

DOI: 10.20535/kpissn.2023.1-4.274795

УДК 621.39

А.П. Войтер

Інститут ядерних досліджень НАН України, м. Київ, Україна
voiter@kinr.kiev.ua**АДАПТИВНЕ УПРАВЛІННЯ НА КАНАЛЬНОМУ РІВНІ ПАКЕТНИХ
РАДІОМЕРЕЖ З ЖОРСТКОЮ СТРАТЕГІЄЮ
ДОСТУПУ ДО РАДІОКАНАЛУ**

Проблематика. Розроблення методів та засобів адаптивного керування пропускнуою здатністю радіомереж з конкурентним доступом до радіоканалу.

Мета дослідження. Визначення впливу довжини пакетів на ефективну швидкість передачі радіомереж з урахуванням параметрів, форматів і процедур фізичного і каналного рівнів під час використання шести можливих стратегій адаптивного протоколу МДКН з жорсткою стратегією конкурентного доступу до радіоканалу.

Методика реалізації. Поставлена мета досягається створенням та аналізом математичної моделі ефективної швидкості передачі в радіомережі. Модель описується рівняннями ефективної швидкості передачі, яке є функцією вірогідності безконфліктної передачі адаптивного протоколу МДКН для кожної стратегії та коефіцієнта відхилення розміру пакетів даних від оптимального для LLC-протоколу з урахуванням ймовірності пошкодження пакетів завадами в радіоканалі.

Результати досліджень. За допомогою створеної математичної моделі доведено, що з шести стратегій управління довжиною пакетів для адаптивних протоколів МДКН з жорсткою стратегією практичну значимість з точки зору збільшення ефективної швидкості передачі за умови урахування впливу параметрів фізичного та LLC-рівня мають лише перша, третя та шоста стратегії. Для цих стратегій за отриманою моделлю може бути розраховано оптимальний розмір довжини пакетів даних для кожного набору системних параметрів, таких як швидкість передачі, ймовірність пошкодження одного біта інформації завадами в радіоканалі, а також структура пакета LLC-протоколу.

Висновки. Запропонована математична модель є інструментом розрахунку пропускнуої здатності радіомереж та оптимального розміру пакетів даних у разі адаптивного управління конкурентним доступом до радіоканалу з жорсткою стратегією в умовах значного коливання інтенсивності трафіка та зміни інтенсивності завад в радіоканалі.

Ключові слова: радіомережі, завади, конкурентний доступ, математична модель, адаптивне управління, пакет.

Вступ

Невід'ємною частиною сучасних телекомунікаційних систем є радіомережі з пакетною комутацією. Їх архітектура, принципи побудови та функціонування мають дві головні відмінності, зумовлені використанням радіоканалу. Перша відмінність – вони більш вразливі до завад різного походження на фізичному рівні, що накладає обмеження на розмір довжини пакетів даних. Друга відмінність зумовлена тим, що за природою радіоканал є моноканальною структурою, що потребує певних правил для абонентів, за якими вони

мають координувати свої передачі. Ці правила регламентовані протоколами управління доступом до радіоканалу [1], завданням яких є забезпечити максимально ефективну швидкість передачі в умовах непередбачуваної змінності локальної концентрації абонентів, а відтак і інтенсивності трафіка. Особливістю каналного рівня пакетних радіомереж є його структура, що містить протокол управління логічним каналом Logical Link Control (LLC) і протокол управління доступом до радіоканалу Medium Access Control (MAC).

Оптимізацію ефективної швидкості передачі пакетних радіомереж здійснюють адаптив-

Пропозиція для цитування цієї статті: А.П. Войтер, “Адаптивне управління на каналному рівні пакетних радіомереж з жорсткою стратегією доступу до радіоканалу”, *Наукові вісти КПИ*, № 1–4, с. XX–XX, 2023. doi: 10.20535/kpissn.2023.1-4.274795

Offer a citation for this article: A.P. Voiter, “Adaptive control at the channel level of the packet radio networks with a rigid strategy for accessing the radio channel”, *KPI Science News*, no. 1–4, pp. XX–XX, 2023. doi: 10.20535/kpissn.2023.1-4.274795

ними методами управління на різних рівнях їх архітектури [1–6]. При цьому використовують моделі для кожного протоколу окремо без врахування впливу чи обмежень інших протоколів.

У [7] описано адаптивні MAC-протоколи зі змінною довжиною пакетів, які забезпечують адаптивне керування швидкістю передачі й пропускну здатністю пакетних радіомереж. Ці протоколи основані на гнучкому й жорсткому протоколах множинного доступу з контролем сигналу несучої (МДКН), які доповнені процедурами керування довжиною пакетів за певними стратегіями. Для реалізації процедур керування абоненти за MAC-протоколами мають розрізняти не два, як у протоколах МДКН, а три стани радіоканалу:

– зайнятий, коли детектується сигнал несучої;

– стан дозволу передачі, коли сигналу несучої немає протягом часу, який не перевищує максимального часу поширення радіосигналу в мережі;

– вільний стан, коли сигналу несучої немає більше, ніж максимальний час поширення радіосигналу в мережі.

У протоколах реалізовано шість стратегій керування довжиною пакетів:

1. У вільному стані абоненти мають право передавати пакети більшої довжини $Q \cdot L_0$, а у стані дозволу передачі – пакети стандартної (оптимальної для фізичного рівня) довжини L_0 , де коефіцієнт $Q > 1$.

2. У вільному стані передавати пакети завдовжки L_0 , а у стані дозволу передачі – пакети зменшеної довжини $q \cdot L_0$, де коефіцієнт $q < 1$.

3. У вільному стані передавати пакети завдовжки $Q \cdot L_0$, а у стані дозволу передачі – пакети завдовжки $q \cdot L_0$.

4. У вільному стані передавати пакети завдовжки L_0 , а у стані дозволу передачі – пакети завдовжки $Q \cdot L_0$.

5. У вільному стані передавати пакети завдовжки $q \cdot L_0$, а у стані дозволу передачі – пакети завдовжки L_0 .

6. У вільному стані передавати пакети завдовжки $q \cdot L_0$, а у стані дозволу передачі – пакети завдовжки $Q \cdot L_0$.

Якщо радіоканал зайнятий, то процедури адаптивних протоколів аналогічні процедурам відповідних протоколів МДКН, тобто можуть мати гнучку стратегію, коли абоненти відкладають передачу пакетів на певний час з випадковим розподілом його тривалості, чи жорстку

стратегію, коли абоненти чекають звільнення радіоканалу і відразу розпочинають передачу.

У табл. 1 наведено розміри пакетів даних для кожної стратегії.

Таблиця 1. Стратегії зміни довжини пакетів

Номер стратегії	Довжина пакетів r при передачі із вільного стану	Довжина пакетів g при передачі із стану дозволу передачі
1	$Q \cdot L_0$	L_0
2	L_0	$q \cdot L_0$
3	$Q \cdot L_0$	$q \cdot L_0$
4	L_0	$Q \cdot L_0$
5	$q \cdot L_0$	L_0
6	$q \cdot L_0$	$Q \cdot L_0$

Доведено, що змінюючи довжину пакетів можна забезпечувати збільшення пропускну здатності чи розширення межі стійкості MAC-протоколу [8]. Очевидно, що така зміна довжини пакетів даних призведе до зміни ефективності їх передачі на фізичному рівні (змінюватиметься ймовірність успішної передачі пакета за заданої завадостійкості в радіоканалі) та в LLC-протоколі (буде змінюватися співвідношення розміру поля даних та службової інформації у форматі пакетів).

Постановка задачі

Метою роботи є визначення ефективної швидкості передачі каналного рівня пакетних радіомереж під час використання вказаних стратегій зміни довжини пакетів адаптивного жорсткого МДКН-протоколу з урахуванням обмежень фізичного рівня та LLC-протоколу.

Ефективну швидкість передачі C в пакетній радіомережі за заданої фізичної швидкості передачі V (біт/с) визначимо у вигляді функції:

$$C = VC_M(P_M, C_{PL}), \quad (1)$$

де C_M – коефіцієнт ефективності МДКН-протоколу з урахуванням комплексного впливу вірогідності успішної передачі пакета P_M , яка визначається процедурами МДКН-протоколу, та коефіцієнта спільної ефективності фізичного рівня та LLC-протоколу C_{PL} , який, у свою чергу, залежить від вірогідності успішної передачі пакета P_p на фізичному рівні радіомережі і від коефіцієнта збільшення довжини пакетів та коефіцієнта ефективності C_L прийнятого формату кадра.

Математична модель

Ймовірність успішної передачі для того чи іншого MAC-протоколу залежить як від процедур і довжини пакетів цього протоколу, так і від інтенсивності трафіка. Відомо багато MAC-протоколів з різними стратегіями доступу до радіоканалу. Найбільш загальною характеристикою стратегій є їх жорсткість щодо зайнятого стану радіоканалу. Розрізняють гнучкі протоколи МДКН та жорсткі протоколи МДКН [1]. У цій роботі буде визначено оптимальний розмір пакетів для жорсткого протоколу МДКН з урахуванням комплексного впливу фізичного та канального рівнів радіомережі.

Процедури жорсткого протоколу МДКН полягають у такому. Перед початком передачі абонент повинен перевірити наявність сигналу несучої в радіоканалі. Якщо сигналу несучої немає, тобто радіоканал вільний, то пакет передається. Якщо сигнал несучої наявний, передача відкладається, й абонент постійно перевіряє сигнал несучої доки радіоканал не звільниться. Як тільки радіоканал стає вільним, негайно розпочинається відкладена раніше передача. Очевидно, коли за час зайнятого стану радіоканалу кількість відкладених передач буде більшою за одну, 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 в радіоканалі та зростає зі зменшенням довжини пакета і, відповідно, знижується з її збільшенням. Утім, LLC-протокол, навпаки, зменшує (збільшує) свою ефективну швидкість передачі зі скороченням (збільшенням) довжини поля даних через наявність фіксованих полів службової інформації у форматах пакетів.

За заданої ймовірності p помилки на один біт в радіоканалі ймовірність безпомилкової передачі пакета визначається його довжиною (кількістю бітів) $L = n + c$, 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 співвідношенням 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 [8],

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

де $m = \frac{n + c}{n_o + c}$ – коефіцієнт відхилення довжини

пакета щодо 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, якщо довжина пакетів даних $L_o = n_o + c$. 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 [9]. Час передачі одного пакета $T = \frac{L_o}{V}$. Процес зміни станів пакетної

радіомережі описують одновимірним ланцюгом Маркова з неперервним часом. Для жорсткого протоколу МДКН радіомережа може перебувати в одному з восьми станів: 1) вільному ($k = 0$); 2) вразливості ($k = 1$); 3) безконфліктної передачі з вільного стану ($k = 2$); 4) безконфліктної передачі зі стану дозволу передачі з однією відкладеною передачею ($k = 3$); 5) безконфліктної передачі зі стану дозволу передачі з більше ніж однією відкладеною передачею ($k = 4$); 6) конфліктної передачі з вільного стану; 7) конфліктної передачі зі стану дозволу передачі з однією відкладеною передачею ($k = 6$); 8) конфліктної передачі зі стану дозволу передачі з більше 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 у стані $\{0\}$, тобто радіоканал вільний, то:

– з ймовірністю $p_{01} = \lambda \Delta t$ 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 $p_{00} = 1 - \lambda \Delta t$ стан радіоканалу не зміниться.

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

– з імовірністю $p_{12} = \frac{\Delta t}{a}$ інтервал вразливості закінчиться до того, як надійде хоча б іще один пакет, і радіоканал перейде у стан безконфліктної передачі пакета {2};

– з імовірністю $p_{15} = \lambda \Delta t$ надійде новий пакет із вхідного потоку, станеться конфлікт і в момент часу $t + \Delta t$ радіоканал буде перебувати у стані передачі пакетів з конфліктом {5};

– з імовірністю $p_{11} = 1 - \left(\frac{1}{a} + \lambda\right) \Delta t$ стан радіоканалу не зміниться.

3. Якщо радіоканал перебуває у стані {2}, тобто відбувається безконфліктна передача пакета із вільного стану радіоканалу, то:

– з імовірністю $p_{20} = \frac{\Delta t}{T_r}$ передача пакета завершиться, і радіоканал перейде у вільний стан {0};

– з імовірністю $p_{23} = \lambda \Delta t$ за інтервал часу Δt з вхідного потоку надійде новий пакет і радіоканал перейде у стан безконфліктної передачі з однією відкладеною передачею {3};

– з імовірністю $p_{22} = 1 - \left(\frac{1}{T_r} + \lambda\right) \Delta t$ стан радіоканалу не зміниться, а $T_r = \frac{r}{V}$ – час передачі

пакета даних із вільного стану за значень r із табл. 1: $r = Q \cdot L_0$ – для першої і третьої стратегій, $r = q \cdot L_0$ – для п'ятої та шостої стратегій, $r = L_0$ – для другої та четвертої стратегій, де $Q > 1$, $q < 1$.

4. Якщо радіоканал перебуває у стані {3}, тобто здійснюється безконфліктна передача зі стану дозволу передачі з однією відкладеною передачею, то:

– з імовірністю $p_{31} = \frac{\Delta t}{T_g}$ безконфліктна передача пакета завершиться, розпочнеться передача відкладеного пакета і радіоканал перейде до стану вразливості {1};

– з імовірністю $p_{34} = \lambda \Delta t$ за інтервал часу Δt із вхідного потоку надійде новий пакет і радіо-

оканал перейде у стан безконфліктної передачі з більше ніж однією відкладеною передачею {4};

– з імовірністю $p_{33} = 1 - \left(\frac{1}{T_g} + \lambda\right) \Delta t$ стан радіоканалу не зміниться, $T_g = \frac{g}{V}$ – час передачі

пакета даних зі стану дозволу передачі, із табл. 1: $g = Q \cdot L_0$ – для четвертої і шостої стратегій, $g = q \cdot L_0$ – для другої і третьої стратегій, $g = L_0$ – для першої та п'ятої стратегій.

5. Якщо радіоканал перебуває у стані {4}, тобто здійснюється безконфліктна передача зі стану дозволу передачі з більше ніж однією відкладеною передачею, то:

– з імовірністю $p_{45} = \frac{\Delta t}{T_g}$ безконфліктна передача пакета завершиться і розпочнеться одночасна передача відкладених пакетів, тобто радіоканал перейде у стан конфліктної передачі пакетів {5};

– з імовірністю $p_{44} = 1 - \frac{\Delta t}{T_g}$ стан радіоканалу не зміниться.

6. Якщо радіоканал перебуває у стані {5}, тобто здійснюється конфліктна передача пакетів з вільного стану, то:

– з імовірністю $p_{50} = \frac{\Delta t}{T_r}$ конфліктна передача пакетів завершиться до того, як надійде бодай один пакет і радіоканал перейде у вільний стан {0};

– з імовірністю $p_{56} = \lambda \Delta t$ за інтервал часу Δt із вхідного потоку надійде новий пакет і радіоканал перейде у стан конфліктної передачі з однією відкладеною передачею {6};

– з імовірністю $p_{55} = 1 - \left(\frac{1}{T_r} + \lambda\right) \Delta t$ стан радіоканалу не зміниться.

7. Якщо радіоканал перебуває у стані {6}, тобто здійснюється конфліктна передача зі стану дозволу передачі з однією передачею, то:

– з імовірністю $p_{61} = \frac{\Delta t}{T_g}$ конфліктна передача пакета завершиться і розпочнеться передача відкладеного пакета, тобто радіоканал перейде у стан вразливості {1};

– з імовірністю $p_{67} = \lambda \Delta t$ за інтервал часу Δt із вхідного потоку надійде новий пакет і радіока-

$$\frac{\partial P_7(t)}{\partial t} = -\frac{1}{T_g} P_7(t) + \lambda P_6(t).$$

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

$$\lambda P_0 = \frac{1}{T_r} P_2 + \frac{1}{T_r} P_5;$$

$$\left(\frac{1}{a} + \lambda\right) P_1 = \lambda P_0 + \frac{1}{T_g} P_3 + \frac{1}{T_g} P_6;$$

$$\left(\frac{1}{T_r} + \lambda\right) P_2 = \frac{1}{a} P_1; \quad \left(\frac{1}{T_g} + \lambda\right) P_3 = \lambda P_2;$$

$$\frac{1}{T_g} P_4 = \lambda P_3; \quad \left(\frac{1}{T_r} + \lambda\right) P_5 = \frac{1}{T_g} P_4 + \lambda P_1 + \frac{1}{T_g} P_7;$$

$$\left(\frac{1}{T_g} + \lambda\right) P_6 = \lambda P_5; \quad \frac{1}{T_g} P_7 = \lambda P_6.$$

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

$$P_0 = \left(\frac{1}{\lambda T_r} + \frac{\lambda T_r T_g + a(1 + \lambda T_r)(1 + \lambda T_g)}{T_r[(1 + \lambda T_r)(1 + \lambda T_g) - \lambda^2 T_r T_g]} \right) P_2 = K_0 P_2;$$

$$P_1 = \frac{a(1 + \lambda T_r) P_2}{T_r} = K_1 P_2; \quad P_3 = \frac{\lambda T_g P_2}{1 + \lambda T_g} = K_3 P_2;$$

$$P_4 = \frac{(\lambda T_g)^2 P_2}{1 + \lambda T_g} = K_4 P_2;$$

$$P_5 = \frac{[\lambda(\lambda T_r T_g + a(1 + \lambda T_r)(1 + \lambda T_g))] P_2}{(1 + \lambda T_r)(1 + \lambda T_g) - \lambda^2 T_r T_g} = K_5 P_2;$$

$$P_6 = \frac{[\lambda^2 T_g (\lambda T_r T_g + a(1 + \lambda T_r)(1 + \lambda T_g))] P_2}{[(1 + \lambda T_r)(1 + \lambda T_g) - \lambda^2 T_r T_g](1 + \lambda T_g)} = K_6 P_2;$$

$$P_7 = \frac{[\lambda^3 T_g^2 (\lambda T_r T_g + a(1 + \lambda T_r)(1 + \lambda T_g))] P_2}{[(1 + \lambda T_r)(1 + \lambda T_g) - \lambda^2 T_r T_g](1 + \lambda T_g)} = K_7 P_2,$$

де $P_2 = \left(\sum_{i=0}^{i=7} K_i\right)^{-1}$ з урахуванням нормування

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

Враховуючи, що безконфліктна передача здійснюється, коли радіоканал перебуває у другому, третьому або четвертому станах, вірогідність успішної передачі для жорсткого протоколу МДКН буде такою:

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

Отже, зважаючи на (1), (2) та (3), ефективну швидкість передачі для MAC-протоколу із жорсткою стратегією управління доступом можна записати у вигляді

$$C = V(P_2 C_{PL}(r) + (P_3 + P_4) C_{PL}(g)), \quad (4)$$

де $C_{PL}(r)$ та $C_{PL}(g)$ – значення формули (2) за $m = r$ та $m = g$ відповідно для стратегії з табл. 1.

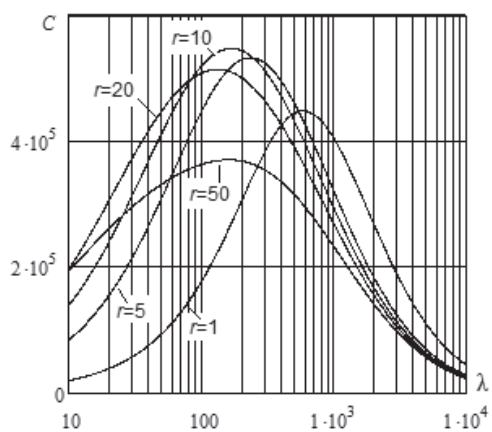
Аналіз числових результатів

На рис. 2 показано графіки залежності ефективної швидкості передачі, розраховані за формулою (4) для кожної стратегії для чотирьох значень параметрів r і g (за значень $r = 1$ та $g = 1$ адаптивного управління немає). Видно, що підвищення пропускної здатності (максимального значення C) забезпечують (у порядку рівня підвищення) третя, перша, шоста та четверта стратегії, причому перша і третя – за значень інтенсивності трафіка менших за межу стійкості протоколу доступу (рівень трафік, за якого ефективна швидкість передачі має максимальне значення) без адаптивного управління, що звужує допустимий діапазон інтенсивності трафіка, а шоста і четверта – за більших за межу стійкості значень, що розширює допустимий діапазон інтенсивності трафіка. Майже не впливає на ефективну швидкість передачі друга стратегія. П'ята стратегія загалом знижує ефективну швидкість передачі, але може забезпечити стійку роботу мережі за значень інтенсивності трафіка, які перевищують межу стійкості без адаптації.

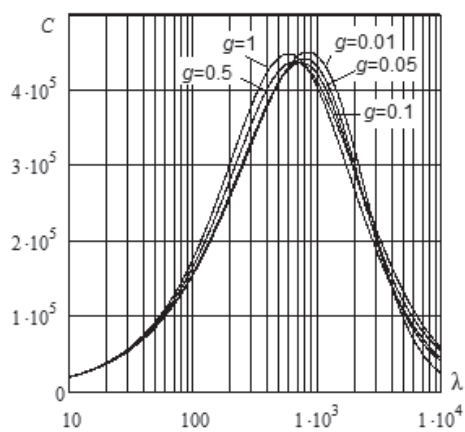
На рис. 3 показано графіки залежності пропускної здатності C_m (максимального значення C) від довжини пакетів даних, які дають кількісну оцінку впливу стратегій доступу на зміни пропускної здатності. Розрахунки за заданих значень системних параметрів за (4) та вказані графіки демонструють таке: використовуючи першу стратегію, можна збільшити пропускну здатність до 22,2 % за $r = 10$; друга стратегія не забезпечує збільшення пропускної здатності; третя стратегія збільшує пропускну здатність до 37 % за $r = 10$ та $g = 0,1$; четверта стратегія збільшує пропускну здатність лише до 5 % за $r = 1$

та $g=5$; п'ята стратегія приводить лише до зменшення пропускної здатності; шоста стратегія

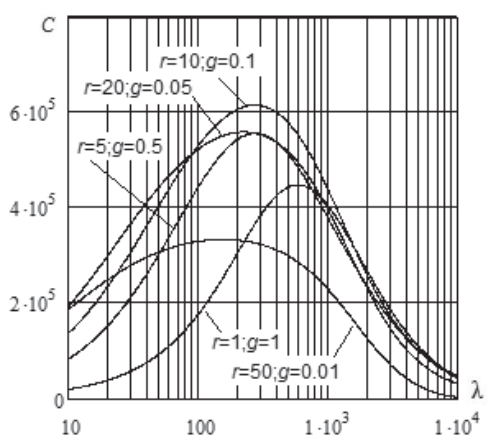
збільшує пропускну здатність до 13 % за $r=0,1$ та $g=10$.



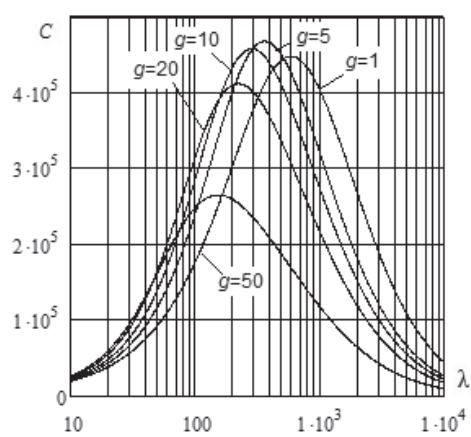
1 стратегія



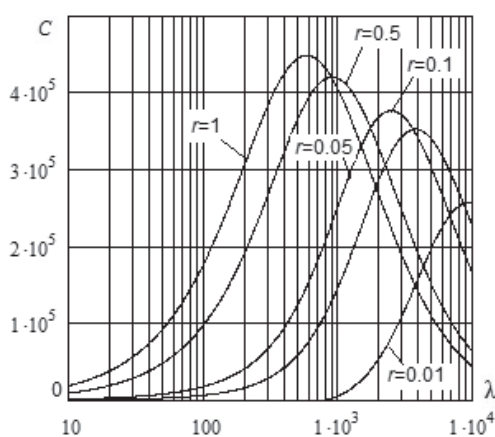
2 стратегія



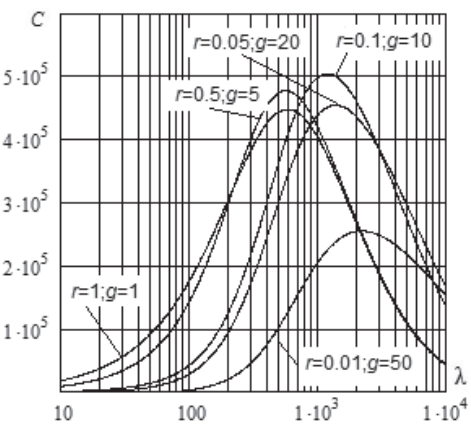
3 стратегія



4 стратегія



5 стратегія



6 стратегія

Рис. 2. Ефективна швидкість передачі

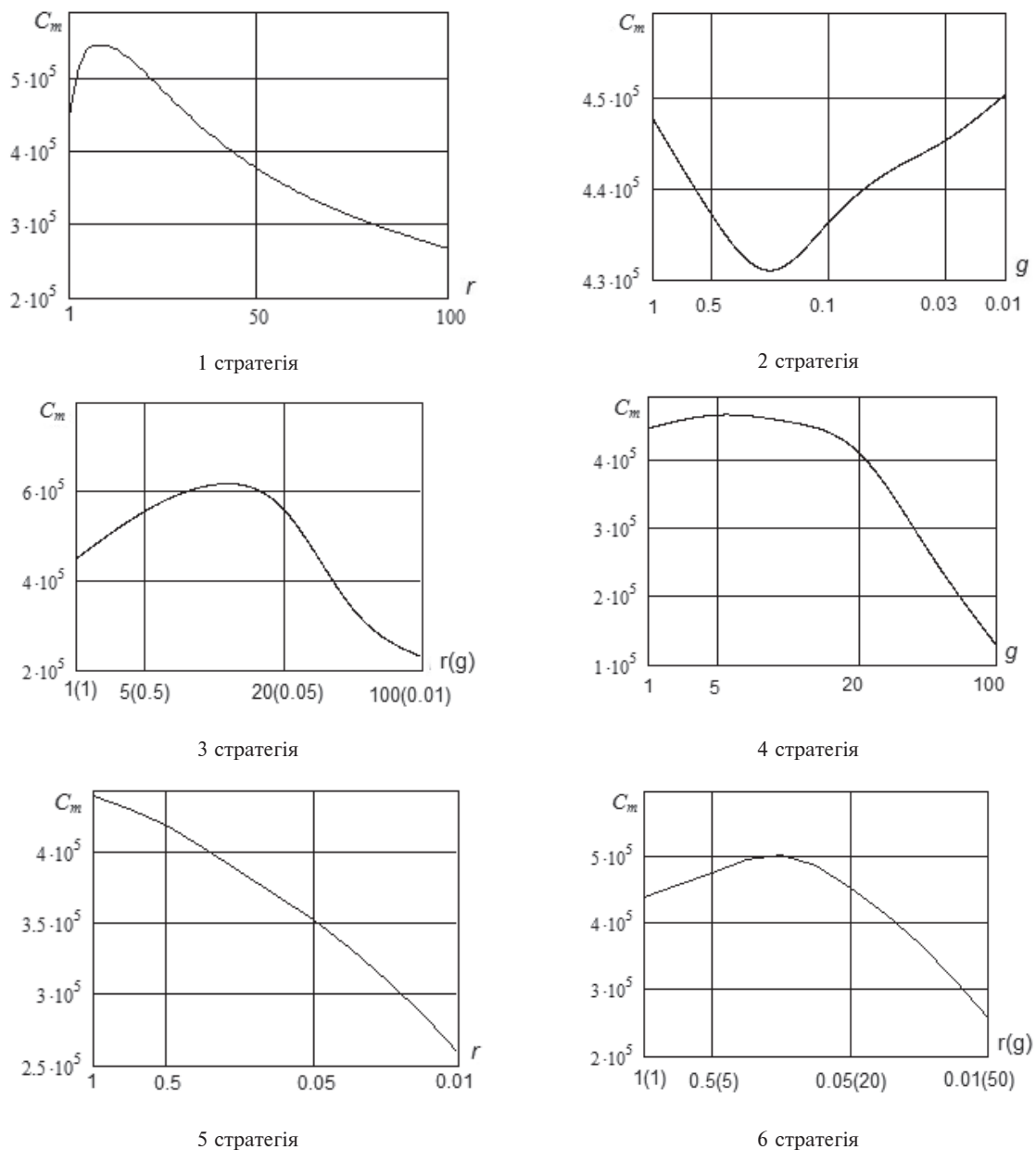


Рис. 3. Пропускна здатність

Висновки

Запропонована математична модель може бути використана в адаптивних протоколах LLC і MAC пакетних радіомереж для розрахунку оптимального значення довжини пакетів даних з урахуванням комплексного впливу фізичного і каналного рівнів мережі із жорстким конкурентним доступом до радіоканалу, а також для обчислення ефективної швидкості передачі даних.

За допомогою отриманої математичної моделі доведено, що з шести стратегій управлін-

ня довжиною пакетів для адаптивних жорстких протоколів МДКН практичну значимість з точки зору збільшення ефективної передачі за умови урахування впливу параметрів фізичного та LLC-рівня мають лише перша, третя та шоста стратегії. Для цих стратегій за отриманою моделлю може бути розраховано оптимальний розмір довжини пакетів даних для кожного набору системних параметрів, таких як швидкість передачі, ймовірність пошкодження одного біта інформації завадами в радіоканалі, а також структура пакета LLC-протоколу.

Подальші дослідження ефективності дібного розподілу трафіка в пакетних радіо- MAC-протоколів будуть проведені для самопо- режах.

References

- [1] S.G. Bunin, *et al.*, “Self-organizing radio networks with ultra-wideband signals”. Kyiv, Ukraine: Naukova dumka, 2012, 444 p.
- [2] B. Salameh, A. Shamekh, “Adaptive Packet-size Control for Improved Throughput in Dynamic Access”, *Networks. Cluster Comput*, vol. 24, pp.1935–1944, 2021. doi.org/10.1007/s10586-021-03237-z
- [3] G. Alnwaimi, H. Boujema, “Adaptive Packet Length and MCS Using Average or Instantaneous SNR”. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 67, no. 11, pp.10519–10527, 2018. doi.org/10.1109/TVT.2018.2865798
- [4] Xi Chen, Ming Ma, Anfeng Liu, “Dynamic power management and adaptive packet size selection for IoT in e-Healthcare”, *Computers & Electrical Engineering*, vol. 65, pp. 357–375, 2018. doi.org/10.1016/j.compeleceng.2017.06.010
- [5] K.D. Gulyaev, V.A. Kaptur and V.I. Tichonov, “Principles of organization of adaptive interaction of open systems”, *Naukovi Visti NTUU KPI*, no. 2. pp.7–15, 2012, <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/36633/1/2012-2-1.pdf>
- [6] S. Dutt, S.Agrawal and R. Vig, “Impact of Variable Packet Length on the Performance of Heterogeneous Multimedia Wireless Sensor Networks”, *Wireless Pers. Commun*, no. 107, pp. 1849–1863, 2019. doi.org/10.1007/s11277-019-06361-7
- [7] A.P.Voiter, “Impact of packet length management strategies on MAC-layer performance of packet radio networks”, *Naukovi Visti NTUU KPI*, no. 6, pp. 7–12, 2012. <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/37011/1/2012-6-1.pdf>
- [8] A.P.Voiter, “Comprehensive analysis of effective transmission speed in adaptive packet radio networks”, *Naukovi Visti NTUU KPI*, no. 6, pp.7–12, 2013. http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/NVKPI_2013_6_3.pdf
- [9] A.A. Nazarov and S.A. Tsoi, “General approach to the study of Markov models of data transmission networks controlled by static random multiple access protocols”, *Automation and Informatics*, no. 4, pp. 73–85, 2004. <https://cyberleninka.ru/article/n/obschiy-podhod-k-issledovaniyu-markovskih-modeley-setey-predachi-dannyh-upravlyaemyh-dinamicheskimi-protokolom-sluchaynogo/viewer>

A.P. Voiter

Adaptive control at the channel level of the packet radio networks with a rigid strategy for accessing the radio channel

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

Objective. Determination of the effect of packets length on the effective transmission speed of radio networks taking into account the parameters, formats and procedures of the physical and channel levels when using six possible strategies of the adaptive CSMA protocol with a rigid strategy of competitive access to the radio channel.

Methods. The goal is achieved by creating and analyzing a mathematical model of effective transmission speed in radio network. The model is described by the equation of the effective transmission rate, which is a function of the probability of conflict-free transmission of the adaptive CSMA protocol for rigid strategy and the deviation coefficient of the size of data packets from the optimal LLC protocol, taking into account the probability of packet damage due to interference in the radio channel.

Results. With the help of this mathematical model, it is proved that of the six packet length management strategies for adaptive CSMA protocols with a rigid strategy, only the first, third and sixth strategies have practical significance from the point of view of increasing the effective transmission speed, provided that the influence of the parameters of the physical and LLC levels is taken into account. For these strategies can be calculated according to this model the optimal size of the length of data packets for each set of system parameters, such as the transmission speed, the probability of damaging one bit of information due to interference in the radio channel, and the structure of the packet of the LLC protocol.

Conclusions. The proposed mathematical model is a tool for calculating the bandwidth of radio networks and the optimal size of data packets during adaptive management of competitive access to a radio channel with a hard strategy in conditions of significant fluctuations in traffic intensity and changes in the intensity of interference in the radio channel.

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

Рекомендована Радою

КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції
00 грудня 2023 року

Прийнята до публікації
00 червня 2023 року