–4, 6–7]. Це обумовлено тим, що при FDMA виникають взаємні шуми між радіозасобами і нелінійні ефекти в приймачах базової станції. Тому необхідно вводити захисні частотні інтервали, які координують використання радіозасобами смуги частот з діапазоном виділеним системі [2, 3, 4].

Для методу частотного розділення сигналів імовірність в обслуговуванні помилок і відмов буде [3, 6]:

$$P_{номчр} \leq \frac{1}{2} \exp\left\{\frac{1}{2} h_{\max}^2\right\}, \quad (1)$$

$$P_{відмчр} = \frac{Y^n / n!}{\sum_{i=0}^n Y^n / i!}. \quad (2)$$

де  $h_{\max} = \frac{A \cdot h_0}{r_{\max}^k}$  – відношення сигнал/шум на межі зони;

$n$  – число каналів;

$Y$  – середнє число одночасно зайнятих каналів зв'язку.

Наведені вище вирази дозволяють розрахувати характеристики якості роботи систем з частотним розділенням.

Основними недоліками методу FDMA є недостатньо ефективне використання смуги частот, виділеної системи мобільного зв'язку, а також необхідність однакового рівня сигналу всіх абонентів і лінійного режиму посилення вихідного сигналу.

Множинний доступ з TDMA для розуміння досить простий, але складний в реалізації в порівнянні з FDMA. Практична реалізація методу TDMA вимагає подання сигналів в цифровій формі і «стисненні» інформації в часі.

Метод TDMA не реалізує всіх потенційних можливостей ефективності використання спектру. Додаткові резерви відкриваються при використанні ієрархічних структур і адаптивного розподілу каналів [3, 6].

Найбільш доцільним є використання комбінованого FDMA/TDMA, методу множинного доступу.

Часовий ресурс інтервалу задається як  $m$ -й інтервал кадру  $n$  (рис. 1) [3].

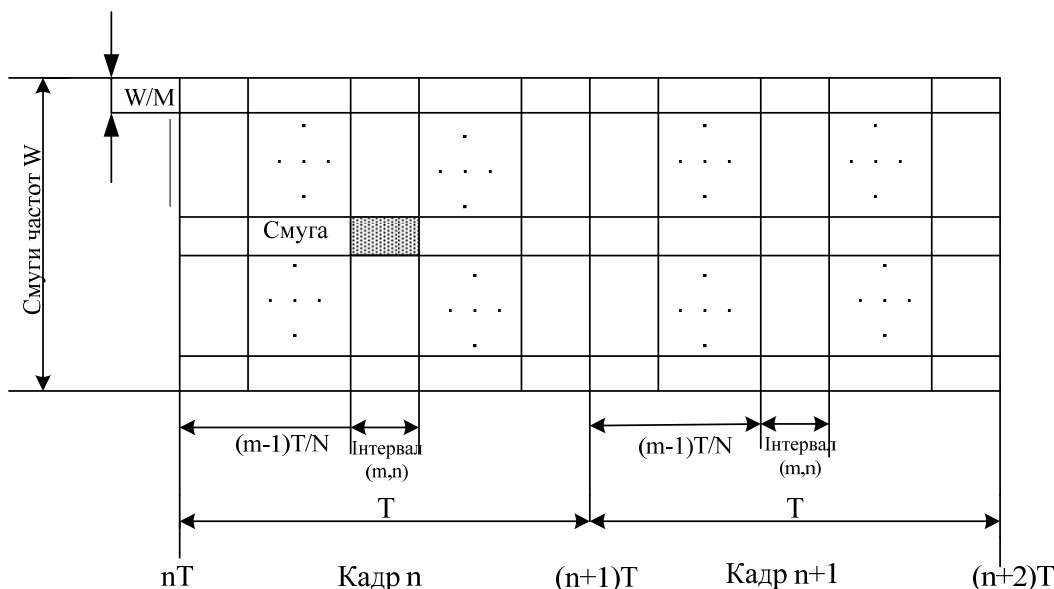


Рис. 1. Ресурс зв'язку при частотно-часовому розподілу по каналах

Технологія FDMA дозволяє використовувати  $M$  діапазони із шириною смуги  $1/M$ , а TDMA – повний діапазон частот для кожного з  $N$  інтервалів часу, при цьому тривалість кожного інтервалу становить  $1/N$  тривалості кадру [3].

Порівняємо методи FDMA і TDMA. Для цього розглянемо два показники систем мобільного зв'язку: швидкість передачі даних FDMA і TDMA та затримку повідомлень в цих системах.

При методі FDMA смуга частот розділяється на  $M$  ортогональних смуг частот, всі  $m$  джерел  $1 \leq m \leq M$  можуть проводити передачі даних зі швидкістю  $R/M$  біт/с кожний.

При TDMA методі кожен із кадрів поділяється на  $M$  ортогональних часових інтервалів. Кожен з  $M$  абонентів передає дані зі швидкістю  $R$  біт/с, що в  $m$  разів більше швидкості передачі даних абонента FDMA за час  $1/M$ .

Нехай інформація, яка передається кожним абонентом збирається у  $b$ -бітові пакети. У разі FDMA  $b$ -бітові пакети передаються за  $T$  секунд по кожному з  $M$  каналів, що не перекриваються.

Тоді швидкість передачі даних може бути представлена у вигляді [2–3, 6]:

$$R_{FD} = M \cdot \frac{b}{T} \text{ [біт/с]}. \quad (3)$$

При використанні TDMA кожен абонент за  $T/M$  секунд передає  $b$  біт. Звідси швидкість передачі даних дорівнює:

$$R_{TD} = \frac{b}{T/M} \text{ [біт/с]}. \quad (4)$$

Вирази (4) і (5) однакові:

$$R_{FD} = R_{TD} = \frac{M \cdot b}{T} \text{ [біт/с]}. \quad (5)$$

Незважаючи на деякі відмінності цих методів, вони не відрізняються по продуктивності. Відмінності будуть очевидні, якщо в якості одиниць виміру продуктивності використовувати середню затримку пакету.

Розглянемо затримку повідомлень у системах з FDMA і TDMA.

Припустимо що при FDMA методі діапазон частот розділений на  $M$  ортогональних інтервалів та ресурс зв'язку використовується на 100 %. Тоді всі частотні інтервали при FDMA і всі часові інтервали при TDMA будуть заповнені пакетами даних. Не будемо враховувати додаткові захисні частотні і часові інтервали.

У цьому випадку час затримки повідомлення складає [1]:

$$D = \omega \cdot \tau, \quad (6)$$

де  $\omega$  – середній час очікування пакета (до передачі);

$\tau$  – час передачі пакета.

Порівняємо середній час затримки FDMA і TDMA [3, 7]:

$$D_{FD} = T. \quad (7)$$

$$D_{TD} = \frac{T}{2} \left( 1 - \frac{1}{M} \right) + \frac{T}{M} = D_{FD} - \frac{T}{2} \left( 1 - \frac{1}{M} \right). \quad (8)$$

Даний вираз можна записати у вигляді:

$$D_{TD} = D_{FD} - \frac{b}{2R} (M - 1). \quad (9)$$

Аналіз виразу показує, що FDMA істотно поступається TDMA по часу затримки повідомлень.

Проаналізуємо метод ущільнення МСД з КРК (CDMA). При цьому методі велика група користувачів одночасно використовує загальну відносно широку смугу частот не менше 1 МГц. Власне метод CDMA досить складний не тільки у відношенні принципів побудови, але і в плані практичної реалізації [4, 5].

CDMA є практичною сумою методів розширення спектрів, які можна розділити на два: розширення спектру методом прямої послідовності та розширення спектру методом перебудови частоти.

Системи зв'язку з CDMA аналізуються як системи передачі інформації за критерієм імовірності помилки або як системи масового обслуговування [1–3]. У таких системах характеристики якості обслуговування абонентів та достовірності інформації взаємозалежні.

Вирази  $P_{відм}$  і  $P_{ном}$  для систем CDMA мають вид:

$$P_{відм} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot k} \cdot \frac{\sqrt{\gamma \cdot m_2}}{B} \cdot \exp\left\{-\frac{B^2}{2 \cdot \gamma} \cdot m_2\right\}. \quad (10)$$

$$P_{ном} = \frac{1}{2} \exp\left\{-\frac{h_{\max}}{2}\right\}. \quad (11)$$

$$m_2 = \frac{h_{\max}}{2k+1} \left(\frac{r_{\max}}{r_{\min}}\right). \quad (12)$$

З виразів видно, що залежність імовірності помилки в системі від відношення сигнал/шум має такий же вигляд як для систем з динамічним частотним розподілом. Метод CDMA одночасно з доступом забезпечує відповідний рівень завадостійкості та захисту від несанкціонованого доступу. Однак при збільшенні кількості одночасно працюючих абонентів зростають внутрішньосистемні шуми, що обмежують якість зв'язку.

МСД з поляризаційним та просторовим розділенням широко використовуються в системах глобального мобільного зв'язку. Спільне застосування методів поляризаційної і просторової обробки надає переваги, які пов'язані із можливістю боротьби з ефектом «засліплення». Поляризаційно-просторові комбіновані системи обробки з роздільною адаптацією представляють обмежений інтерес через наявність взаємного впливу і не усувають завади як в просторовому, так і в поляризаційному фільтрах. Більш широко використовуються комбіновані системи з поляризаційно-просторовою обробкою з залежною адаптацією [3, 8]. Особливістю систем з поляризаційно-просторовою обробкою є корельованість складових які заважають в просторовому і поляризаційному фільтрах.

Проаналізуємо спектральну характеристику стільникових систем. В якості показників ефективності, оберемо:

1. Число каналів в системі [1, 3]  $N = \frac{\Delta F}{\Delta F_k}$ , де  $\Delta F$  – ширина смуги частот в МГц,

$\Delta F_k$  – ширина смуги частот каналу.

2. Ширина смуги  $\Omega$  в кГц, яка приходить на один дуплексний канал [6]  $\Omega = \frac{\Delta F_k}{n}$ ,

де  $\Delta F_k$  – ширина смуги частот радіоканалу;  $n$  – кількість каналів на несучу.

3. Кількість фізичних каналів, які приходяться на смугу 1 МГц [2]:  $N_{1МГц} = \frac{1000}{\Omega}$ .

Спектральна ефективність стільникової мережі буде високою, якщо в мережі використовується мінімальна кількість частот (радіоканалів). Це можливо отримати двома способами:

– використовувати мінімальну кількість по радіусу стільників, які працюють на різних частотах, для територій з низькою щільністю абонентів та великою потужністю абонентських станцій;

– використовувати мінімальну кількість стільників на мережі з великою кількістю стільників з невеликим радіусом, що характерно для міських умов розгалуження мережі.

Головною задачею при повторному використанні частот буде вплив міжканальних завад, які створюються мережею мобільного зв'язку. Результати оцінки ефективності стільникових мереж за основними показниками наведені в табл. 1.

## ВИСНОВКИ

Метод CDMA має порівняно високу завадостійкість, добре працює в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль. Крім того, CDMA відрізняється високою скритністю, не вимагає частотного планування, допускає «м'яку» передачу управління. Однак, все це потребує використання складних сигналів, секторних антен базових станцій, пристроїв «мовної активності», точності синхронізації в системі, яка може бути пов'язана з втратою автономності системи, високої точності регулювання потужності.

Перехід від FDMA до TDMA методу дозволяє збільшити кількість каналів, які обслуговуються в 3 рази, а від методу TDMA до CDMA – в 9 разів. Однак, необхідно враховувати більш сильний вплив міжканальних завад і в ряді випадків, більш щільного розміщення базових станцій у методі CDMA. Облік цих факторів призводить до зниження ємності системи.

Використання у методі TDMA стрибків по частоті, детектору активності мови та оперативного регулювання потужності випромінюванням, забезпечують підвищення значення коефіцієнту повторного використання частот. До цього ж призводить і використання адаптивного розподілу каналів.

Проведений аналіз ефективності систем показує, що системи з TDMA та CDMA мають приблизно однакові характеристики ефективності. Проте реалізація систем CDMA більш складна у порівнянні з TDMA. Таким чином, в районах з малою щільністю населення та з великими зонами обслуговування доцільно використовувати системи з TDMA, а в великих містах системи з CDMA.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Сухопутная подвижная радиосвязь / И. М. Пышкин, И. И. Дежурный [и др.] ; под. ред. В. С. Семинихина и И. М. Пышкина. – М. : Радио и связь, 1990. – 432 с.*
2. *Бабков В. Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование : учеб. пособ. / В. Ю. Бабков, М. А. Возмож, П. А. Михайлов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 224 с.*
3. *Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр ; пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.*
4. *Маковеева М. М. Системы связи с подвижными объектами : учеб. пособ. / М. М. Маковеева, Ю. С. Шинаков. – М. : Радио и связь, 2002. – 440 с.*
5. *Поповський В. В. Супутникові та радіорелейні системи передачі : конспект лекцій / В. В. Поповський. – Харків : ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 152 с.*
6. *Системы мобильной связи : учеб. пособ. / В. П. Ипатов и др. – М. : Горячая линия – Телеком, 2003. – 272 с.*
7. *Бунин С. Г. Вычислительные сети с пакетной радиосвязью / С. Г. Бунин, А. П. Войтер. – К. : Техника, 1989. – 223 с.*
8. *Григорьев В. А. Комбинированная обработка сигналов в системах радиосвязи / В. А. Григорьев. – М. : Эко-Трендз, 2002. – 264 с.*

Стаття надійшла до редакції 19.12.2012 р.

Таблица 1

## Характеристика стандартів стільникових мереж зв'язку

Система	NMT-450i	NMT-450 «Половинний»	NMT-900 «Половинний»	D-AMPC (IS-136)	GSM-900	E-GSM-900	GSM-1800	GSM-1900	CDMA IS-95	DECT
Частоти «Вгору», «Вниз» МГц	453...475,5 935...467,5	453...475,5 935...467,5	890...915 935...960	824...849 869...894	890...915 935...960	880...915 925...960	1770...1785 1805...1890	1850...1910 1930...1990	824...849 869...894	1880... 1900
Ширина смуги, МГц	4,5	4,5	25	25	25	35	75	60	25	20
Дуплексне рознесення, МГц	10	10	45	45	45	45	95	80	45	нет
Смуга радіоканалу, кГц	20	12,5	12,5	30	200	200	200	200	1250	1728
Кількість дуплексних радіоканалів	225	360	1999	832	124	174	374	299	20	10
Метод доступу	FDMA	FDMA	FDMA	TDMA	TDMA	TDMA	TDMA	TDMA	CDMA	TDMA
Кількість фізичних каналів на несучу	1	1	1	3	8	8	8(16)	8(16)	64	12+12
Відношення сигнал/завада, дБ	16	16	16	16	9	9	9	9	6	12
Ω (кГц)	40	25	25	20	50	50	50(25)	50(25)	39	–
N1 дуплексних каналів, МГц	25	40	40	50	20	20	20(40)	20(40)	26	30