

УДК 621.396.96

І.І. Обод, І.В. Свид, О.С. Мальцев

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## ОЦІНКА ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ МЕРЕЖ РАДІОДОСТУПУ

У статті дається оцінка впливу складових параметрів телекомунікаційних мереж на базі систем радіодоступу на пропускну спроможність при використанні різних технологій множинного доступу. Показано, що інформаційна ефективність систем і мереж при використанні технології просторового доступу значно збільшена у порівнянні з технологією частотного розподілення за рахунок одночасного обслуговування декількох користувачів.

**Ключові слова:** пропускну спроможність мереж, технології просторового доступу.

### Вступ

**Постановка проблеми і аналіз літератури.** У сучасному суспільстві телекомунікаційні мережі (ТКМ) і технології, основу яких складають системи радіодоступу, відіграють роль прискорювача розвитку інформаційних технологій [1]. Однією з вимог розвитку ТКМ є забезпечення значного збільшення швидкості передачі даних, тобто інформаційної ємності (ІЄ) мереж при зростанні кількості користувачів [2]. Рішення цієї актуальної задачі можливо лише при широкому використанні адаптивної і просторово-часової обробки сигналів, а також реалізації комбінованих (адаптивних) методів множинного доступу (МД) в основу яких покладено МД з просторовим розділом каналів (SDMA – Space Division Multiple Access) [3].

Специфікою мобільної ТКМ є те, що абоненти можуть мати тільки одну антену, що, як правило, визначено габаритами мобільної станції, що визначає можливість просторової технології, при якій тільки базова станція може мати багатоеlementну антену або AAS (Adaptive Antenna System) [4, 5]. Представляє інтерес оцінка впливу ширини просторового сектору на пропускну спроможність (ПС) ТКМ.

**Мета роботи.** Оцінка пропускну спроможності телекомунікаційних мереж на базі систем радіодоступу при використанні різних технологій множинного доступу.

### Основна частина

Розуміння процесу функціонування ТКМ можливо, якщо відомі: діапазон частот, в якому працює система; вигляд і параметри модуляції сигналу; способи кодування; тип і характеристики спрямованості антенних систем; спосіб поділу каналів, використовуваних абонентськими станціями; спосіб поділу дуплексних каналів; способи синхронізації в системі.

Сумарна пропускну спроможність ТКМ залежить від кількості використовуваних частотних

каналів, способу розподілу частотно-територіального ресурсу, можливостей повторного використання частотних каналів, умов поширення радіохвиль, заводої обстановки та інших, уже перерахованих вище, факторів і, у загальному вигляді, визначається як:

$$C_M = \sum_{i=1}^{N_b} \sum_{j=1}^{N_c} C_{ij} (N_k, \bar{P}_{\text{dost}}, \bar{P}_{\text{dupl}}, K_{\text{povt}}), \quad (1)$$

де  $N_b$  – кількість базових станцій у мережі;

$N_c$  – кількість секторів на одну базову станцію;

$N_k$  – число каналів на одну базову станцію (сектор);

$C_{ij}$  – інформаційна ємність на один сектор;

$\bar{P}_{\text{dost}}$  – вектор параметрів протоколу доступу до каналів;

$\bar{P}_{\text{dupl}}$  – вектор параметрів дуплексного розділення каналів;

$K_{\text{povt}}$  – коефіцієнт повторного використання частот.

У кожному конкретному випадку ТКМ розрахунок пропускну спроможності (1) вимагає урахування топології мережі, особливостей рельєфу місцевості, типу забудови, особливостей поширення радіохвиль, енергетичних співвідношень сигналів і завод, розташування абонентів і т.д.

Вибором параметрів модуляції, кодування, потужності випромінювання передавача, характеристик спрямованості антен, способів обробки сигналів, синхронізації, протоколів доступу до каналів, поділом дуплексу інформаційна ємність мережі може бути істотно збільшена.

Всі перераховані дані, а також характеристики радіоканалу, що визначаються особливостями поширення радіохвиль того чи іншого діапазону частот і характеристики сигналів, що заважають, дозволяють розрахувати:

- ймовірність помилки  $P_e$  на біт;
- інформаційну ємність каналу  $C_k$ ;
- число одночасно діючих абонентів  $N_{ab}$  на

один радіоканал і в системі в цілому  $N_{abc}$  виходячи з допустимих ймовірностей блокування і втрати виклику.

Можливим виявляється оцінити максимальну відстань, при якій зберігаються заявлені характеристики ТКМ.

Пропускна спроможність каналу зв'язку  $C_k$  залежить від виду і параметрів модуляції сигналу, ймовірностей помилок в радіоканалі, способу кодування, характеристик радіоканалу, тобто є функцією від перерахованих параметрів і характеристик:

$$C_k = f(\bar{V}_m, \bar{V}_{kod}, \bar{V}_{kan}, P_e),$$

де  $\bar{V}_m$  – вектор параметрів модуляції, що включає опис виду модуляції, значення швидкості модуляції  $\bar{V}_m$  та інш.;  $\bar{V}_{kod}$  – вектор параметрів способів кодування;  $\bar{V}_{kan}$  – вектор параметрів радіоканалу.

Ймовірність помилки  $P_e$  залежить від характеристик каналу, сигналу, енергетики радіолінії, параметрів завод і шуму, виду і параметрів кодування.

Вплив кодування на ПС виявляється суперечливим: з одного боку із зменшенням швидкості кодування інформаційна ємність повинна зменшуватися, однак при цьому зменшується і ймовірність помилки на біт за рахунок прямого виправлення помилок або їх виявлення. Тому існує оптимальне поєднання параметрів кодування, що забезпечують максимальне значення ПС. Спосіб модуляції з одного боку призводить до збільшення ПС із зростанням числа використовуваних сигналів  $m$ , так як росте значення ентропії, але при цьому зменшується ймовірність помилки  $P_e$  через погіршення заводостійкості  $m$ -ічних сигналів.

Загалом інформаційна ємність каналу, під якою розуміється максимальна швидкість передачі інформації, досяжна в даному каналі зв'язку на 1 Гц його смуги пропускання.

Інформаційна ємність детермінованого каналу при дії адитивного білого шуму визначається теоремою Шеннона-Хартлі:

$$C = \Delta F \log_2 \left[ 1 + q |h_{11}|^2 \right], \quad (2)$$

де  $q = \frac{P_c}{P_{ш}}$  – середнє значення відношення сигнал-шум на вході приймача;  $\Delta F$  – частотний ресурс каналу;  $h_{11}$  – коефіцієнт передачі інформаційного каналу.

ПС детермінованого каналу МІМО можна записати як:

$$C = \Delta F \log_2 \left[ \vec{I}_r + \left( \frac{P_c}{P_p} \right) \vec{H} \vec{H}^{*T} \right], \quad (3)$$

де  $\vec{I}_r$  – одинична матриця розмірності  $N_r \times N_r$ ;

$\frac{P_c}{P_p}$  – середнє значення відношення сигнал-шум

на виході кожної прийомної антени;  $\vec{H}^{*T}$  – ерміто-

во-спряжена матриця  $\vec{H}$ . Можна зауважити, що вираз (3) є окремим випадком виразу (2) при використанні одиночних антен на передавачі і приймачі. Для випадкових МІМО-каналів (3) узагальнюється, при цьому відбувається перехід до так званої середньої ємності:

$$C = m_{11} \left\{ \Delta F \log_2 \left[ \vec{I}_r + \left( \frac{P_c}{P_p} \right) \vec{H} \vec{H}^{*T} \right] \right\}, \quad (4)$$

де  $m_{11} \{ \}$  – математичне сподівання значень функ-

ції від випадкової величини  $\vec{H}$ .

При збільшенні кількості антен на передавачі і (або) на приймачі, значення виразів (3) і (4) також буде збільшено.

Таким чином, інформаційна ємність МІМО-каналу завжди більше інформаційної ємності SISO-каналу. Збільшуючи кількість антен передавача і (або) приймача, можна значно підвищити швидкість передачі інформації в системах МІМО, наслідком чого є підвищення їх інформаційної ємності в порівнянні з SISO.

Так як ІС каналу зв'язку з адитивним білим гаусовим шумом є функцією потужностей сигналу і шуму, ширини смуги пропускання, то (2) можна записати як

$$C = \Delta F \log_2 \left[ 1 + \frac{P_c}{N_0} \right], \quad (5)$$

де  $P_c$  – визначається повною потужністю, випромінюваної БС  $P_0$ ;  $\Delta F$  – частотний ресурс каналу;  $N_0$  – спектральна щільність шуму.

Використав наведені вирази можливо оцінити ПС ТКМ при зміні як частотного ресурсу так і ширини просторового сектору базових станцій в залежності від як від числа абонентів, так і числа секторів.

Деякі розрахунки сумарної ПС ТКМ надаються на рис. 1, 2.

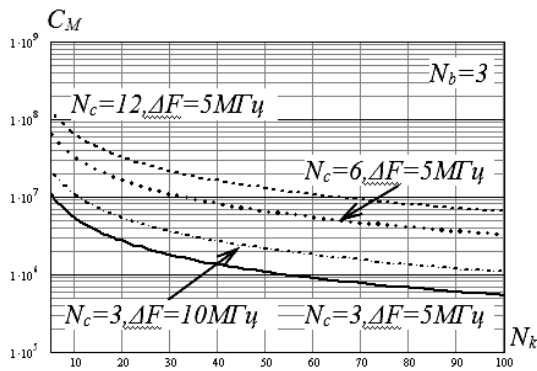


Рис. 1. Сумарна ПС ТКМ

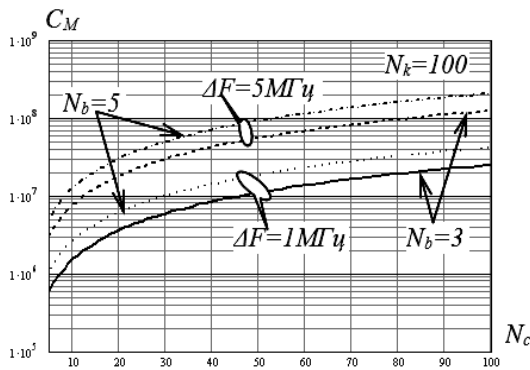


Рис. 2. Сумарна ПС ТКМ

Наведені розрахунки наглядно показують, що збільшення частотного ресурсу з 5 МГц до 10 МГц призводить до збільшення ПС з  $2 \cdot 10^6$  біт/с/Гц до  $4 \cdot 10^6$  біт/с/Гц при 30 абонентах, у той час коли збільшення число просторових секторів з 3 до 6 призводить збільшення ПС з  $2 \cdot 10^6$  біт/с/Гц до  $1,1 \cdot 10^7$  біт/с/Гц при тій же кількості абонентів.

Крім того пропускна спроможність системи з технологією просторового доступу може бути збільшена:

– за рахунок можливості одночасного незалежного обслуговування декількох користувачів;

– вибором оптимальної кількості обслуговуваних користувачів, за рахунок збільшення повної ПС системи при незмінній потужності передавача базової станції.

## Висновки

Таким чином у роботі показано, що використання технології множинного доступу з просторовим поділом абонентів дозволяє досягнути значно більшої повної пропускної спроможності телекомунікаційної мережі у порівнянні зі збільшенням частотного ресурсу.

## Список літератури

1. Григор'єв В.А. Мережі і системи радіодоступу / В.А. Григор'єв, О.І. Лагутенко, Ю.А. Распаев. – М.: ЕкоТрендз, 2005. – 384 с.
2. Alazemi H.M.K. Modeling and Stochastic analysis of 802.11 DCF with heterogeneous non-saturated nodes / H.M.K. Alazemi, A. Margolis, J. Choi, R. Vijaykumar, S. Roy // Computer Communications. – 2007. – Vol. 30, no. 18. – P. 3652-3661.
3. Обод І.І. Сравнительный анализ методов множественного доступа в мобильных информационных сетях / И.И. Обод, Кинан Арус // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 1(108). – С. 207-211.
4. Пат. на корисну модель № 53548 Україна, МПК G01S13/00. Спосіб передачі інформації / Обод І.І., Постільник І.О., Шаруда В.Г., Яценко І.Л. від 12.04.2010.
5. Пат. на корисну модель № 70955 Україна, МПК G01S13/00. Спосіб передачі інформації / Обод І.І., Нікітіна Л.О., Нікітін С.О., Свид І.В. від 03.01.2012.

Надійшла до редколегії 23.09.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.А. Серков, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

## ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТЕЙ РАДИОДОСТУПА

И.И. Обод, И.В. Свид, А.С. Мальцев

В статье дается оценка влияния составляющих параметров телекоммуникационных сетей на базе систем радиодоступа на пропускную способность при использовании различных технологий множественного доступа. Показано, что информационная эффективность систем и сетей при использовании технологии пространственного доступа значительно увеличена по сравнению с технологией частотного распределения за счет одновременного обслуживания нескольких пользователей.

**Ключевые слова:** пропускная способность сетей, технологии пространственного доступа.

## THE CAPACITY ESTIMATION OF RADIO ACCESS NETWORKS

I.I. Obod, I.V. Svyd, O.S. Maltsev

The paper assesses the impact of the telecommunications networks components parameters based on radio access systems to bandwidth by using different multiple access technologies. It is shown that the effectiveness of information systems and networks using the technology space access significantly increased in comparison with the technology of the frequency distribution by simultaneously serve multiple users.

**Keywords:** network bandwidth, space access technology.