

ЕЛЕКТРОНІКА, РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.39

DOI: 10.20535/1810-0546.2017.5.97479

А.П. Войтер*

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

ОПТИМІЗАЦІЯ ДОВЖИНИ ПАКЕТІВ ДАНИХ В АДАПТИВНИХ РАДІОМЕРЕЖАХ

Background. Development of methods and means of the adaptive management of the radio networks bandwidth with competitive access to the radio channel.

Objective. The aim of the paper is to determine the packet length effect on the effective radio networks transmission rate with taking into account the parameters, formats, and procedures of the physical and link levels at using the MAC protocol with a rigid strategy of competitive access to the radio channel.

Methods. The goal is achieved by creating and analyzing the mathematical model of the effective transmission rate in radio networks. The model is described by the equation for the effective transmission rate, which is the function of both the probability of the conflict-free transmission of the MAC protocol and the coefficient of the data packet size deviation from the optimal for LLC protocol.

Results. It is proved that there is the optimal deviation of the data packet length for each MAC protocol traffic intensity value, which provides the most effective transfer rate. This makes the possibility for adaptive management of the radio bandwidth by applying a pre-calculated deviation of the data packet size in dependence on the traffic intensity.

Conclusions. The proposed mathematical model is the tool for calculation of both the radio bandwidth network capacity and the optimal deviation of the data packet length at adaptive management of competitive access to a radio channel with a rigid strategy at conditions of the significant fluctuation in traffic intensity.

Keywords: radio networks; competitive access; mathematical model; adaptive management; package.

Вступ

У радіомережах передачі даних із пакетною комутацією використовують адаптивні протоколи для запобігання зниженню рівня якості мережного сервісу та підтримки високої пропускної здатності в умовах значних коливань інтенсивності трафіка та заводової нестабільності [1–5]. Одним із параметрів, якими стабілізують роботу мереж, є довжина пакетів даних, розмір яких має втримуватись на оптимальному рівні в різних умовах функціонування мережі.

При оцінюванні ефективності роботи радіомереж прийнято розрізняти номінальну й ефективну швидкість передачі. Номінальна швидкість встановлюється на фізичному рівні мережі у вигляді побітової швидкості передачі даних. Ефективна швидкість передачі визначається протоколами каналного рівня, які задають формати пакетів і процедури керування логічними з'єднаннями – протокол керування логічним каналом (LLC – Logical Link Control), а також задають порядок спільного використання радіоканалу – протокол керування доступом до радіоканалу (MAC – Medium Access Control). Ефективна швидкість передачі завжди нижча фізичної швидкості через наяв-

ність у радіоканалі завод різної природи, протокольної надмірності у форматах пакетів і процедурах протоколу LLC різного рівня. Заводи в радіоканалі призводять до неминучих пошкоджень пакетів і необхідності їх повторної передачі або запровадження кодової надмірності для виправлення помилок у пакетах. Повторні передачі пакетів також спричиняються конфліктами при використанні в MAC-протоколі конкурентних процедур доступу до радіоканалу. Максимальне значення ефективної швидкості передачі характеризує пропускну здатність радіомереж.

У [6] досліджено вплив довжини пакетів даних на пропускну здатність радіомереж з урахуванням параметрів, форматів і процедур фізичного та каналного рівнів логічної структури радіомереж при використанні MAC-протоколу доступу до радіоканалу з гнучкою стратегією.

Постановка задачі

Метою роботи є побудова математичної моделі для визначення впливу довжини пакетів на ефективну швидкість передачі радіомереж з урахуванням параметрів, форматів і процедур фізичного та каналного рівнів при викорис-

*corresponding author: voiter@kinr.kiev.ua

танні MAC-протоколу з жорсткою стратегією доступу до радіоканалу.

Математична модель

Ймовірність успішної передачі для того чи іншого MAC-протоколу залежить як від процедур і довжини пакетів самого протоколу, так і від інтенсивності трафіка. Існує багато MAC-протоколів із різними стратегіями доступу до радіоканалу. Найбільш загальною характеристикою стратегій є їх жорсткість відносно зайнятого стану радіоканалу. Розрізняють гнучкі протоколи множинного доступу з контролем сигналу несучої (МДКН) та жорсткі протоколи МДКН [1]. У нашій роботі буде визначено оптимальний розмір пакетів для жорсткого протоколу МДКН з урахуванням комплексного впливу фізичного та каналного рівнів радіомережі.

Суть процедур жорсткого протоколу МДКН така. Перед початком передачі абонент повинен перевірити наявність сигналу несучої в радіоканалі. Якщо сигнал несучої відсутній, тобто радіоканал вільний, то пакет передається. За наявності сигналу несучої передача відкладається, і абонент постійно перевіряє сигнал несучої, доки радіоканал не звільниться. Щойно радіоканал стає вільним, негайно розпочинається відкладена раніше передача. Очевидно, що коли за час зайнятого стану радіоканалу кількість відкладених передач буде більше однієї, то це призведе до неминучого конфлікту після звільнення радіоканалу. З початку передачі протягом інтервалу вразливості, рівного часу поширення радіосигналу в мережі, інші абоненти, не відчувачи сигналу несучої, можуть почати власну передачу, що також призведе до накладання пакетів і їх взаємного руйнування. Пакети, які потрапили в конфлікт, передаються повторно через випадковий інтервал часу.

На фізичному рівні ймовірність успішної передачі пакета залежить від інтенсивності помилок у радіоканалі та зростає зі зменшенням довжини пакета і, відповідно, знижується при її збільшенні. З другого боку, LLC-протокол, навпаки, зменшує (збільшує) свою ефективну швидкість передачі при скороченні (збільшенні) довжини поля даних через наявність фіксованих полів службової інформації у форматах пакетів.

Комплексну ефективну швидкість передачі C у пакетній радіомережі при заданій фізичній швидкості передачі V визначимо з урахуванням

впливу C_{PL} фізичного рівня, який характеризується ймовірністю P_p успішної передачі пакета, та каналного рівня, ефективна швидкість C_L якого визначається впливом прийнятого формату кадра в протоколі LLC і ймовірністю P_M успішної передачі жорсткого протоколу МДКН:

$$C = VC_{PL}P_M. \quad (1)$$

При заданій ймовірності p помилки на один біт у радіоканалі ймовірність безпомилкової передачі пакета визначається його довжиною (кількістю біт) $L = n + c$, де n – довжина інформаційної частини пакета, c – довжина службової частини пакета (протокольна надмірність): $P_p = (1 - p)^{(n+c)}$.

Ефективна швидкість передачі LLC-протоколу визначається відношенням довжини інформаційної частини пакета до загальної довжини пакета: $C_L = \frac{n}{L}$.

Тоді з урахуванням оптимальної для LLC-протоколу довжини інформаційної частини пакета n_o , яка забезпечує максимальне значення ефективної швидкості передачі фізичного рівня та протоколу LLC [5], маємо

$$C_{PL} = \frac{[m_o + (r - 1)c](1 - p)^{r(n_o+c)}}{r(n_o + c)}, \quad (2)$$

де $r = \frac{n + c}{n_o + c}$ – коефіцієнт відхилення довжини пакета відносно його номінального значення для LLC-протоколу,

$$n_o = \frac{-c \ln(1 - p) - \sqrt{(c \ln(1 - p))^2 - 4c \ln(1 - p)}}{2 \ln(1 - p)}.$$

Отримаємо рівняння ймовірності безконфліктної передачі для жорсткого протоколу МДКН за довжини пакетів даних L . Для спрощення аналізу зазвичай припускають, що пакети, які надходять для передачі, та пакети, передача яких відкладена через наявність сигналу несучої або через необхідність повторної передачі, утворюють єдине джерело надходження пакетів з інтенсивністю λ [6]. Час передачі одного пакета $T = \frac{L}{V}$. Процес зміни станів пакетної радіомережі описується одновимірним ланцюгом Маркова з неперервним часом. Для жорсткого протоколу МДКН радіомережа може пе-

ребувати в одному з восьми станів: вільному ($k=0$), вразливості ($k=1$), безконфліктної передачі ($k=2$), безконфліктної передачі з однією відкладеною передачею ($k=3$), безконфліктної передачі з більш ніж однією відкладеною передачею ($k=4$), конфліктної передачі ($k=5$), конфліктної передачі з однією відкладеною передачею ($k=6$), конфліктної передачі з більш ніж однією відкладеною передачею ($k=7$).

Розглянемо ймовірності переходів між станами радіоканалу з довільного часу t за нескінченно малий інтервал Δt .

1. Якщо радіоканал перебуває в стані $\{0\}$, тобто радіоканал вільний, то:

- з імовірністю $\lambda\Delta t$ за інтервал часу Δt з вхідного потоку надійде новий пакет, який негайно займе радіоканал, що призведе до його переходу в момент часу $t + \Delta t$ у стан вразливості $\{1\}$;

- з імовірністю $1 - \lambda\Delta t$ стан радіоканалу не зміниться.

2. Якщо радіоканал перебуває в стані $\{1\}$, тобто в інтервалі вразливості тривалістю a , то:

- з імовірністю $\frac{\Delta t}{a}$ інтервал вразливості закінчиться до того, як надійде хоча б ще один пакет, і радіоканал перейде в стан безконфліктної передачі пакета $\{2\}$;

- з імовірністю $\lambda\Delta t$ надійде новий пакет із вхідного потоку, станеться конфлікт, і в момент часу $t + \Delta t$ радіоканал перебуватиме в стані передачі пакетів із конфліктом $\{5\}$;

- з імовірністю $1 - \left(\frac{1}{a} + \lambda\right)\Delta t$ стан радіоканалу не зміниться.

3. Якщо радіоканал перебуває в стані $\{2\}$, тобто здійснюється безконфліктна передача пакета, то:

- з імовірністю $\frac{\Delta t}{T}$ передача пакета завершиться, і радіоканал перейде у вільний стан $\{0\}$;

- з імовірністю $\lambda\Delta t$ за інтервал часу Δt з вхідного потоку надійде новий пакет, і радіоканал перейде в стан безконфліктної передачі з однією відкладеною передачею $\{3\}$;

- з імовірністю $1 - \left(\frac{1}{T} + \lambda\right)\Delta t$ стан радіоканалу не зміниться.

4. Якщо радіоканал перебуває в стані $\{3\}$, тобто здійснюється безконфліктна передача з однією відкладеною передачею, то:

- з імовірністю $\frac{\Delta t}{T}$ безконфліктна передача пакета завершиться, розпочнеться передача відкладеного пакета, і радіоканал перейде в стан вразливості $\{1\}$;

- з імовірністю $\lambda\Delta t$ за інтервал часу Δt з вхідного потоку надійде новий пакет, і радіоканал перейде в стан безконфліктної передачі з більш ніж однією відкладеною передачею $\{4\}$;

- з імовірністю $1 - \left(\frac{1}{T} + \lambda\right)\Delta t$ стан радіоканалу не зміниться.

5. Якщо радіоканал перебуває в стані $\{4\}$, тобто здійснюється безконфліктна передача з більш ніж однією відкладеною передачею, то:

- з імовірністю $\frac{\Delta t}{T}$ безконфліктна передача пакета завершиться, і розпочнеться одночасна передача відкладених пакетів, тобто радіоканал перейде в стан конфліктної передачі пакетів $\{5\}$;

- з імовірністю $1 - \frac{\Delta t}{T}$ стан радіоканалу не зміниться.

6. Якщо радіоканал перебуває в стані $\{5\}$, тобто здійснюється конфліктна передача пакетів, то:

- з імовірністю $\frac{\Delta t}{T}$ конфліктна передача пакетів завершиться до того, як надійде бодай один пакет, і радіоканал перейде у вільний стан $\{0\}$.

- з імовірністю $\lambda\Delta t$ за інтервал часу Δt з вхідного потоку надійде новий пакет, і радіоканал перейде в стан конфліктної передачі з однією відкладеною передачею $\{6\}$;

- з імовірністю $1 - \left(\frac{1}{T} + \lambda\right)\Delta t$ стан радіоканалу не зміниться.

7. Якщо радіоканал перебуває в стані $\{6\}$, тобто здійснюється конфліктна передача з однією відкладеною передачею, то:

- з імовірністю $\frac{\Delta t}{T}$ конфліктна передача пакета завершиться, і розпочнеться передача відкладеного пакета, тобто радіоканал перейде в стан вразливості $\{1\}$;

- з імовірністю $\lambda\Delta t$ за інтервал часу Δt з вхідного потоку надійде новий пакет, і радіоканал перейде в стан конфліктної передачі з більш ніж однією відкладеною передачею $\{7\}$;

- з імовірністю $1 - \left(\frac{1}{T} + \lambda\right)\Delta t$ стан радіо-каналу не зміниться.

8. Якщо радіоканал перебуває в стані $\{7\}$, тобто здійснюється конфліктна передача з більш ніж однією відкладеною передачею, то:

- з імовірністю $\frac{\Delta t}{T}$ конфліктна передача пакета завершиться, і розпочнеться передача відкладених пакетів, тобто радіоканал перейде в стан передачі пакетів з конфліктом $\{5\}$;
- з імовірністю $1 - \frac{1}{T}\Delta t$ стан радіоканалу не зміниться.

У таблиці подані стани радіоканалу для жорсткого протоколу МДКН та ймовірності переходів між ними, причому перехід здійснюється в напрямі від стану, що міститься в крайньому лівому стовпчику таблиці, до стану, що міститься у верхньому рядку таблиці.

Із таблиці можна записати систему скінченнорізницевих рівнянь для ймовірності станів радіоканалу:

$$P_0(t + \Delta t) = (1 - \lambda\Delta t) P_0(t) + \frac{1}{T} \Delta t P_2(t) + \frac{1}{T} \Delta t P_5(t),$$

$$P_1(t + \Delta t) = \left(1 - \left(\frac{1}{a} + \lambda\right)\Delta t\right) P_1(t) + \lambda\Delta t P_0(t) +$$

$$+ \frac{1}{T} \Delta t P_3(t) + \frac{1}{T} \Delta t P_6(t),$$

$$P_2(t + \Delta t) = \left(1 - \left(\frac{1}{T} + \lambda\right)\Delta t\right) P_2(t) + \frac{1}{a} \Delta t P_1(t),$$

$$P_3(t + \Delta t) = \left(1 - \left(\frac{1}{T} + \lambda\right)\Delta t\right) P_3(t) + \lambda\Delta t P_2(t),$$

$$P_4(t + \Delta t) = \left(1 - \frac{1}{T}\Delta t\right) P_4(t) + \lambda\Delta t P_3(t),$$

$$P_5(t + \Delta t) = \left(1 - \left(\frac{1}{T} + \lambda\right)\Delta t\right) P_5(t) + \frac{1}{T} \Delta t P_4(t) + \lambda\Delta t P(t)_1 + \frac{1}{T} \Delta t P_7(t),$$

$$P_6(t + \Delta t) = \left(1 - \left(\frac{1}{T} + \lambda\right)\Delta t\right) P_6(t) + \lambda\Delta t P_5(t),$$

$$P_7(t + \Delta t) = \left(1 - \frac{1}{T}\Delta t\right) P_7(t) + \lambda\Delta t P_6(t).$$

Після здійснення нескладних перетворень і переходу до $\Delta t \rightarrow 0$ отримуємо систему лінійних диференціальних рівнянь, що задовольняє розподіл ймовірностей станів радіоканалу:

$$\frac{\partial P_0(t)}{\partial t} = -\lambda P_0(t) + \frac{1}{T} P_2(t) + \frac{1}{T} P_5(t),$$

Таблиця. Ймовірності переходів станів радіоканалу

	P_0	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_0	$1 - \lambda\Delta t$	$\lambda\Delta t$	–	–	–	–	–	–
P_1	–	$1 - \left(\frac{1}{a} + \lambda\right)\Delta t$	$\frac{\Delta t}{a}$	–	–	$\lambda\Delta t$	–	–
P_2	$\frac{\Delta t}{T}$	–	$1 - \left(\frac{1}{T} + \lambda\right)\Delta t$	$\lambda\Delta t$	–	–	–	–
P_3	–	$\frac{\Delta t}{T}$	–	$1 - \left(\frac{1}{T} + \lambda\right)\Delta t$	$\lambda\Delta t$	–	–	–
P_4	–	–	–	–	$1 - \frac{1}{T}\Delta t$	$\frac{\Delta t}{T}$	–	–
P_5	$\frac{\Delta t}{T}$	–	–	–	–	$1 - \left(\frac{1}{T} + \lambda\right)\Delta t$	$\lambda\Delta t$	–
P_6	–	$\frac{\Delta t}{T}$	–	–	–	–	$1 - \left(\frac{1}{T} + \lambda\right)\Delta t$	$\lambda\Delta t$
P_7	–	–	–	–	–	$\frac{\Delta t}{T}$	–	$1 - \frac{1}{T}\Delta t$

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_1(t)}{\partial t} &= -\left(\frac{1}{a} + \lambda\right) P_1(t) + \\ &+ \lambda P_0(t) + \frac{1}{T} P_3(t) + \frac{1}{T} P_6(t), \\ \frac{\partial P_2(t)}{\partial t} &= -\left(\frac{1}{T} + \lambda\right) P_2(t) + \frac{1}{a} P_1(t), \\ \frac{\partial P_3(t)}{\partial t} &= -\left(\frac{1}{T} + \lambda\right) P_3(t) + \lambda P_2(t), \\ \frac{\partial P_4(t)}{\partial t} &= -\frac{1}{T} P_4(t) + \lambda P_3(t), \\ \frac{\partial P_5(t)}{\partial t} &= -\left(\frac{1}{T} + \lambda\right) P_5(t) + \\ &+ \frac{1}{T} P_4(t) + \lambda P_1(t) + \frac{1}{T} P_7(t), \\ \frac{\partial P_6(t)}{\partial t} &= -\left(\frac{1}{T} + \lambda\right) P_6(t) + \lambda P_5(t), \\ \frac{\partial P_7(t)}{\partial t} &= -\frac{1}{T} P_7(t) + \lambda P_6(t). \end{aligned}$$

З умови стаціонарності з цієї системи рівнянь отримаємо систему лінійних алгебричних рівнянь, що зв'язує між собою ймовірності станів радіоканалу:

$$\begin{aligned} \lambda P_0 &= \frac{1}{T} P_2 + \frac{1}{T} P_5, \\ \left(\frac{1}{a} + \lambda\right) P_1 &= \lambda P_0 + \frac{1}{T} P_3 + \frac{1}{T} P_6, \\ \left(\frac{1}{T} + \lambda\right) P_2 &= \frac{1}{a} P_1, \\ \left(\frac{1}{T} + \lambda\right) P_3 &= \lambda P_2, \\ \frac{1}{T} P_4 &= \lambda P_3, \\ \left(\frac{1}{T} + \lambda\right) P_5 &= \frac{1}{T} P_4 + \lambda P_1 + \frac{1}{T} P_7, \\ \left(\frac{1}{T} + \lambda\right) P_6 &= \lambda P_5, \\ \frac{1}{T} P_7 &= \lambda P_6. \end{aligned}$$

Розв'язком цієї системи рівнянь є значення ймовірностей кожного стану радіоканалу:

$$P_0 = \left(\frac{1}{\lambda T} + \frac{\lambda T^2 + a(1 + \lambda T)^2}{T(1 + 2\lambda T)}\right) P_2 = K_0 P_0;$$

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{a(1 + \lambda T)P_2}{T} = K_1 P_1; \quad P_3 = \frac{\lambda T P_2}{1 + \lambda T} = K_3 P_3; \\ P_4 &= \frac{(\lambda T)^2 P_2}{1 + \lambda T} = K_4 P_4; \\ P_5 &= \frac{\lambda(\lambda T^2 + a(1 + \lambda T)^2)P_2}{1 + 2\lambda T} = K_5 P_5; \\ P_6 &= \frac{\lambda^2 T(\lambda T^2 + a(1 + \lambda T)^2)P_2}{(1 + 2\lambda T)(1 + \lambda T)} = K_6 P_6; \\ P_7 &= \frac{(\lambda T)^2 \lambda(\lambda T^2 + a(1 + \lambda T)^2)P_2}{(1 + 2\lambda T)(1 + \lambda T)} = K_7 P_7, \end{aligned}$$

$$\text{де } P_2 = \frac{1}{K_0 + K_1 + 1 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 + K_7} \quad (3)$$

урахуванням нормування $\sum_{i=0}^{i=7} P_i = 1$.

З урахуванням того, що безконфліктна передача здійснюється, коли радіоканал перебуває в другому, третьому або четвертому стані, вірогідність успішної передачі для жорсткого протоколу МДКН становить

$$P_M = P_2 + P_3 + P_4. \quad (3)$$

Отже, ефективну швидкість передачі для MAC-протоколу з жорсткою стратегією керування доступом можна записати у вигляді

$$C_M = V(P_2 + P_3 + P_4).$$

Беручи до уваги (1), (2) і (3), отримаємо рівняння комплексної ефективної швидкості передачі:

$$C = \frac{V(P_2 + P_3 + P_4)[rn_0 + (r-1)c](1-p)^{r(n_0+c)}}{r(n_0+c)}. \quad (4)$$

Аналіз числових результатів

На рис. 1 зображено приклади залежності ефективної швидкості передачі MAC-протоколу C_M від інтенсивності трафіка. Цей і наступні графіки побудовані для мережі розміром 30 км, що дає значення $a = 10^{-5}$ с, фізичної швидкості передачі $V = 10^6$ біт/с, довжини службової частини пакета $C = 50$ біт і ймовірності помилки в радіоканалі $p = 10^{-5}$. З графіка видно, що при зміні довжини пакетів даних пропускна здатність не змінюється, а змінюється лише межа стійкості мережі. Наприклад, для оптимальної довжини пакетів ($r = 1$), при зростанні інтенсив-

вності трафіка до межі стійкості ($\lambda = 1$), ефективна швидкість передачі збільшується, а за межею стійкості кількість конфліктів починає переважає кількість успішних передач пакетів, і ефективна швидкість передачі знижується. Це характерно для МДКН-протоколів, які ефективні лише у відносно вузькому діапазоні інтенсивності передач. Очевидно, що для кожного значення інтенсивності трафіка можна розрахувати оптимальну довжину пакетів даних, яка забезпечує ефективну швидкість передачі на рівні пропускної здатності. Таким чином, є можливість адаптивного керування пропускною здатністю мережі зміною довжини пакетів даних відповідно до поточного значення інтенсивності трафіка в широкому діапазоні його значень. З іншої сторони, в [6] було показано, що збільшення або зменшення довжини пакетів відносно оптимального значення n_0 призводить до зниження ефективної швидкості передачі на фізичному рівні та на рівні LLC-протоколу. Ця обставина врахована в рівнянні (4).

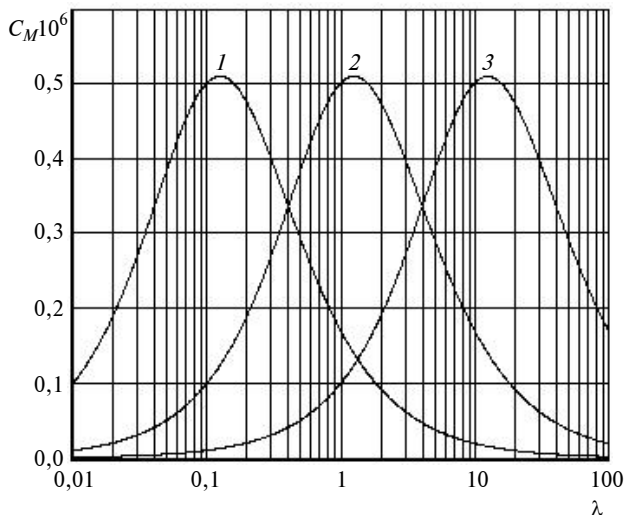


Рис. 1. Ефективна швидкість передачі MAC-протоколу залежно від інтенсивності трафіка λ та розміру пакетів r : 1 – $r = 0,1$; 2 – $r = 1$; 3 – $r = 10$

На рис. 2 показано графік $C(\lambda, r)$, який ілюструє загальну картину комплексної залежності ефективної швидкості передачі від інтенсивності трафіка та відхилення розміру пакетів від номінального при жорсткій стратегії керування доступом до радіоканалу.

На рис. 3 для наочності показано перерізи поверхні на рис. 2 за трьох значень довжини пакетів, які демонструють діапазон адаптивного керування, в якому радіомережа функціонує в стійкому режимі з максимальною ефектив-

ною швидкістю передачі. Видно, що за оптимального розміру пакетів даних ($r = 1$) пропускна здатність мережі $0,487 \cdot 10^6$ біт/с досягається приблизно при $\lambda = 1$; за збільшеного в десять разів розміру ($r = 10$) пропускна здатність мережі $0,418 \cdot 10^6$ біт/с буде при $\lambda = 0,1$; за зменшеного в десять разів ($r = 0,1$) пропускна здатність мережі $0,379 \cdot 10^6$ біт/с – при $\lambda = 10$. Видно також, що при вказаному відхиленні від оптимального розміру пакетів даних у бік збільшення або зменшення спостерігається незначне зниження пропускної здатності мережі (на 17 і 13 % відповідно).

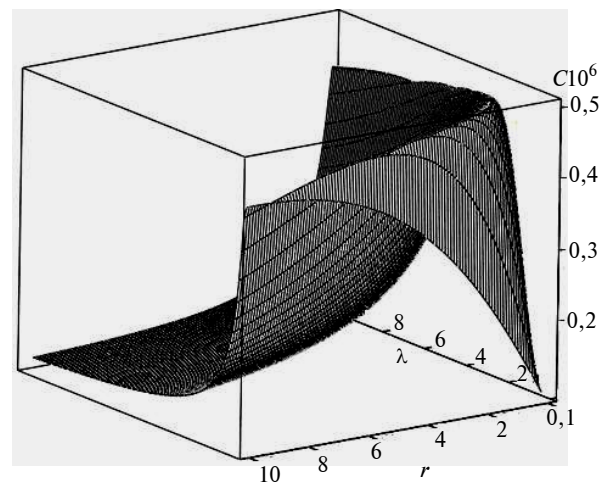


Рис. 2. Комплексна ефективна швидкість передачі залежно від інтенсивності трафіка λ та розміру пакетів r

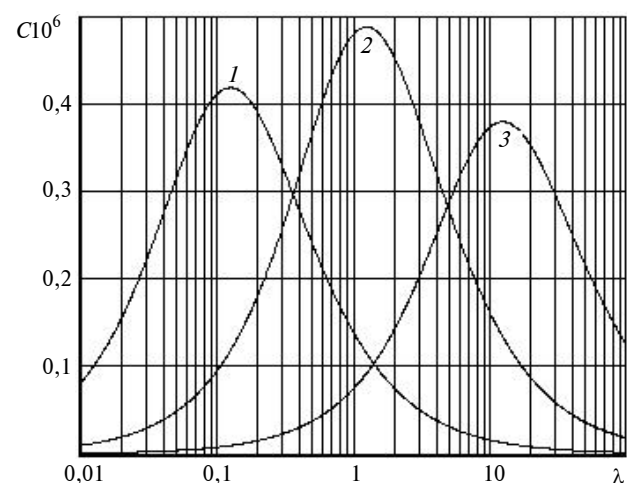


Рис. 3. Діапазон адаптивного керування залежно від розміру пакетів r : 1 – $r = 0,1$; 2 – $r = 1$; 3 – $r = 10$

На рис. 4 показано існування для кожного значення інтенсивності трафіка опти-

мального значення довжини пакетів даних, яке забезпечує максимальну ефективну швидкість передачі.

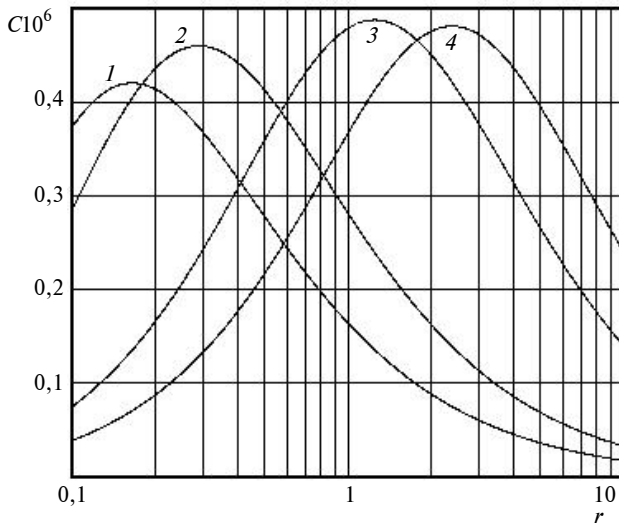


Рис. 4. Ефективна швидкість передачі залежно від розміру пакетів r та інтенсивності трафіка λ : 1 – $\lambda = 10$; 2 – $\lambda = 5$; 3 – $\lambda = 1$; 4 – $\lambda = 0,5$

Висновки

Запропонована математична модель може бути використана в адаптивних LLC- і MAC-протоколах пакетних радіомереж для розрахунку оптимального значення довжини пакетів даних в умовах комплексного впливу фізичного і каналного рівнів мережі при конкурентному доступі до радіоканалу за жорсткою стратегією, а також для обчислення ефективної швидкості передачі даних для кожного набору значень системних параметрів.

Доведено, що для кожного значення інтенсивності трафіка для MAC-протоколу з жорсткою стратегією існує оптимальне значення довжини пакетів даних, яке забезпечує максимальну ефективну швидкість передачі. Це дає можливість адаптивного керування пропускну здатністю радіомереж в умовах зміни інтенсивності трафіка та достовірності передачі в радіоканалі завдяки застосуванню попередньо розрахованого оптимального розміру пакетів даних залежно від інтенсивності трафіка.

Подальші дослідження будуть проведені для MAC-протоколів з іншими стратегіями адаптивного керування.

Список літератури

1. Самоорганизующиеся радиосети со сверхширокополосными сигналами / С.Г. Бунин, А.П. Войтер, М.Е. Ильченко, В.А. Романюк. – К.: Наук. думка, 2012. – 444 с.
2. Головін В.А. Фрагментация пакетів в радіоканалах передачі даних // Вісник НТУУ “КПІ”. Сер. Радіотехніка, радіоапаратобудування. – 2016. – № 67. – С. 30–33.
3. Minho K., Chong-Ho C. Joint rate and fragment size adaptation in IEEE 802.11n wireless LANs // 2011 IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), Jan. 9–12, 2011, Las Vegas. – P. 842–847.
4. Гуляев К.Д., Кантур В.А., Тихонов В.І. Принципи організації адаптивної взаємодії відкритих систем // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2012. – № 2. – С. 7–15.
5. Raisinghani V.T., Iyer S. Cross-layer design optimizations in wireless protocol stacks // Comp. Commun. – 2004. – 27, № 8. – P. 720–724.
6. Войтер А.П. Комплексний аналіз ефективної швидкості передачі в адаптивних пакетних радіомережах // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2013. – № 6. – С. 7–12.

References

- [1] S.G. Bunin et al., *Self-Organizing Radio Networks with Ultra-Wideband Signals*. Kyiv, Ukraine: Naukova Dumka, 2012 (in Russian).
- [2] V.A. Golovin, “Fragmentation of packets in the radio data channels”, *Visnyk NTUU KPI. Ser. Radiotekhnika, Radioaparato-buduvannia*, no. 67, pp. 30–33, 2016 (in Ukrainian).
- [3] K. Minho and C. Chong-Ho, “Joint rate and fragment size adaptation in IEEE 802.11n wireless LANs”, in *Proc. IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, Las Vegas, Jan. 9–12, 2011, pp. 842–847. doi: 10.1109/CCNC.2011.5766646
- [4] K.D. Gulyaev et al., “The principles of adaptive interconnection for open systems”, *Naukovi Visti NTUU KPI*, no. 2, pp. 7–15, 2014 (in Ukrainian).
- [5] V.T. Raisinghani and S. Iyer, “Cross-layer design optimizations in wireless protocol stacks”, *Comp. Commun.*, vol. 27, no. 8, pp. 720–724, 2004. doi: 10.1016/j.comcom.2003.10.011
- [6] A.P. Voiter, “Comprehensive analysis of the effective rate in adaptive packet radio networks”, *Naukovi Visti NTUU KPI*, 2013, no. 6, pp. 7–12 (in Ukrainian).

А.П. Войтер

ОПТИМИЗАЦІЯ ДОВЖИНИ ПАКЕТІВ ДАНИХ В АДАПТИВНИХ РАДІОМЕРЕЖАХ

Проблематика. Розробка методів і засобів адаптивного керування пропускну здатністю радіомереж із конкурентним доступом до радіоканалу.

Мета дослідження. Визначення впливу довжини пакетів на ефективну швидкість передачі радіомереж з урахуванням параметрів, форматів і процедур фізичного та каналного рівнів при використанні MAC-протоколу з жорсткою стратегією конкурентного доступу до радіоканалу.

Методика реалізації. Поставлена мета досягається створенням й аналізом математичної моделі ефективної швидкості передачі в радіомережах. Модель описується рівнянням ефективної швидкості передачі, яке є функцією вірогідності безконфліктної передачі MAC-протоколу та коефіцієнта відхилення розміру пакетів даних від оптимального для LLC-протоколу.

Результати досліджень. Доведено, що для кожного значення інтенсивності трафіка для MAC-протоколу існує оптимальна довжина пакетів даних, яка забезпечує максимальну ефективну швидкість передачі. Це дає можливість адаптивного керування пропускну здатністю радіомереж завдяки застосуванню попередньо розрахованого розміру пакетів даних залежно від інтенсивності трафіка.

Висновки. Запропонована математична модель є інструментом розрахунку пропускну здатності радіомереж та оптимального розміру пакетів даних при адаптивному керуванні конкурентним доступом до радіоканалу з жорсткою стратегією в умовах значного коливання інтенсивності трафіка.

Ключові слова: радіомережі; конкурентний доступ; математична модель, адаптивне керування; пакет.

А.П. Войтер

ОПТИМИЗАЦИЯ ДЛИНЫ ПАКЕТОВ ДАННЫХ В АДАПТИВНЫХ РАДИОСЕТЯХ

Проблематика. Разработка методов и средств адаптивного управления пропускной способностью радиосетей с конкурентным доступом к радиоканалу.

Цель исследования. Определение влияния длины пакетов на эффективную скорость передачи радиосетей с учетом параметров, форматов и процедур физического и канального уровней при использовании MAC-протокола с жесткой стратегией конкурентного доступа к радиоканалу.

Методика реализации. Поставленная цель достигается созданием и анализом математической модели эффективной скорости передачи в радиосетях. Модель описывается уравнением эффективной скорости передачи, которое является функцией вероятности бесконфликтной передачи MAC-протокола и коэффициента отклонения размера пакетов данных от оптимального для LLC-протокола.

Результаты исследований. Доказано, что для каждого значения интенсивности трафика для MAC-протокола существует оптимальное отклонение длины пакетов данных, которое обеспечивает максимальную эффективную скорость передачи. Это дает возможность адаптивного управления пропускной способностью радиосетей путем применения предварительно рассчитанного отклонения размера пакетов данных в зависимости от интенсивности трафика.

Выводы. Предложенная математическая модель является инструментом расчета пропускной способности радиосетей и оптимального отклонения длины пакетов данных при адаптивном управлении конкурентным доступом к радиоканалу с жесткой стратегией в условиях значительного колебания интенсивности трафика.

Ключевые слова: радиосети; конкурентный доступ; математическая модель; адаптивное управление; пакет.

Рекомендована Радою
Інституту телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції
26 березня 2017 року