

УДК 621.396.96

І.І. Обод, О.О. Стрельницький, О.А. Буланый

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

ПРОСТОРОВИЙ МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

У статті надається оцінка впливу складових параметрів мереж радіодоступу на пропускну здатність при використанні різних технологій множинного доступу. Показано, що пропускну здатність систем і мереж при використанні технології просторової обробки сигналів значно ефективна у порівнянні з технологією частотного розділення за рахунок одночасного обслуговування декількох користувачів.

Ключові слова: пропускну здатність мереж, технології просторового доступу.

Вступ

Постановка проблеми і аналіз літератури. У сучасному суспільстві мобільні телекомунікаційні мережі (МТМ) і технології, основу котрих складають системи радіодоступу, відіграють роль прискорювача розвитку інформаційних технологій [1]. Одним з важливих напрямків розвитку бездротових систем зв'язку є забезпечення значного збільшення швидкості передачі даних і зростання кількості користувачів. Подальше розширення частотної смуги або збільшення випромінюваної потужності нераціонально через високу вартість додаткових смуг частот і жорстких вимог до електромагнітної сумісності. Альтернативним вирішенням цієї проблеми може бути застосування просторової обробки сигналу. Однією з вимог розвитку МТМ є забезпечення значного збільшення швидкості передачі даних, тобто пропускну спроможності (ПС) 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, 4].

Специфікою ММ 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) [5, 6]. Представляє інтерес оцінити, як впливає ширина просторового сектору на пропускну спроможність (ПС) мобільної інформаційної мережі.

Мета роботи. Оцінка пропускну спроможності мобільних телекомунікаційних мереж на базі систем радіодоступу при використанні просторових методів обробки сигналів.

Основна частина

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

Сумарна ПС МТМ залежить від кількості використовуваних частотних присвоєнь, 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 [1]:

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

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} – ПС на один сектор; \vec{P}_{dost} – вектор параметрів протоколу доступу до каналів; \vec{P}_{dupl} – вектор параметрів дуплексного розділення каналів; $K_{\text{повт}}$ – коефіцієнт повторного використання частот.

У кожному конкретному випадку МТМ розрахунок пропускної спроможності (1) вимагає обліку топології мережі, особливостей рельєфу місцевості, типу забудови, особливостей поширення радіохвиль, енергетичних співвідношень сигналів і завад, розташування абонентів і т.д.

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

- імовірність помилки P_e на біт;
- пропускну спроможність каналу C_k ;
- число одночасно діючих абонентів $N_{\text{аб}}$ 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 МТМ.

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:

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

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

Імовірність помилки P_e залежить від характеристик каналу, сигналу, енергетики радіолінії, параметрів завад і шуму, виду і параметрів кодування.

Вплив кодування на ПС виявляється суперечливим: з одного боку із зменшенням швидкості кодування ПС 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 завадостійкості m -ічних сигналів.

Загалом пропускна спроможність каналу, під якою розуміється максимальна швидкість передачі інформації, досяжна в даному каналі зв'язку на 1 Гц його смуги пропускання. ПС детермінованого каналу при дії адитивного білого шуму визначається теоремою Шеннона-Хартлі:

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

де $q = P_c / P_{\text{ш}}$ – середнє значення відношення сигнал-шум на вході приймача;

h_{11} – коефіцієнт передачі інформаційного каналу.

ПС детермінованого каналу МІМО можна записати як:

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

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} – 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 пропускної спроможності:

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

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, пропускна спроможність МІМО-каналу завжди більше пропускної спроможності SISO-каналу. Збільшуючи кількість антен передавача і (або) приймача, можна значно підвищити швидкість передачі інформації в системах МІМО, наслідком чого є підвищення їх пропускної спроможності в порівнянні з SISO.

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

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

де P_c визначається повною потужністю, випромінюваною БС P_0 , ΔF – частотний ресурс каналу, N_0 – спектральна щільність шуму.

Використавши наведені вирази, можливо оцінити ПС МТМ 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 МТМ надаються на рис. 1, 2.

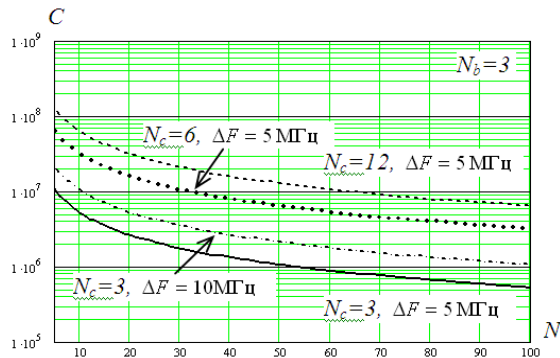


Рис. 1. Сумарна ПС МТМ

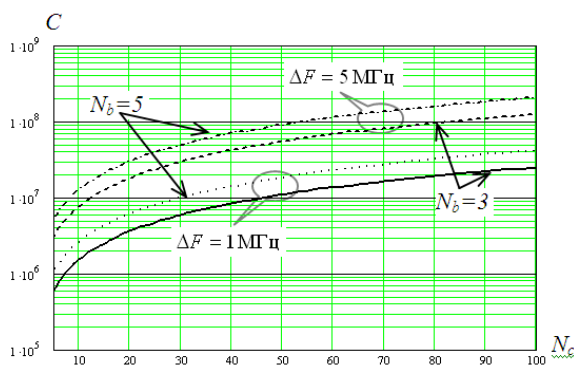


Рис. 2. Залежність $C = f(N_b, N_c, \Delta F)$

Наведені розрахунки наглядно показують, що збільшення частотного ресурсу з 5 МГц до 10 МГц призводить збільшення ПС з $5 \cdot 10^5$ біт/с/Гц до 10^6 біт/с/Гц при 100 абонентах, у той час коли

збільшення число просторових секторів з 3 до 6 призводить збільшення ІЄ з $5 \cdot 10^5$ біт/с/Гц до $3 \cdot 10^6$ біт/с/Гц при тій же кількості абонентів.

Крім того, пропускна спроможність телекомунікаційної мережі 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 БС.

Висновки

Таким чином у роботі показано, що використання технології множинного доступу з просторовим поділом абонентів дозволяє досягнути значно більшої повної ПС МТМ 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.: Еко-Трендз, 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, Кинан Арус // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Х.: XV ПС, 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 № 93306 Україна, МПК G01S13/00. Спосіб передачі інформації / Обод І.І., Стрельницький О.О., Буланый О.А. від 25.09.2014.

Надійшла до редколегії 16.09.2014

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

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

И.И. Обод, А.А. Стрельницкий, А.А. Буланый

В статье дается оценка влияния составляющих параметров сетей радиодоступа на пропускную способность при использовании различных технологий множественного доступа. Показано, что пропускная способность систем и сетей при использовании технологии пространственной обработки сигналов значительно эффективнее в сравнении с технологией частотного разделения за счет одновременного обслуживания нескольких пользователей.

Ключевые слова: пропускная способность сетей, технологии пространственного доступа.

SPATIAL METHODS INCREASED BANDWIDTH TELECOMMUNICATIONS NETWORKS

I.I. Obad, A.A. Strelnickiy, A.A. Bulany

This article assesses the impact of the components parameters of radio access networks for bandwidth by using different multiple access technologies. It is shown that the capacity of systems and networks using spatial signal processing technology is much more efficient in comparison with the technology of frequency division by simultaneously service multiple users.

Keywords: available bandwidth, a spatial access technology.