

**РОЗРАХУНОК УСЕРЕДНЕНОЇ ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ
МІЖ АБОНЕНТАМИ ТА БАЗОВОЮ СТАНЦІЄЮ
ПРИ ВИКОРИСТОВУВАННІ ТЕХНОЛОГІЇ WI-MAX**

**РАСЧЕТ УСРЕДНЕННОЙ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ МЕЖДУ АБОНЕНТАМИ
И БАЗОВОЙ СТАНЦИЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ WI-MAX**

**CALCULATION THE AVERAGE INFORMATION TRANSMISSION SPEED BETWEEN
THE SUBSCRIBER AND THE BASE STATION USING WI-MAX TECHNOLOGY**

Анотація. Розглянуто побудову мережі доступу за технологією Wi-Max з використанням однієї базової станції, за одночасного використання різних методів модуляції. Обчислено усереднені швидкості передавання для умов рівномірного та показникового розподілу щільності абонентів зі змінюванням відстані до базової станції.

Аннотация. Рассмотрено построение сети доступа по технологии Wi-Max с использованием одной базовой станции при одновременном использовании различных методов модуляции. Рассчитаны усредненные скорости передачи для условий равномерного и показательного распределения плотности абонентов с изменением расстояния до базовой станции.

Summary. Building Wi-Max technology access network is considered, using one base station, with using different methods of modulation simultaneously. The average transmission speeds is calculated for conditions of uniform and exponential distributions of subscriber density with changing a distance to the base station.

Проблемі віднаходження ефективної продуктивності для більшості з відомих технологій доступу присвячено низку досліджень. Приміром, з оцінками продуктивності технології IEEE 802.11, більш відомої, як Wi-Fi, для різних умов роботи можна детально ознайомитись з огляду інформаційних джерел у відповідній літературі [4]. Подібні дослідження значно полегшують роботи щодо проектування та будівництва мереж доступу за відповідними технологіями. Виникає можливість оцінити ефективну пропускну здатність каналу, що є розподіленним поміж багатьма абонентами, і в такий спосіб спрогнозувати ефективність використання каналного ресурсу, а також сумарне навантаження на зовнішні канали зв'язку. Окрім того, подібні дослідження допомагають виявити існуючі недоліки в тій чи іншій технології доступу, що спонукає дослідників та виробників обладнання до подальшого розвитку технології.

Однак на сьогоднішній день для технології IEEE 802.16, більш відомої як Wi-Max, подібні дослідження не проводились. Тому метою роботи є визначення усередненої сумарної швидкості передавання інформації в каналі доступу, побудованому за технологією Wi-Max.

Міжнародними стандартами IEEE 802.16d (який також називають IEEE 802.16 – 2004) та IEEE 802.16e для забезпечення ефективного використання надаваного частотного ресурсу, регламентуються три основні методи модуляції в каналних інтервалах: квадратурна фазова модуляція QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), а також два типи квадратурно-амплітудної модуляції QAM (Quadrature Amplitude Modulation) – QAM-16 та QAM-64 [1, 2]. Залежно від відстані між абонентом та базовою станцією можуть використовуватись відповідно QAM-64 на невеликих відстанях, QAM-16, в разі коли використання QAM-64 унеможливується, та QPSK на найбільших відстанях, припустимих за стандартом, у разі неможливості використання QAM-64 та QAM-16.

В табл. 1 [1, стор. 343] наведено взаємозв'язок поміж смугою пропускання каналу, швидкістю передавання символів в каналі (B) та швидкістю передавання інформаційного потоку (C) при використанні різноманітних методів модуляції.

Таблиця 1 – Взаємозв’язок поміж основними характеристиками каналу, регламентований стандартом IEEE 802.16d

Смуга пропускання, МГц	B , МБод/с	C , Мбіт/с (QPSK)	C , Мбіт/с (QAM-16)	C , Мбіт/с (QAM-64)	Рекомендована довжина фрейму, мс	Кількість каналних інтервалів у фреймі
20	16	32	64	96	1	4000
25	20	40	80	120	1	5000
28	22,4	44,8	89,7	134,4	1	5600

Визначення типу модуляції інформаційного потоку для кожної абонентської станції здійснюється в такий спосіб. Після процесу встановлення синхронізації з базовою станцією та дістання початкових параметрів абонентська станція розпочинає процес запиту основних параметрів передавання (ringing). У перебігу запиту абонентська станція посилає базовій станції сигнал з певним еталонним рівнем. Залежно від рівня отриманого сигналу базова станція визначає для кожної абонентської станції основні параметри передавання сигналу (рівень передавання сигналу, алгоритм кодування, тип модуляції тощо). Вибір типу модуляції залежить від рівня отриманого сигналу базовою станцією. Процеси початкової ініціалізації та запиту основних параметрів передавання детально описано в стандарті [1, pp. 6.3.9, 6.3.10].

Виходячи з поданої таблиці, приміром за швидкості передавання символів 20 МБод/с, а також за використання лише модуляції QPSK, дістанемо швидкість передавання, яка дорівнюватиме 40 Мбіт/с, тоді як за використання модуляції QAM-64 сумарна швидкість передавання інформації в каналі дорівнює 120 Мбіт/с. Зрозумілим є той факт, що за одночасного використання усіх трьох методів модуляції для абонентів на різній відстані від базової станції сумарна швидкість передавання інформації в каналі змінюватиметься у вищезазначених межах.

Вважатимемо, що швидкість передавання інформації поміж абонентами та базовою станцією може буди однаковою для кожного абонента без залежності від відстані і дорівнює c , тобто каналний ресурс є рівномірно розподілений поміж усіма абонентами. На рис. 1 показано розподіл на зони обслуговування залежно від відстані до базової станції.

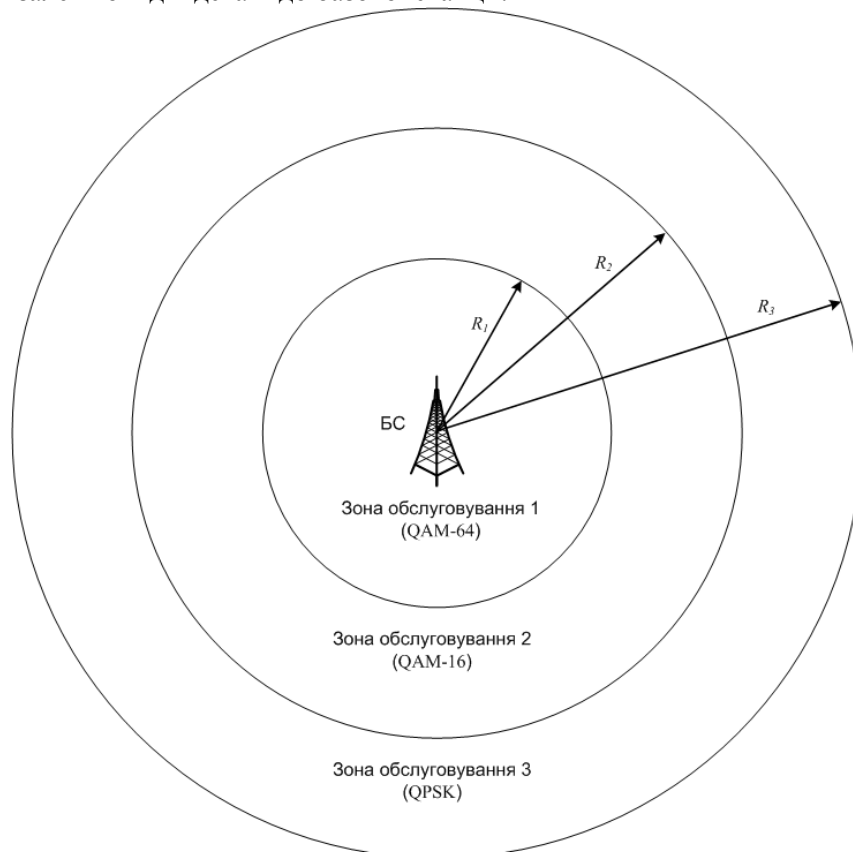


Рисунок 1 – Розподіл простору навколо базової станції на зони обслуговування

На невеликій відстані від базової станції, в зоні 1, використовується модуляція QAM-64, в зоні 2 – QAM-16 і, відповідно, в зоні 3 – QPSK.

У разі, коли заздалегідь відомі ймовірності знаходження абонентів в кожній з зон (P_1, P_2, P_3), кількість абонентів в кожній зоні обслуговування дорівнюватиме

$$N_i = NP_i, \quad i = 1, 2, 3,$$

де N_1, N_2, N_3 – відповідні кількості абонентів в першій, другій та третій зонах, знайдені з відповідними ймовірностями;

N – відома сумарна кількість абонентів, підімкнених до базової станції.

Сумарна ймовірна швидкість передавання інформації (біт/с) від усіх абонентів кожної зони відповідно визначається за формулою

$$C_i = cN_i, \quad i = 1, 2, 3,$$

де C_1, C_2, C_3 – сумарна швидкість передавання інформації з першої, другої та третьої зони, знайдена з відповідними ймовірностями;

c – швидкість передавання інформації між кінцевим абонентом та базовою станцією.

Сумарна ймовірна швидкість передавання символів модуляції (Бод/с) з кожної зони визначається за формулами:

$$B_1 = \frac{C_1}{6}, \quad (1)$$

$$B_2 = \frac{C_2}{4}, \quad (2)$$

$$B_3 = \frac{C_3}{2}, \quad (3)$$

де B_1, B_2, B_3 – загальна символна швидкість передавання інформації з першої, другої та третьої зони.

В такому разі сума загальних символних швидкостей від кожної із зон надасть сумарну очікувану символну швидкість в каналі (B):

$$M[B] = \sum_{i=1}^3 B_i.$$

За умов, що сумарна швидкість в каналі є відомою і незмінною величиною, а також підставивши відповідні величини з (1), (2), (3), отримаємо:

$$M[B] = B = \frac{cNP_1}{6} + \frac{cNP_2}{4} + \frac{cNP_3}{2}. \quad (4)$$

Вираз 4 пов'язує поміж собою швидкість передавання інформації від кінцевого абонента (c), сумарну кількість абонентів, підімкнених до базової станції (N), ймовірність перебування абонента в кожній з трьох зон (P_1, P_2, P_3), а також символну швидкість передавання інформації в загальному каналі (B). Провівши елементарні математичні перетворення дістаємо відповідність сумарної швидкості передавання інформації (C) до сумарної символної швидкості в каналі:

$$C = cN = \frac{B}{\frac{P_1}{6} + \frac{P_2}{4} + \frac{P_3}{2}}. \quad (5)$$

Відповідні ймовірності залежать від щільності розподілу абонентів на місцевості навколо базової станції. Доцільно розглянути два можливі випадки – перший відповідатиме району з котеджною забудовою (рівномірний розподіл абонентів по місцевості), другий – відповідатиме місту з високою урбанізацією, тобто висока щільність абонентів в центрі навколо базової станції і поступове зменшення щільності зі збільшенням відстані.

Випадок 1 – район з котеджною забудовою. За рівномірного розподілу абонентів по місцевості ймовірність перебування абонента в тій чи іншій області місцевості є пропорційна до площі обраної області і не залежить від місця її розташування на місцевості, тому для визначення ймовірностей віднаходження абонентів у тій чи іншій зоні обслуговування доцільно використовувати геометричне визначення ймовірності [3]. Виходячи з вищесказаного, ймовірність перебування абонента у тій чи іншій зоні є відношенням площини цієї зони до загальної площини обслуговування базовою станцією, яка являє собою область з базовою станцією в центрі, обмежену колом радіусом R_3 (див. рис. 1).

Площиною зони 1 є площа області, обмежена відстанню R_1 до базової станції, звідки дістанемо

$$P_1 = \frac{R_1^2}{R_3^2}.$$

Площиною зони 2 є кільце, яке обмежується зовні колом радіусом R_2 , а з середини – колом радіусом R_1 , звідки дістанемо

$$P_2 = \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_3^2}.$$

Аналогічно дістанемо ймовірність знаходження абонента в зоні 3:

$$P_3 = \frac{R_3^2 - R_2^2}{R_3^2}.$$

Підставивши здобуті в такий спосіб ймовірності до співвідношення (5) та виконавши елементарні математичні перетворення, дістанемо

$$C = \frac{12R_3^2 B}{6R_3^2 - 3R_2^2 - R_1^2}. \quad (6)$$

Приклад 1. Віднайдемо загальну швидкість передавання інформації в каналі за рівномірного розподілу абонентів для випадку, коли:

$B = 20$ МБод/с; $R_1 = 10$ км; $R_2 = 20$ км; $R_3 = 30$ км.

Підставивши вказані значення до співвідношення (6), дістанемо

$$C = \frac{12 \cdot 30^2 \cdot 20}{6 \cdot 30^2 - 3 \cdot 20^2 - 10^2} \approx 52,7 \text{ Мбіт/с.}$$

Звернувшись до табл. 1, можемо пересвідчитись в тому, що здобута швидкість перебуває у відповідних межах.

Випадок 2 – місцевість з високою урбанізацією населення. Для цього випадку припустімо, що залежність щільності абонентів n (абон./м²) від відстані до базової станції зменшується за експонентним законом розподілу щільності $e^{-\lambda R}$, з $\lambda = \frac{1}{R_{\text{сер}}}$, де $R_{\text{сер}}$ – середня відстань до абонента (рис. 2).

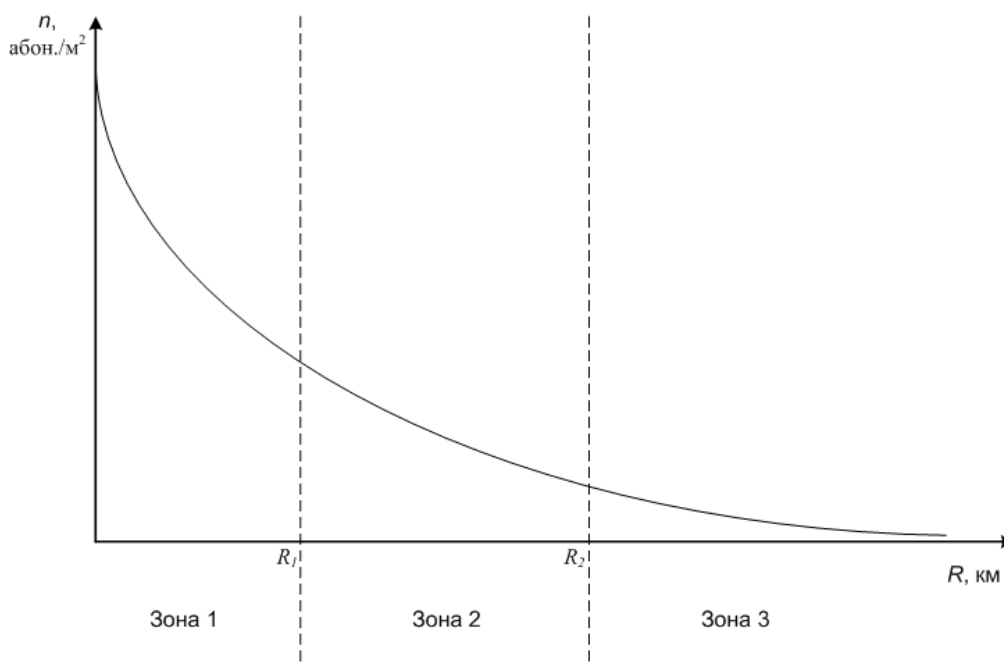


Рисунок 2 – Залежність щільності абонентів від відстані поміж базовою станцією та абонентами

Виходячи з показникового закону розподілу ймовірності [3], дістанемо ймовірність перебування абонента в першій зоні обслуговування (P_1), яка дорівнює ймовірності того, що відстань від абонента до базової станції менша за відстань R_1 , звідки дістанемо

$$P_1 = P\{R < R_1\} = 1 - e^{-\frac{R_1}{R_{\text{сєр}}}},$$

де $R_{\text{сєр}}$ – середня відстань від базової станції до абонента.

Ймовірність знаходження абонента в зоні обслуговування 3 дорівнює ймовірності того, що відстань від абонента до базової станції перевищує відстань R_2 , звідки дістанемо

$$P_3 = P\{R \geq R_2\} = 1 - P\{R \leq R_2\} = 1 - (1 - e^{-\frac{R_2}{R_{\text{сєр}}}}) = e^{-\frac{R_2}{R_{\text{сєр}}}}.$$

Виходячи з того, що приналежність абонента до першої, другої чи третьої зони формує повну групу можливих подій, дістанемо

$$P_2 = 1 - P_1 - P_3 = 1 - (1 - e^{-\frac{R_1}{R_{\text{сєр}}}}) - e^{-\frac{R_2}{R_{\text{сєр}}}} = e^{-\frac{R_1}{R_{\text{сєр}}}} - e^{-\frac{R_2}{R_{\text{сєр}}}}.$$

Підставивши відповідні ймовірності до формули (5) та виконавши математичні перетворення, дістанемо

$$C = \frac{12B}{2 + e^{-\frac{R_1}{R_{\text{сєр}}}} + 3e^{-\frac{R_2}{R_{\text{сєр}}}}}. \quad (7)$$

Приклад 2. Знайдемо швидкість передавання інформації в каналі за показникового розподілу щільності абонентів для випадку, коли:

$B = 20$ МБод/с; $R_1 = 10$ км; $R_2 = 20$ км; $R_{\text{сєр}} = 5$ км.

Підставивши вказані значення до співвідношення (7), дістанемо

$$C = \frac{12 \cdot 20}{2 + e^{-\frac{10}{5}} + 3e^{-\frac{20}{5}}} \approx 109,5 \text{ Мбіт/с.}$$

Як і для прикладу 1, звернувшись до таблиці 1, можемо пересвідчитись, що дістана швидкість перебуває у відповідних межах.

В результаті можна зробити такі висновки:

1. Запропоновані в статті методи обчислення загальної усередненої швидкості передавання інформації в каналі, зорганізованому за технологією Wi-Max, може бути використано при проектуванні мереж широкопосмугового доступу. Це дозволить спрогнозувати швидкість передавання інформаційного потоку у спільному каналі, що надасть можливість розраховувати навантаження на комутаційне обладнання, а також сумарну пропускну здатність каналу доступу від базової станції до зовнішніх мереж передавання даних.

2. Запропоновану засаду може бути використано для різноманітних систем передавання інформації, які в своїй роботі одночасно використовують різні методи модуляції в каналі.

Література

1. *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 16. Air interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems: IEEE Std 802.16 – 2004.* – IEEE Computer Society, 2004. – 857 с. – (Міжнародний стандарт).
2. *IEEE standard 802.16: A technical overview of the wirelessMANTM air interface for broadband wireless access / Carl Eklund, Roger B. Marks, Kenneth L. Stanwood [та ін.] // IEEE Communications Magazine.* – 2002. – № 6. – С. 98–107.
3. *Письменный Дмитрий.* Конспект лекций по теории вероятностей и математической статистике / Письменный Д.Т. – [2-е изд., испр.] – М.: Айрис-пресс, 2005. – 246 с. – (Высшее образование).
4. *Широкополосные беспроводные сети передачи информации / [Вишневецкий В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В.].* – Москва: Техносфера, 2005. – 592 с.