

*І.І.ОБОД*, докт.техн.наук, НТУ «ХП»;

*І.Л.ЯЦЕНКО*, НТУ «ХП»;

*Т. МААЗАРАНИ*, НТУ «ХП»;

*Р.МУСЛИМАНИ*, НТУ «ХП»

## **ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗАВАД НА ШВИДКІСТЬ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ У ПАКЕТНИХ МЕРЕЖАХ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ**

Наводяться розрахунки впливу типу модуляції та енергетичних співвідношень у каналі передачі даних на швидкість передачі даних та оптимізація довжини пакету даних при передачі у каналах зв'язку при дії завад. Показано, що для оптимізації швидкості передачі даних потрібно використовувати адаптивний підхід управління MAC рівнем, що повинно передбачати аналіз характеристик середовища передачі даних, та мати можливість динамічно міняти різні параметри MAC-рівня у залежності від змін середовища.

Calculations over of modulation type influencing and energy relation in data channel on speed of information transfer data and optimization of package length of data are brought at a transmission in the communications channel at the action of noise. It is shown that for optimization of data rate it is necessary to take adaptive approach of MAC-level management, that must foresee the analysis of communication environment descriptions of data, and to be in a position dynamically to change the different parameters of MAC-level depending on changing of environment.

**Постановка проблеми та аналіз літератури.** Створення інформаційної мережі обслуговування користувачів неможливо без реалізації надійної мережі обміну даними. У останні роки бездротові мережі передачі даних стають одним з основних напрямком розвитку мереженої індустрії. Бурний розвиток мереж цього класу в світі, про котрій багато хто каже як о бездротової революції в області мереж передачі інформації [1-5], пояснюється наявністю цілого ряду наявних для них вигод. До них відносяться:

- гнучкістю архітектури мережі, коли забезпечується можливість динамічної зміни топології мережі при підключенні, пересуванні та відключення мобільних користувачів без значних затрат часу,
- висока швидкість передачі інформації;
- швидкість проектування та реалізації, що критично при жорстких вимогах до часу побудови мережі;
- висока ступінь захисту від несанкціонованого доступу,
- відмова від дорого затратної прокладки чи оренди оптоволоконного чи мідного кабелю.

У теперішній час бездротові технології забезпечують ефективне вирішення наступних задач:

- забезпечення мобільного бездротового доступу к ресурсам Internet,
- організація бездротового радіозв'язку між робочими станціями локальної мережі (організація бездротового доступу до ресурсу локальної

- мережі);
- поєднання віддалених локальних обчислювальних мереж та робочих станцій в єдину мережу передачі даних та реалізація віддаленого стаціонарного доступу локальних мереж користувачів до Internet;
- вирішення проблеми «останньої мілі»;
- з'єднання АТС між собою бездротовими каналами зв'язку з значною швидкістю;
- створення територіальних сотових радіомодемних мереж передачі даних.

Однак кількість користувачів, які працюють у неліцензуємому діапазоні частотного спектра, з кожним днем стає все більше, що призводить до посилення завад і підвищення рівня шуму у кожній конкретній мережі. Бездротові мережі стають настільки популярними та поширеними, що подальший ріст споживчого попиту створює безліч нових проблем. Роумінг між точками доступу як і раніше не є бистрим та прозорим, ефективні засоби обмеження завантаження мережі відсутні. Друга проблема – нерівномірне розподіл пропускної спроможності: існуючі рішення для сумісного використання смуги перепускання не пристосовані для поєднання каналів.

В сув'язі з цим актуальним з'являється удосконалення бездротових мереж передачі даних являються підвищення продуктивності останніх.

**Мета роботи** – підвищення швидкості передачі інформації за рахунок адаптивного управління MAC рівня мережі.

**Основний розділ.** Підвищення якості роботи бездротових мереж, яке направлене на коректування якого-небудь одного параметра MAC-рівня не завжди ефективна. Дійсно, бездротова середа може страждати від безліч факторів, починаючи від низьких енергетичних співвідношень і закінчуючи колізіями пакетів, в результаті котрих різко збільшується кількість спроб, необхідних для відправки кожного пакета. Динамічна середа створює багатомірні проблеми, котрі неможливо розв'язати коректуванням одного параметра.

Наприклад, при високому рівні завад виникає спокуса просто знизити швидкість передачі, щоб поліпшити пропускну спроможність пристрої. Однак зниження швидкості передачі означає, що кожний пакет буде проводити більше часу «у ефірі» на шляху від передавача до приймача. Тім самим збільшується ймовірність колізій с другими пакетами. Інакше кажучи, при зміні швидкості передачі може потребуватися одночасна зміна другого параметра MAC-рівня для уникнення колізій пакетів. Зміна тільки одного параметра, скоріше усього, дасть тільки часткове підвищення продуктивності.

У зв'язку з цим, значна частина досліджень по поліпшення роботи бездротових локальних мереж присвячена адаптивній настройці. Адаптивна настройка дозволяє пристрою оптимізувати свої параметри у залежності від ха-

рактистик середи. Все це призводить до необхідності створення динамічних інтелектуальних адаптивних алгоритмів, котрі дозволять бездротовому пристрою динамічно оптимізувати одразу декілька параметрів доступу до середі передачі (MAC-рівень) у відповідь на зміну середі, в котрій працює пристрій. Це означає, що пристрій сам змінює свої параметри, обирає найбільш підходящий вузол доступу, мінімізує вплив завад, оптимізує роботу бездротової локальної мережі та поліпшує умови роботи користувачів.

Оскільки прогнозувати стан навколишньої середі бездротовому пристрою трудно, почти неможливо загодя обрати набір параметрів, котрий гарантував би оптимальну продуктивність всіх приложень. Адаптивні алгоритми повинні вирішувати цю проблему, дозволяючи пристрою самостійно коректувати свої настройки по мере змін середі; наприклад, коли раптово зникає завада чи виникає перевантаження вузла доступу. Ці алгоритми також спрощують розгортання бездротових пристроїв, постільки розробникам не потрібно будувати догадки відносно характеру трафіку мережі, з котрим буде працювати пристрій у процесі експлуатації.

Наприклад, коли у типовому офісі у одному неліцензуємому діапазоні частотного спектра звичайно працює декілька пристроїв. При цьому до кожного вузла доступу звичайно також підключено декілька бездротових пристроїв. У такій ситуації бездротові пристрої знижують швидкість передачі із-за збільшення рівня завад у порівнянні з рівнем сигналу вузла доступу, що сумісно використовується.

При використанні ж адаптивного алгоритму можливо одночасно з знижкою швидкості передачі даних знизити і поріг RTS. Це зменшує ймовірність колізій при одночасній посилки декілька пакетів. Змінюється і поріг фрагментації, щоб установити найліпший розмір для нових пакетів. Проблема полягає у тому, щоб визначити оптимальну конфігурацію для безліч взаємоз'язаних параметрів. Зміна одного параметра (наприклад, швидкості передачі) впливає на оптимальні значення других параметрів, наприклад порога RTS. По суті адаптивний алгоритм управління MAC-рівнем намагається знайти набір параметрів, котрий забезпечив би оптимальну загальну пропускну спроможність бездротового пристрою.

Одна із основних проблем управління ресурсами будь-якої телекомунікаційної системи із комутацією пакетів (надалі, - мережі) під час надання послуг - це визначення компромісу між ступенем використання вже задіяних ресурсів мережі і рівнем якості надання послуг.

За звичайних обставин з точки зору техніко-економічної ефективності необхідно прагнути до найбільш повного використання задіяних мережних ресурсів - у першу чергу, пакетних комутаторів, маршрутизаторів і каналів передачі даних, - щоб передавати якомога більші обсяги даних у перерахунку на одиницю вартості задіяного обладнання. Особливо це стосується сучасних телекомунікаційних мереж, що функціонують за стеком протоколів TCP/IP,

зокрема, тому що у критичних умовах ймовірність лавиноподібного зростання трафікового навантаження у таких мережах суттєво збільшується.

Робота пакетної мережі може вважатися ефективною, коли кожен її ресурс є суттєво завантаженим, але не перевантаженим. Усвідомлений вибір величини коефіцієнта використання ресурсу з урахуванням тонкої структури умов його застосування має визначальне значення. Величина цього коефіцієнту безпосередньо впливає на розміри черг пакетів до ресурсу та на час затримки пакетів в чергах і, за кінцевим рахунком, на якість надання телекомунікаційних послуг. Тому в процесі удосконалення роботи мережі намагаються знайти розумний компроміс у досягненні таких двох протилежних цілей. З одного боку, прагнуть поліпшити якість обробки трафіку, тобто намагаються знизити затримки в просуванні пакетів та зменшити втрати пакетів. Таке на практиці досягається, головним чином, за рахунок резервування ресурсів, а для цього потрібно мати додаткову незадіяну на даний момент частку пропускну спроможності комутатору. З другого боку, намагаються максимально збільшити інформаційне завантаження всіх ресурсів мережі з метою підвищення економічних показників її експлуатації. Компроміс в досягненні вищезазначених цілей, як показує практика, складає основний зміст задачі оптимізації роботи мережі. Для пакетної мережі, що є характерним у теперішній час при передачі даних, параметр навантаження пов'язується з такими показниками якості обслуговування, як час затримки повідомлення та ймовірність втрати пакету даних. Однак можна стверджувати, що названі показники якості обслуговування визначаються пропускну здатністю чи швидкістю передачі інформації. Будемо враховувати такі реально існуючі фактори, як завади, які призводять до зниження ймовірності помилок (одиноких та групових) і, як наслідок, до зменшення реальної пропускну здатності та швидкості передачі інформації. Для вищезазначеного ефективна швидкість передачі даних за умов відсутності переповнення буферу пам'яті можна визначити як:

$$R_e = f(R_0, V_k, n_p, t_r, \varepsilon, P_e, z), \quad (1)$$

де  $R_0$  – потенційна швидкість передачі інформаційних даних;  $V_k$  – кодова швидкість;  $n_p$  – довжина пакету даних;  $t_r$  – час розповсюдження сигналів через канал зв'язку, а також аналізу та підтвердження (або перепитування) прийому пакету;  $\varepsilon$  – показник групування помилок внаслідок завад;  $z$  – кількість перепитувань;  $P_e$  – ймовірність збою одиничного елемента сигналу даних.

У свою чергу ймовірність збою одиничного сигналу даних можливо визначити як

$$P_e = f(\bar{V}_m, q), \quad (2)$$

де  $\bar{V}_m$  – вектор параметрів модуляції,  $q$  – відношення сигнал/шум.

Сучасні системи радіодоступу для передачі інформації використовують, як

правило, різні види модуляції. Наприклад, стандарт IEEE 802.11n використовує наступні типи модуляції BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM при різних швидкостях згорткового кодування.

Для передачі інформації у цифровому вигляді по радіоканалам використовуються системи сигналів  $\bar{X} = \|X_{si}(t)\|$ , де  $i = \overline{1, N}$ ,  $N$  – число сигналів. Простішою системою сигналів з'являється двійкова, котра має два сигнали, котрі відрізняються фазами, частотою, амплітудою чи формою.

Систему з  $N$  сигналів характеризують з допомогою функцій невизначеності та спектральної щільності. Однак важливою характеристикою рахується енергетична відстань між сигналами

$$D_{ij} = \int_0^T [(x_{si}(t) - x_{sj}(t))] [ [(x_{si}(t) - x_{sj}(t))] ]^* dt,$$

де  $*$  – знак комплексного спряження.

Дійсно, відстань між сигналами пов'язана з ймовірністю похибки на біт  $P_e$ , наприклад, для гауссового каналу з двійковою модуляцією як

$$P_e = \frac{1}{2} \left[ 1 - \Phi \left( \sqrt{\frac{D_{1,2}}{2N_0}} \right) \right], \quad (3)$$

де  $N_0 = kT\Delta f$  – спектральна щільність білого шуму;  $k$  – постійна Больцмана;  $T_{ш}$  – шумова температура,  $\Delta f$  – смуга частот прийому;

$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt$  – функція Лапласа.

Чім більша відстань між сигналами, тим менше ймовірність похибки.

Сигнали з фазовою модуляцією (PSK) використовуються у вигляді двійкової (BPSK), квадратурної (QPSK) та восьмирічної (8-PSK) фазової модуляції. Енергетична відстань між названими сигналами визначається як

$$\text{BPSK} - D_{i,i+1} = 2\sqrt{E};$$

$$\text{QPSK} - D_{i,i+1} = 2\sqrt{E} \sin \frac{\pi}{4}; \quad \text{8-PSK} - D_{i,i+1} = 2\sqrt{E} \sin \frac{\pi}{8}.$$

У подальшому при збільшенні  $M$  відстань між сусідніми сигналами швидко зменшується, тому, не глядячи на зменшення смуги частот як використовуються в  $k = \log_2 M$  раз (по відношенню до BPSK сигналам), многократна фазова модуляція використовується тільки с  $M \leq 8$ .

Природним з'являється бажання повисить завадостійкість прийому сигналів за рахунок збільшення відстані між сусідніми сигналами  $D_{i,i+1}$  привело к пошуку многократних сигналів з більшим, чім у MPSK модуляції відстанню.

Такими перевагами володіють сигнали з квадратурною амплітудною

модуляцією (QAM), енергетична відстань для котрих визначається як  $D_{i,i+1} = \sqrt{2E} (\sqrt{M} - 1)^{-1}$ .

Дослідимо вплив енергетичних характеристик сигналів та довжини пакету, що приймаються на швидкість передачі інформації. Нехай пакет довжиною  $n_p$  містить  $k$  інформаційних елементів (тобто,  $V_k = k/n_p$ ), а ймовірність появи помилки у пакеті дорівнює  $P$ . Тоді час, що витрачається на одноразове передавання пакету даних, можливо визначити як:

$$T_p = t_r + \frac{n_p}{R_0},$$

а середній час на передачу пакета з урахуванням  $z$  можливих перезапитів відобразиться у такому вигляді:

$$t_1 = T_p \sum_{i=0}^z P^i.$$

Ймовірність відмови каналу та витрат часу на відновлення  $T_v$  внаслідок завад буде дорівнювати  $P^z$ . З урахуванням вищезазначеного вираз щодо ефективної швидкості передачі інформації буде мати такий вигляд:

$$R_e = V_k n_p \left[ T_p \sum_{i=0}^{z-1} P^i + P^z (T_p + T_v) \right]^{-1}. \quad (4)$$

Якщо у системі передачі даних застосовуються ефективні коди, що можуть виявляти помилки, то є справедливим таке;

$$P \approx P(\geq 1, n_p) = P_e n_p^\epsilon, \quad (5)$$

де  $P(\geq 1, n_p)$  – ймовірність збою в пакеті довжиною  $n_p$  одного і більше елементів.

Після підстановки (5) у (4) отримаємо:

$$R_e = V_k R_0 \frac{n_p (1 - P_e n_p^\epsilon)}{(R_0 t_A + n_p) + R_0 T_v (P_e n_p^\epsilon)^z}. \quad (6)$$

Вираз (6) наочно демонструє вплив основних чотирьох факторів, що впливають на зниження  $R_e$ . Співмножник у чисельнику (що в дужках) відображує ступінь зниження  $R_e$  внаслідок впливу завад, тобто з урахуванням (3) та енергетичної далекості сигналів характеризує вплив енергетичних характеристик сигналів, що приймаються.. Перший доданок у знаменнику виражає величину втрат  $R_e$ , які зумовлені часом аналізу повідомлення на приймальному кінці та очікування підтвердження на передавальному кінці  $t_A$ . Другий доданок обумовлює втрати  $R_e$ , що викликані можливою дією енергетичних співвідношень сигналів, що приймаються та перевищенням припустимого значення кількості перепитувань  $z$ .

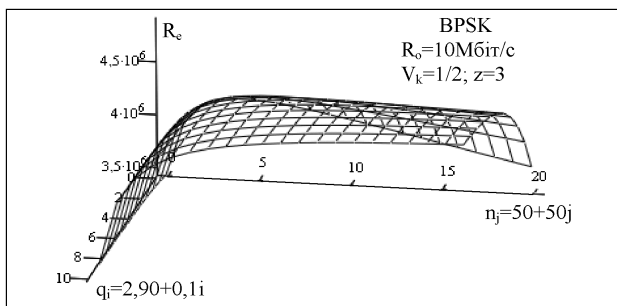


Рисунок 1 – Залежність  $R_e = f(q, n_p)$

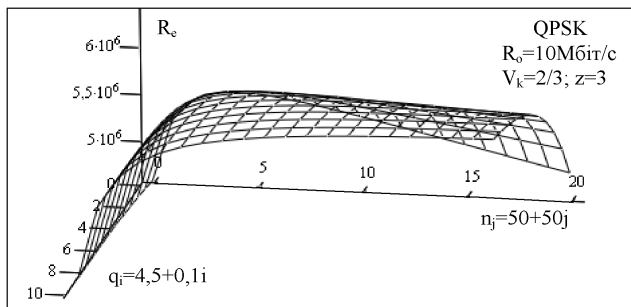


Рисунок 2 – Залежність  $R_e = f(q, n_p)$

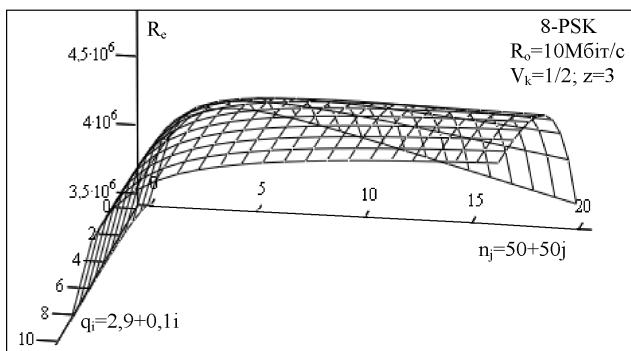


Рисунок 3 – Залежність  $R_e = f(q, n_p)$

Аналіз виразу (6) показує, що величина  $R_e$  в залежності від енергетичних характеристик сигналів, що приймаються та  $n_p$  має максимум, значення якого залежить від  $R_0$ ,  $V_k$ ,  $t_A$ ,  $z$ ,  $P_e$ ,  $\epsilon$  та  $T_V$ . Величина  $R_e$  визначає реальну пропускну здатність мережного обладнання і, таким чином, з одного боку, визначає час передачі пакету, а з іншого боку, вплив завад на системні характеристики системи обслуговування. Тим самим, параметр  $R_e$  можна вважати

одним із основних чинників, що безпосередньо пов'язує параметр навантаження з показниками якості обслуговування. Оптимальне значення довжини пакету  $n_{p\text{opt}}$ , яке забезпечує можливість досягнення  $R_{e\text{max}}$ , визначається із рівняння  $dR_e/dn_p = 0$ , яке навіть за умов абсолютної апаратної надійності має трансцендентний вигляд і у загальному вигляді не має аналітичного вирішення відносно  $n_p$ . На рис. 1-3 наведена залежність швидкості передачі інформації від довжини пакету та енергетичних співвідношень при різних типах модуляції. Як слідує з рис. 1-3 мається оптимальне значення довжини пакету, яке залежить від енергетичних співвідношень сигналів, що приймаються. Наведені на рис. 1-3 розрахунки отримані при  $\varepsilon = 0,7$ .

**Висновки.** Таким чином, наведені вище розрахунки дозволяють запропонувати алгоритм адаптивного управління MAC-рівнем. Цей алгоритм повинен передбачати аналіз характеристик бездротової середи передачі даних, повинен дати бездротовому пристрою можливість динамічно міняти різні параметри MAC-рівня у залежності від змін середи. Як і алгоритм вибору найліпшого вузла доступу, адаптивний алгоритм управління MAC-рівнем намагається знайти оптимальні настройки для конкретної середи. Алгоритм повинен урахувати:

- Швидкість передачі, котра визначається цільовим значенням частоти помилкових бітів при заданому співвідношенні сигнал-шум. При різних швидкостях передачі використовуються різні методи модуляції, що для підтримки потрібного значення BER дуже важливо правильно обрати швидкість передачі.
- Поріг фрагментації, котрий визначає розмір MAC-кадрів (з котрих складаються пакети), що передаються по радіоканалу. Коли поріг дуже малий, накладні затрати, пов'язані з заголовками MAC- та фізичного рівнів, знижують загальну пропускну спроможність, доступну клієнтському пристрою. Коли поріг дуже великий, MAC-кадри стають уразливими для завад.
- Поріг RTS (готовність до передачі), котрий визначає, потрібен чи обмін сигналами RTS-CTS перед передачею MAC-кадру. Обмін кадрами RTS-CTS служить для «резервування» середи передачі перед передачею кадрів даних, щоб виключити колізії у середі передачі.

В ситуації, коли кількість підключених до мережі споживачів та пристроїв збільшується, пристрої повинні мати реакцію на зовнішні фактори, роблячи вирішальний вплив на продуктивність. До таких факторів відносяться, в частковості, кількість доступних вузлів доступу, завантаження каналів, інтенсивність сигналу та завади від других пристроїв. Бездротові пристрої повинні адаптуватися до середи, яка постійно змінюється, зберігаючи оптимальну продуктивність.



**Список літератури: 1.** Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Распаев Ю.А. Сети и системы радиодоступа. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 384 с. **2.** Alazemi H.M.K., Margolis A., Choi J., Vijaykumar R., Roy S. Stochastic modeling and analysis of 802.11 DCF with heterogeneous non-saturated nodes // Computer Communications. – 2007. – Vol. 30, no. 18. – PP. 3652-3661. **3.** Шахнович И.В. Современные технологии беспроводной связи. – М.: Техносфера, 2006. – 288 с. **4.** Duffy K., Malone D., Leith D. Modeling the 802.11 Distributed Coordination Function in Non-saturated Conditions // IEEE Commun. Letters. – 2005. – Vol. 9, no. 8. – PP. 715-717. **5.** Bianchi G., Tinnirello I. Remarks on IEEE 802.11 DCF performance analysis // IEEE Commun. Letters. – 2005. – Vol. 9, no. 8. – PP. 765-767.

*Надійшла до редколегії 24.03.2009.*