

ЕЛЕКТРОНІКА, РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.39

А.П. Войгер

ВПЛИВ СТРАТЕГІЙ КЕРУВАННЯ ДОВЖИНОЮ ПАКЕТІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ МАС-РІВНЯ ПАКЕТНИХ РАДІОМЕРЕЖ

The paper studies a new method of efficiency enhancement of packet switched radio networks at the radio channel access level. To this end, we consider the known strategies of packet lengths control in such radio networks and reveal incompleteness of a possible set of packet lengths management with channel conditions under carrier sense multiple access (CSMA) protocol. We propose three new strategies to change packet lengths which complete the set. Mathematical simulation is conducted for persistent and nonpersistent CSMA protocols. The quantitative data on the average data rate, channel throughput and stability limits are obtained for every new strategy. Furthermore, we compare new and known strategies and system parameters and outline their advantages as compared to the known ones. The proposed packet length management strategies can be used to improve efficiency of existing radio networks with competitive radio channel access as well as to design new ones.

Вступ

Ефективна робота радіомереж з пакетною комутацією (пакетних радіомереж) забезпечується адаптивними методами керування для запобігання переходу за межу стабільності та підтримання на високому рівні пропускної здатності в умовах динаміки навантаження і мережевих параметрів. Керування може здійснюватися на різних рівнях архітектури мережі, в т.ч. і на МАС-рівні (Media Access Control) [1].

У [2, 3] запропоновано адаптивні МАС-протоколи зі змінною довжиною пакетів, які забезпечують адаптивне керування швидкістю передачі й пропускною здатністю радіомереж з пакетною комутацією. Ці протоколи засновані на гнучкому й жорсткому протоколах множинного доступу з контролем несучої (МДКН) [3], які доповнені процедурами керування довжиною пакетів за певними стратегіями. Для реалізації процедур керування абоненти за цими протоколами мають розрізняти не два, як у протоколах МДКН, а три стани радіоканалу:

- зайнятий, коли детектується сигнал несучої;
- стан дозволу передачі, коли сигнал несучої відсутній протягом часу, не більшого за максимальний час поширення радіосигналу в мережі;
- вільний стан, коли сигнал несучої відсутній більше, ніж максимальний час поширення радіосигналу в мережі.

У протоколах реалізовано три стратегії керування довжиною пакетів:

1) дає право абонентам у стані дозволу передачі передавати пакети стандартної довжини, а у вільному стані – пакети більшої довжини [2];

2) зобов'язує абонентів передавати пакети стандартної довжини у вільному стані радіоканалу й меншої довжини в стані дозволу передачі [3];

3) зобов'язує абонентів передавати пакети збільшеної довжини у вільному стані радіоканалу й меншої довжини в стані дозволу передачі [3].

Якщо радіоканал зайнятий, то процедури адаптивних протоколів аналогічні процедурам відповідних протоколів МДКН.

Використані в названих протоколах стратегії зміни довжини пакетів не є вичерпними, оскільки не охоплюють усі можливі комбінації стратегій і станів радіоканалу. Очевидно, що для двох станів радіоканалу, в яких здійснюється передача, та трьох значень довжини пакетів існує четверта, п'ята та шоста стратегії, в яких:

4) у стані дозволу передачі передаються пакети збільшеної довжини, а у вільному стані – пакети стандартної довжини;

5) у вільному стані радіоканалу передаються пакети меншої довжини, а в стані дозволу передачі – пакети стандартної довжини;

6) у вільному стані радіоканалу передаються пакети меншої довжини, а в стані дозволу передачі – пакети більшої довжини.

Постановка задачі

Метою роботи є дослідження ефективності четвертої, п'ятої та шостої стратегій і порівняльний аналіз ефективності за швидкістю передачі, пропускною здатністю й межею стійкості всіх шести стратегій зміни довжини пакетів для протоколів МДКН.

Математична модель стратегій

Формалізуємо визначені стратегії у вигляді табл. 1, де L – пакет збільшеної довжини, l – пакет зменшеної довжини, 1 – пакет стандартної довжини. Перші три стратегії досліджено в [2, 3].

Таблиця 1. Стратегії зміни довжини пакетів

Номер стратегії	Вільний стан радіоканалу	Стан дозволу передачі
1	L	l
2	l	l
3	L	l
4	l	L
5	l	l
6	l	L

Одержимо загальні рівняння середньої швидкості передачі для гнучкого та жорсткого адаптивних протоколів при використанні довільної стратегії зміни довжини пакетів. З метою коректності порівняння скористаємося тією ж моделлю трафіка, яку було використано при аналізі попередніх стратегій [2]. Ця модель будується із застосуванням елементів теорії відновлення й припущення, що кількість абонентів нескінченно велика, кожний з яких генерує пакети з нескінченно малою швидкістю. Останнє є фактично припущенням про пуасонівський характер процесу надходження пакетів для передачі по радіоканалу. Середня швидкість передачі S вимірюється в кількості пакетів, переданих безконфліктно за час T передачі одного пакета стандартної довжини. Інтенсивність трафіка G , тривалість такту синхронізації a (максимальний час поширення радіосигналу в мережі) й час передачі пакета також нормовані по T .

Узагальнену часову діаграму роботи радіоканалу наведено на рис. 1, де стрілками показані моменти надходження пакетів для передачі. Очевидно, що радіоканал може перебувати в одному із двох можливих станів: зайнятому середньої тривалості B_{ij} , коли в радіоканалі здійснюється передача пакета і присутній сигнал несучої, і вільному I , коли передача пакета може здійснюватись, він також включає стан дозволу передачі. Зайнятий стан являє собою послідовність передач випадкової кількості пакетів із середнім значенням n , розділених інтервалом тривалістю a . Будемо розглядати синхронні варіанти протоколів, у яких час дис-

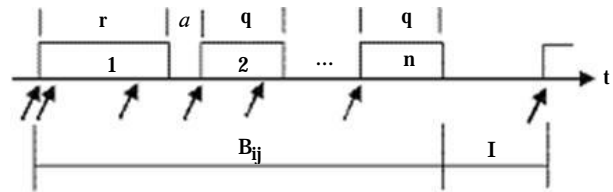


Рис. 1. Узагальнена часова діаграма роботи радіоканалу

кретний з інтервалом a . Перша передача пакета в зайнятому стані буде мати нормовану тривалість r , усі наступні – q , де $r, q = \{L, l, 1\}$ відповідно до стратегій 4–6 у табл. 1.

Зайнятий стан може відобразити дві події: безконфліктну передачу пакета даних і передачу інтерферованих пакетів даних. Інтервал часу перебування радіоканалу в стані безконфліктної передачі пакетів даних ототожнюється з корисним використанням радіоканалу. Зайнятий і вільний стан радіоканалу чергуються, утворюючи цикли відновлення. Середню швидкість передачі для j -ї стратегії визначимо як відношення середньої тривалості корисного інтервалу U_{ij} до тривалості циклу відновлення (суми середньої тривалості зайнятого B_{ij} і вільного I станів):

$$S_{ij} = \frac{U_{ij}}{B_{ij} + I}, \quad (1)$$

де $i = 1$ для жорсткого, а $i = 2$ для гнучкого варіантів протоколу, $j = \{4, 5, 6\}$.

Враховуючи, що перша передача пакета в зайнятому стані має тривалість r , а всі наступні – q , середня кількість передач у зайнятому стані за j -ю стратегією для жорсткого адаптивного протоколу МДКН дорівнює

$$n_{1j} = e^{-(r+a)G} + 2(1 - e^{-(r+a)G})e^{-(q+a)G} + \frac{e^{-(q+a)G}(1 - e^{-(r+a)G})(e^{2(q+a)G} + 2e^{-(q+a)G} - 3)}{1 - e^{-(q+a)G}}.$$

Отже, тривалість зайнятого стану для жорсткого протоколу $B_{1j} = r - I + n_{1j}(q + a)$.

Для жорсткого протоколу ймовірність успішної передачі першого пакета в зайнятому стані дорівнює ймовірності відсутності надходження пакетів за останній інтервал a вільного стану, ймовірність успішної передачі другого – ймовірності відсутності надходження пакетів за інтервал $r + a$, наступних – за інтервал $q + a$.

Із врахуванням цього маємо

$$U_{1j} = \frac{raGe^{-aG}}{1 - e^{-aG}} + \frac{qG(r+a)e^{-(r+a)G}}{1 - e^{-(r+a)G}} + (n_{1j} - 2) \frac{qG(q+a)e^{-(q+a)G}}{1 - e^{-(q+a)G}}.$$

Для прийнятої моделі трафіка кількість вільних тактів розподілена геометрично з середнім значенням:

$$I = \frac{a}{1 - e^{-aG}}. \quad (2)$$

Підставляючи значення V_{1j} , U_{1j} і (2) в (1) одержимо рівняння середньої швидкості передачі S_{1j} для синхронних адаптивних жорстких протоколів з четвертою, п'ятою та шостою стратегіями. Очевидно, що при $r = q = 1$ рівняння S_{1j} ідентичне рівнянню жорсткого синхронного протоколу МДКН [3].

Для синхронних адаптивних гнучких протоколів МДКН зі стратегіями чотири–шість кількість передач у зайнятому стані є випадковою величиною з геометричним розподілом і середнім значенням: $n_{2j} = e^{aG}$. Тоді, з огляду на те, що тривалість першої передачі в зайнятому стані дорівнює $(r+a)$, а кожна з $(n_{2j} - 1)$ наступних – $(q+a)$, одержимо рівняння середнього значення зайнятого стану: $V_{2j} = r - q + \frac{q+a}{e^{-aG}}$. Аналогічно, із врахуванням ймовірності події успішної передачі, її середній час в зайнятому стані дорівнює

$$U_{2j} = \frac{aGe^{-aG}}{1 - e^{-aG}} (qe^{aG} + r - q).$$

Підставляючи значення V_{2j} , (2) і U_{2j} в (1), одержимо рівняння середньої швидкості передачі для адаптивних синхронних гнучких протоколів МДКН для четвертої, п'ятої та шостої стратегій адаптації довжини пакета:

$$S_{2j} = \frac{aGe^{-2aG} (qe^{aG} + r - q)}{(r - q)e^{-aG} (1 - e^{-aG}) + (q + a)(1 - e^{-aG}) + ae^{-aG}}.$$

Очевидно, що при $r = q = 1$ це рівняння тотожне рівнянню середньої швидкості синхронного гнучкого протоколу МДКН [2].

Порівняльний аналіз стратегій

На рис. 2, *a* наведено криві середньої швидкості передачі жорсткого протоколу з четвертою стратегією адаптації $S_{14}(G)$ при трьох сполученнях значень параметрів r і q . На цьому та наступних рисунках криві, позначені $(r = 1, q = 1)$, ілюструють середню швидкість передачі відомих протоколів МДКН з фіксованим розміром пакетів. Видно, що зі збільшенням розміру пакета в стані дозволу передачі спостерігається зменшення межі стійкості протоколу при одночасному зростанні пропускної здатності порівняно з жорстким протоколом МДКН. Тут і далі межею стійкості є значення інтенсивності трафіка G_0 , при якому середня швидкість передачі максимальна, тобто дорівнює пропускній здатності протоколу. Також спостерігається зростання середньої швидкості передачі в області малих $(G < G_0)$ значень інтенсивності трафіка. Наприклад, при десятикратному збільшенні довжини пакетів межа стійкості зменшується приблизно в 6,5 разів, пропускна здатність зростає на 18 %, а середня швидкість передачі, наприклад, при $G = 0,1$ збільшується майже в п'ять разів.

На рис. 2, *b* наведено криві середньої швидкості передачі гнучкого протоколу МДКН з четвертою стратегією адаптації $S_{24}(G)$ при трьох сполученнях значень параметрів r і q . Очевидно, що зміна довжини пакета в цьому випадку мало впливає на ефективність протоколу. Наприклад, при $(r = 1, q = 10)$ пропускна здатність збільшується лише на 3,7 %, межа стійкості зменшується на 5 %, а середня швидкість передачі при $G = 0,5G_0$ зростає на 3 %.

На рис. 3, *a* наведено криві середньої швидкості передачі жорсткого протоколу з п'ятою стратегією адаптації $S_{15}(G)$ при п'яти сполученнях значень параметрів r і q . Зі зменшенням довжини пакета у вільному стані радіоканалу спостерігається збільшення межі стійкості протоколу (приблизно на 60 % при $r = 0,1$), а також зростання його пропускної здатності на 13 % при $r = 0,1$. Але при цьому в робочій області зміни інтенсивності трафіка

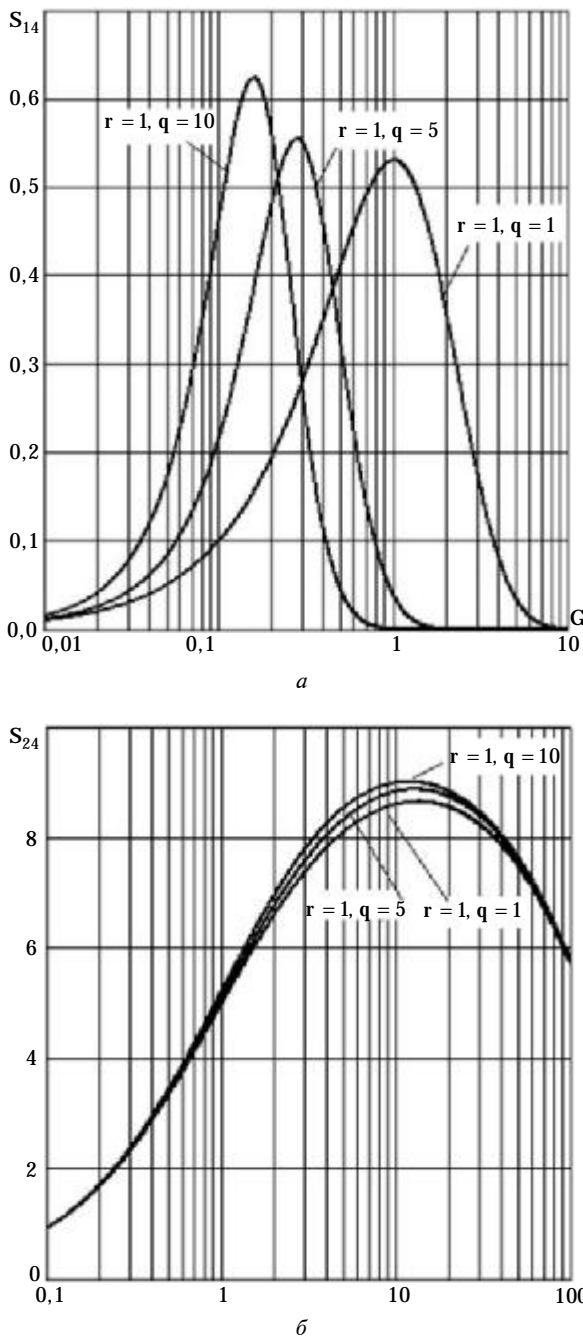


Рис. 2. Середня швидкість передачі для жорсткого (а) і гнучкого (б) протоколів з четвертою стратегією адаптації

зменшується середня швидкість передачі відносно жорсткого протоколу МДКН, наприклад, при $G = 0,7$ вона на 20 % менша.

На рис. 3, б наведено криві середньої швидкості передачі гнучкого протоколу з п'ятою стратегією адаптації $S_{25}(G)$ при трьох сполученнях значень параметрів r і q . Зменшення довжини пакета у вільному стані радіоканалу

для цього протоколу знижує його пропускну здатність приблизно на 11 % при $r = 0,1$ за одночасного потрійного збільшення межі стійкості та зниження середньої швидкості передачі при $G = 0,5G_0$ майже вдвічі.

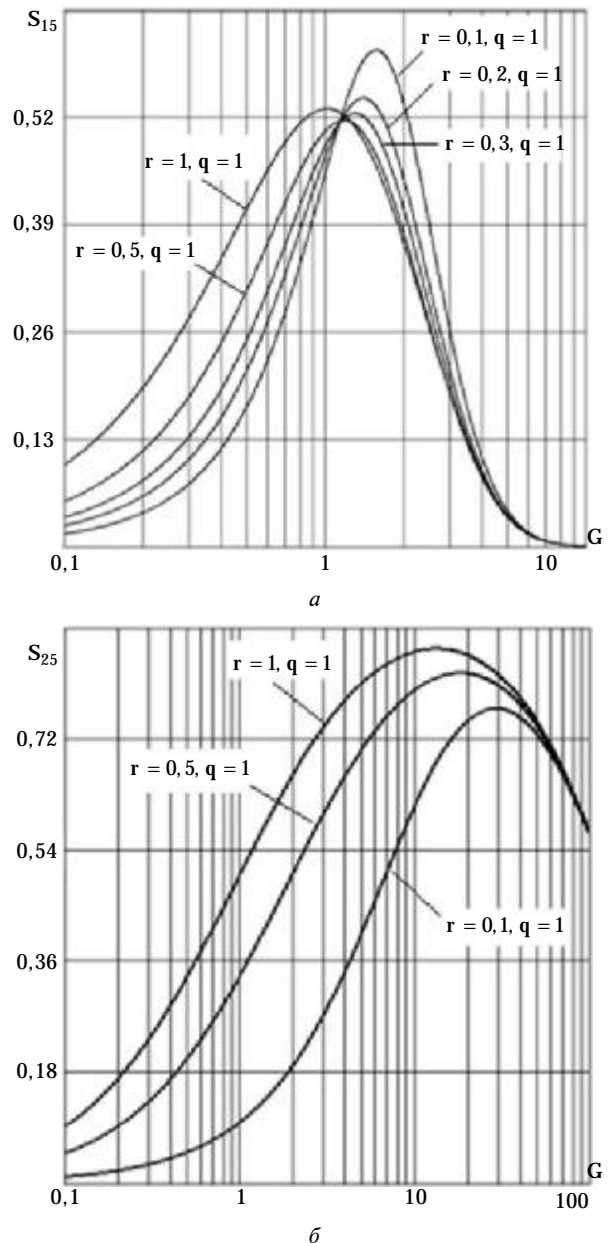


Рис. 3. Середня швидкість передачі для жорсткого (а) та гнучкого (б) протоколів із п'ятою стратегією адаптації

На рис. 4, а наведено криві середньої швидкості передачі жорсткого протоколу з шостою стратегією адаптації $S_{16}(G)$ при п'яти сполученнях значень параметрів r і q . З цього графіка видно, що зі збільшенням відношення

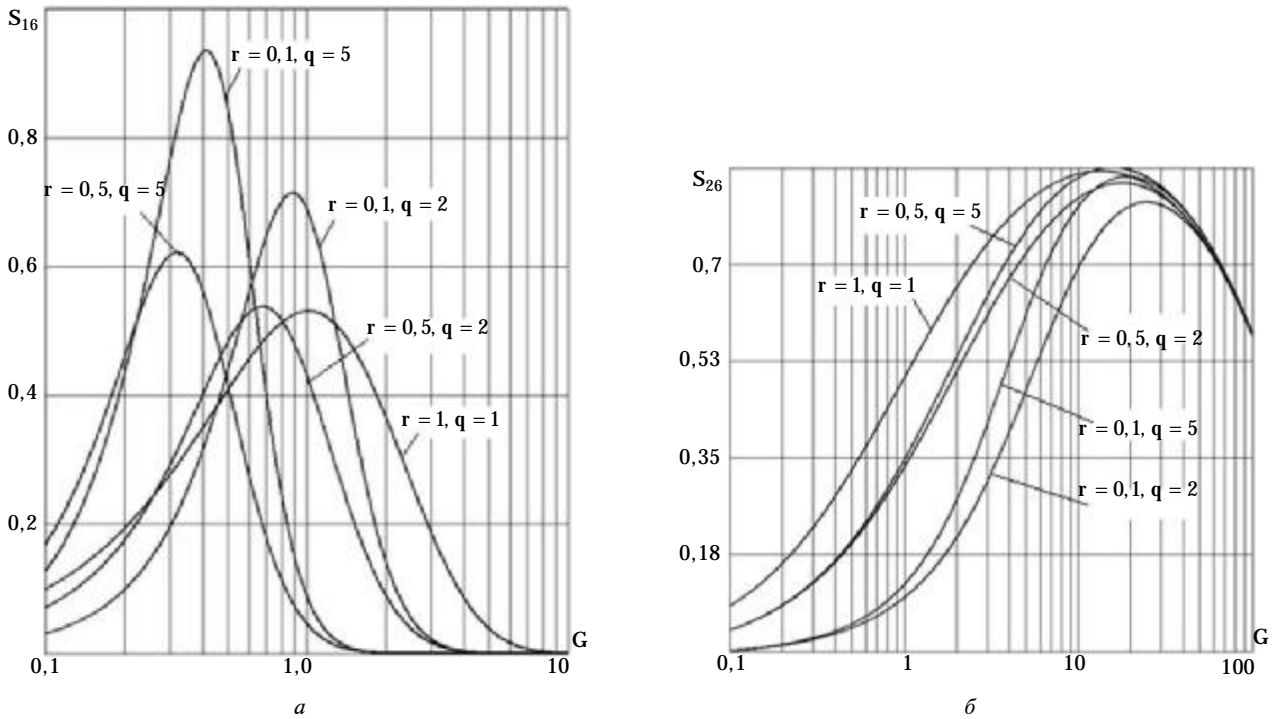


Рис. 4. Середня швидкість передачі для жорсткого (а) та гнучкого (б) протоколів із шостою стратегією адаптації

q/r спостерігається зниження межі стійкості при одночасному зростанні пропускної здатності, наприклад, при зменшенні довжини пакета під час передачі у вільному стані в десять разів, та збільшенні довжини пакетів при передачі в стані дозволу передачі в п'ять разів, тобто, коли $(q/r) = 50$, пропускна здатність

зростає майже на 75 %, а межа стійкості зменшується в 2,5 разу.

На рис. 4, б наведено криві середньої швидкості передачі гнучкого протоколу з шостою стратегією адаптації $S_{26}(G)$ при п'яти сполученнях значень параметрів r і q . Для цієї

стратегії характерна практична відсутність збільшення пропускної здатності, але існує обернена залежність зміни межі стійкості від співвідношення q/r . Наприклад, при $r = 0,1$ та $q = 2$ межа стійкості збільшується в 2,5 разу при зниженні пропускної здатності на 6 % та зменшенні середньої швидкості передачі при $G = 0,5G_0$ приблизно в два рази.

Порівняльну характеристику ефективності стратегій для жорсткого та гнучкого протоколів МДКН наведено в табл. 2 і 3 відповідно, в яких ΔS є відношенням середньої швидкості передачі цієї стратегії до середньої швидкості протоколу МДКН з фіксованим розміром пакетів при $G = 0,5G_0$. ΔS_{max} – відношення

Таблиця 2. Ефективність стратегій для жорсткого протоколу МДКН

Номер стратегії	Зміст стратегії r, q	ΔS	ΔS_{max}	ΔG_0	Параметри розрахунку
1	L, 1	1,85	1,5	0,15	$a = 0,01; L = 10$
2	1, 1	7,0	1,4	8,0	$a = 0,01; l = 0,1$
3	L, 1	8,6	1,8	5,0	$a = 0,01; L = 10; l = 0,1$
4	1, L	5,2	1,18	0,15	$a = 0,01; L = 10$
5	1, 1	0,8	1,13	1,6	$a = 0,01; l = 0,1$
6	1, L	2,6	1,8	0,4	$a = 0,01; L = 5; l = 0,1$

Таблиця 3. Ефективність стратегій для гнучкого протоколу МДКН

Номер стратегії	Зміст стратегії r, q	ΔS	ΔS_{max}	ΔG_0	Параметри розрахунку
1	L, 1	1,82	1,11	0,4	$a = 0,01; L = 10$
2	1, 1	1,0	1,0	1,0	$a = 0,01; l = 0,1$
3	L, 1	2,4	1,05	0,5	$a = 0,01; L = 10; l = 0,1$
4	1, L	1,03	1,04	1,05	$a = 0,01; L = 10$
5	1, 1	0,5	0,89	3,0	$a = 0,01; l = 0,1$
6	1, L	0,5	0,94	2,5	$a = 0,01; L = 5; l = 0,1$

пропускної здатності цієї стратегії до пропускної здатності протоколу МДКН з фіксованим розміром пакетів, а ΔG_0 – відношення межі стійкості цієї стратегії до межі стійкості протоколу МДКН з фіксованим розміром пакетів. Параметри ефективності першої стратегії взяті з [2], а другої і третьої – з [3].

Висновки

У цій роботі завершено дослідження впливу стратегій зміни довжини пакетів на ефективність протоколів МДКН, розпочате в [2, 3].

Ефективність тієї чи іншої стратегії може визначатись за одним із трьох параметрів (ΔS , ΔS_{\max} , ΔG_0) або за кількома з них. Так, для жорсткого протоколу МДКН за пропуск-

ною здатністю найбільш ефективними є третя та шоста стратегії, а за сполученням пропускної здатності і стійкості – друга та третя. Для гнучкого протоколу МДКН за пропускною здатністю найбільш ефективними є третя та перша стратегії, а за сполученням пропускної здатності і стійкості – четверта та шоста.

Запропоновані стратегії керування довжиною пакетів та їх математична модель можуть бути використані для покращення ефективності роботи діючих пакетних радіомереж з конкурентним доступом та при проектуванні нових.

Подальші дослідження ефективності протоколів конкурентного доступу до радіоканалу будуть проведені із врахуванням впливу параметрів фізичного рівня логічної структури пакетної радіомережі.

1. G.I. Papadimitriou and A.S. Pomportsis, "Adaptive MAC protocols for broadcast networks with bursty traffic," IEEE Trans. Commun., vol. 51, no. 4, April 2003.
2. Бунін С.Г., Войтер А.П. Адаптивні протоколи множинного доступу зі змінною довжиною пакетів // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2007. – № 5. – С. 25–29.
3. Войтер А.П. Порівняльний аналіз стратегій адаптації довжини пакетів при конкурентному доступі до радіоканалу // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2007. – № 6. – С. 11–15.

Рекомендована Радою
Інституту телекомунікаційних систем
НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції
20 вересня 2012 року