

---

УДК 004.045:621.396.96

І.І. Обод, І.Л. Яценко, О.О. Можасєв

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків*

## ОЦІНКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЄМНОСТІ МОБІЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

*У статті надається оцінка впливу складових параметрів мобільних інформаційних мереж на базі систем радіодоступу на інформаційну ємність 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 розділення за рахунок одночасного обслуговування декількох користувачів.*

**Ключові слова:** інформаційна ємність мереж, технології просторового доступу.

### Вступ

**Постановка проблеми і аналіз літератури.** У сучасному суспільстві мобільні інформаційні мережі (МІМ) і технології, основу котрих складають системи радіодоступу, відіграють роль прискорювача розвитку інформаційних технологій [1]. Однією з вимог розвитку МІМ є забезпечення значного збільшення швидкості передачі даних тобто інформаційної ємності 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 розділенням каналів (SDMA – Space Division Multiple Access) [3].

Специфікою МІМ є те, що абоненти можуть мати тільки одну антену, що, як правило, визначено габаритами мобільної станції, що природно позичає можливість просторової технології, при якій тільки базова станція може мати багатоелементну антену або ААС (Adaptive Antenna System) [4]. Представляє інтерес оцінити як впливає ширина просторового сектору на інформаційної ємність (ІЄ) мобільної інформаційної мережі.

**Мета роботи.** Оцінка інформаційної ємності мобільних інформаційних мереж на базі систем радіодоступу при використанні різних технологій множинного доступу.

### Основна частина

Розуміння процесу функціонування МІМ 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 інформаційна ємність МІМ залежить від кількості використовуваних частотних присвоєнь, способу розподілу частотно-територіального ресурсу, можливостей повторного використання частотних каналів, умов поширення радіохвиль, заводової обстановки та інших, уже перерахованих вище, факторів і, у загальному вигляді, визначається як:

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

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;  $\bar{P}_{dost}$  – вектор параметрів протоколу доступу до каналів;  $\bar{P}_{dupl}$  – вектор параметрів дуплексного розділення каналів;  $K_{povt}$  – коефіцієнт повторного використання частот.

У кожному конкретному випадку МІМ розрахунок інформаційної ємності (1) вимагає обліку 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 МІМ.

Інформаційна ємність 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:

$$C_k = f(\bar{V}_m, \bar{V}_{kod}, \bar{V}_{kan}, P_e), \quad (2)$$

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 ІЄ виявляється суперечливим: з одного боку із зменшенням швидкості кодування ІЄ 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 ІЄ.

Спосіб модуляції з одного боку призводить до збільшення ІЄ 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:

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

де  $q = P_c/P_{ш}$  – середнє значення відношення сигнал-шум на вході приймача;  $h_{11}$  – коефіцієнт передачі інформаційного каналу.

Ємність детермінованого каналу МІМО:

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

де  $\vec{I}_r$  – одинична матриця розмірності  $N_r \times N_r$ ;  $P_c/P_p$  – середнє значення відношення сигнал-шум

на виході кожної прийомної антени,  $\vec{H}^{*T}$  – ермітово-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:

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

де  $m_{11} \{ \}$  – математичне сподівання значень функції від випадкової величини  $\vec{H}$ .

При збільшенні кількості антен на передавачі і (або) на приймачі, значення виразів (3) і (4) також буде зростати. Таким чином, інформаційна ємність MIMO-каналу завжди більше інформаційної ємності SISO-каналу. Збільшуючи кількість антен передавача і (або) приймача, можна значно підвищити швидкість передачі інформації в системах MIMO, наслідком чого є підвищення їх інформаційної ємності в порівнянні з SISO. Так як ІЄ каналу зв'язку з адитивним білим гауссовим шумом є функцією потужностей сигналу і шуму, ширини смуги пропускання, то (2) можна записати як

$$C = \Delta F \log_2 [1 + P_c / N_0], \quad (5)$$

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

Використавши наведені вирази, можливо оцінити ІЄ MIM при зміні як частотного ресурсу, так і ширини просторового сектору базових станцій в залежності як від числа абонентів, так і числа секторів. Деякі розрахунки сумарної ІЄ MIM надаються на рис. 1, 2. Наведені розрахунки наглядно показують, що збільшення частотного ресурсу з 5 МГц до 10 МГц призводить збільшення ІЄ з  $4 \cdot 10^6$  біт/с/Гц до  $8 \cdot 10^6$  біт/с/Гц при 30 абонентах, у той час коли збільшення число просторових секторів з 3 до 6 призводить збільшення ІЄ з  $4 \cdot 10^6$  біт/с/Гц до  $2,8 \cdot 10^7$  біт/с/Гц при тій ж кількості абонентів.

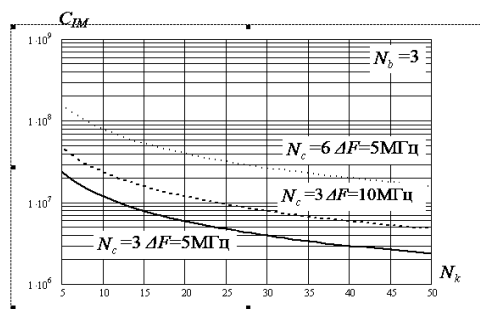


Рис. 1. Сумарна ІЄ MIM

## ОЦЕНКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ЕМКОСТИ МОБИЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

И.И. Обод, И.Л. Яценко, А.А. Можаяев

Дается оценка влияния составляющих параметров мобильных информационных сетей на базе систем радиодоступа на информационную емкость 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 разделения за счет одновременного обслуживания нескольких пользователей.

**Ключевые слова:** информационная емкость сетей, технологии пространственного доступа.

## ASSESSMENT INFORMATION CAPACITY INFORMATION MOBILE NETWORKS

I.I. Obad, I.L. Jatsenko, O.O. Moghayev

The article assesses the impact of component parameters of mobile data networks based on radio access systems on the information capacity using different multiple access technologies. It is shown that the efficiency of information systems and networks using spatial technology access significantly increased compared to the frequency separation technology by simultaneously serve multiple users.

**Keywords:** information network capacity, spatial technology access.

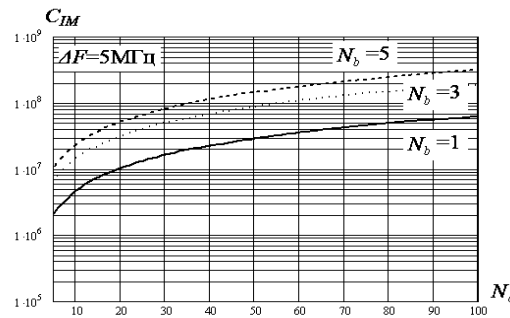


Рис. 2. Залежність  $C_{IM}=f(N_k, N_b)$

Крім того, інформаційна ємність 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 ІЄ системи при незмінній потужності передавача БС.

## Висновки

Таким чином, у роботі показано, що використання технології множинного доступу з просторовим поділом абонентів дозволяє досягнути більшої повної ІЄ MIM 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. Раснаев. – М.: ЭкоТрендз, 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 И.И. Сравнительный анализ методов множественного доступа в мобильных информационных сетях / И.И.Обод, К. Арус // Системи обробки інформації. – X.: ХУ ІС, 2013. – Вип. 1(108). – С. 207-211.
4. Пат. на корисну модель № 70955 Україна, МПК G01S13/00. Спосіб передачі інформації / Обод І.І., Нікітін Л.О., Нікітін С.О., Свід І.В. від 03.01.2012.

Надійшла до редколегії 13.05.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. Г.В. Єрмаков, Національний технічний університет «ХП», Харків.