

**О. Леонтьєва\*, К. Обельовська**

\*TeleConsult-Austria GmbH, Schwarzbauerweg, 3, A-8043, Graz, Austria  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра автоматизованих систем управління

## ПОРІВНЯННЯ ПРОПУСКНИХ ЗДАТНОСТЕЙ СХЕМ ДОСТУПУ DCF ТА EDCA БЕЗПРОВІДНИХ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ

© Леонтьєва О., Обельовська К., 2012

**Проведено порівняльний аналіз пропускної здатності двох схем доступу безпроводних мереж DCF та EDCA в умовах насиченої завантаженості.**

**Ключові слова: безпроводні мережі, DCF, EDCA, пропускна здатність.**

**This paper is devoted to the comparison analysis of wireless networks access schemes DCF and EDCA in case of saturation condition.**

**Key words: wireless networks, DCF, EDCA, throughput.**

### Вступ

Стандарт IEEE 802.11 [1] є найпопулярнішим стандартом безпроводних локальних мереж, а отже роботи щодо його аналізу, вдосконалення та розширення є актуальними. Значно впливають на ефективність мереж, що відповідають даному стандарту, процеси, які відбуваються на MAC-підрівні. Одним з основних завдань MAC-підрівня є організація доступу до спільного фізичного середовища.

За стандартом IEEE 802.11g доступ до спільного фізичного середовища забезпечується базовою схемою розподіленого управління DCF (Distributed Coordination Function), яка ґрунтується на методі множинного доступу з прослуховуванням несучої та запобіганням колізій CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). Додатково в мережах з точкою доступу стандарт передбачає використання схеми централізованої координації PCF (Point Coordination Function), яка дає змогу централізовано управляти колективним доступом до фізичного середовища. Метод DCF є головним та обов'язковим, PCF – додатковим. Розподілений режим доцільно використовувати в мережах, трафік яких є переважно пакетним.

З метою забезпечення мультимедійних ужитків в стандарті IEEE 802.11n введено гібридну схему управління HCF (Hybrid Coordination Function), яка, крім вільного від конкуренції доступу (HCF Controlled Channel Access – HCCA), передбачає також покращений розподілений доступ до каналу (Enhanced Distributed Channel Access – EDCA).

Порівняно пропускні спроможності схем доступу DCF та EDCA.

### Постановка задачі

У розподіленому режимі DCF реалізується множинний доступ з контролем несучої та запобіганням колізій CSMA/CA. Станція, яка хоче передати кадр, перед початком передавання прослуховує середовище. Оскільки режим доступу DCF вимагає синхронізації станцій, то часові інтервали починають відраховуватись з моменту закінчення передавання чергового кадру. Станція, що прослуховує середовище, зафіксувавши закінчення передачі кадру в середовищі, відраховує час, який дорівнює міжкадровому інтервалу IFS (InterFrame Slot). Якщо після закінчення міжкадрового інтервалу IFS середовище залишається вільним, починається відрахунок слотів фіксованої довжини. Кадр можна починати передавати тільки на початку якогось слоту за умови, що середовище вільне. Номер слоту, в якому можна почати передавати, вибирається як випадкове ціле число, рівномірно розподілене на інтервалі  $[0, CW]$ , де  $CW$  (Contention Window) – конкурентне

вікно. Так, схема DCF забезпечує станціям конкурентний спосіб доступу до спільного фізичного середовища, зменшуючи при цьому продуктивність мережі. Слід зазначити, що приведений опис є спрощеним, а сама схема DCF не є орієнтованою на пріоритетне обслуговування, тобто пакети різних класів трафіку вона обслуговує однаково.

На відміну від базової схеми DCF, схема EDCA, що є її розширенням, призначена для підтримки якості обслуговування QoS (Quality of Services). Вона передбачає чотири категорії доступу AC (Access Categories) [1]:

- AC3 – для голосу;
- AC2 – для відео;
- AC1 – для передавання даних у міру можливості (звичайного трафіку);
- AC0 – для передавання у фоновому режимі.

Кожна категорія доступу відповідає певному пріоритету і характеризується власною множиною параметрів доступу до фізичного середовища. Для кожної категорії доступу існує своя черга передачі кадрів, визначено свої арбітражні міжкадрові проміжки AIFS (Arbitration Interframe Space) різної тривалості, крім того, змінюється розмір вікна конкуренції CW. Кожна з черг опрацьовується незалежно одна від одної. Якщо для двох (або більше) кадрів з різних черг однієї станції проміжки відтермінування одночасно дорівнюють 0, то внутрішня колізія вирішується наданням права на передавання кадру з найвищим пріоритетом – решта кадрів опрацьовується як при виникненні зовнішньої колізії. Тобто трафік з вищим пріоритетом має більше шансів бути відісланим, ніж трафік з нижчим пріоритетом.

У цій роботі необхідно проаналізувати, як впливає на пропускну здатність мережі заміна схеми DCF, що не підтримує QoS, на схему EDCA, яка QoS підтримує.

### **Вибір моделей та порівняння пропускних здатностей схем доступу DCF та EDCA**

У роботі [2] наведено огляд аналітичних моделей для дослідження MAC-підрівня безпроводних мереж. Обгрунтовано розгляд при моделюванні насиченого режиму, тобто режиму, який передбачає, що в черзі станції завжди є кадри для передачі.

Для порівняння пропускних здатностей схем доступу DCF та EDCA були обрані дві аналітичні моделі, а саме: моделі Ксяо [3] та Жанга [4] (модель названо за прізвищем першого автора), які найповніше описують роботу безпроводної мережі при базовій схемі доступу DCF та пріоритетній схемі доступу EDCA.

Для обох моделей було прийнято такі припущення:

- 1) ідеальний стан фізичного каналу;
- 2) відсутність прихованих станцій в мережі, тобто усі станції знаходяться у зоні прослуховування;
- 3) число станцій в мережі та число класів доступу є фіксованими;
- 4) при моделюванні насиченого режиму в чергах станції завжди є кадри для передавання.

Весь трафік в обох моделях поділяється на  $N$  класів доступу:  $i = 1, \dots, N$ . Для кожного класу доступу  $i$  визначено значення мінімального вікна конкуренції, максимального числа відтермінувань, числа спроб передачі кадру та арбітражного міжкадрового інтервалу  $AIFS_i$ . Для опису алгоритму функціонування кожної станції в моделях Ксяо та Жанга було побудовано двонапрявлену марківську модель станів.

Нормована пропускна здатність каналу для  $i$ -го класу трафіку  $S_i$  визначається як частка часу зайнятості каналу успішною передачею корисного трафіку  $i$ -го класу:

$$S_i = \frac{E(\text{тривалість передачі корисної інформації класу } i)}{E(\text{довжина слоту часу})} = \frac{p_{s,i} T_{E(P_i)}}{(1 - p_b) T_e + p_s T_{s,i} + p_c T_{c,i}}, \quad (1)$$

де  $p_{s,i}$  – ймовірність успішного передавання кадру класу  $i$  у певний слот часу,  $p_b$  – ймовірність зайнятості каналу при прослуховуванні,  $p_s$  – ймовірність успішного передавання кадру у певний слот часу,  $p_c$  – ймовірність потрапляння кадру у колізію у певний слот часу,  $T_{E(P_i)}$  – тривалість передавання корисної інформації кадру класу  $i$ ,  $T_e$  – тривалість порожнього слоту часу,  $T_{s,i}$  – середня тривалість успішної передачі кадру класу  $i$ ,  $T_{c,i}$  – середня тривалість колізії кадру  $i$ .

Ймовірності успішної передачі кадру або його потрапляння в колізію знаходяться за допомогою побудованої марківської моделі станів та з урахуванням прийнятих авторами припущень [3, 4].

Середній час доставки  $T_{s,i}$  та тривалість колізії  $T_{c,i}$  можна обчислити, знаючи параметри MAC-підрівня та фізичного рівня – тривалість передачі заголовку кадру  $T_H$ , тіла кадру  $T_{E(P_i)}$ , короткого міжкадрового проміжку SIFS, квитанції підтвердження  $T_{ACK}$ :

$$T_{s,i} = T_H + T_{E(P_i)} + SIFS + AIFS_i + T_{ACK} + 2\delta, \quad (2)$$

$$T_{c,i} = T_H + T_{E(P_i)} + SIFS + AIFS_i + \delta, \quad (3)$$

де  $\delta$  – затримка поширення сигналу. Оскільки в аналітичних моделях складно врахувати залежність часових характеристик від відстані між станціями, то для обох моделей величину затримки поширення сигналу було прийнято як сталу величину, що дорівнює 1 мкс.

При порівнянні пропускних здатностей схем доступу DCF та EDCA безпроводних мереж для обох моделей було прийнято однакові параметри MAC-підрівня та фізичного рівня стандарту 802.11g [1] (табл. 1).

Таблиця 1

**Параметри MAC-підрівня та фізичного рівня стандарту 802.11g**

Розмір кадру	2312 байт
MAC-заголовок	34 байта
PHY-заголовок	42 байта
ACK	14 байт
Розмір слоту	20 мкс
SIFS	10 мкс
DIFS	50 мкс
CW <sub>min</sub>	31
CW <sub>max</sub>	1023
Число повторних передач кадру	16
Швидкість передачі	54 Мбіт/с

При моделюванні роботи безпроводної мережі згідно із схемою доступу EDCA трафік рівнопропорційно поділявся на чотири класи з різними пріоритетами. Для кожної черги класу доступу визначено власні параметри MAC-підрівня [1] (табл. 2).

Таблиця 2

**Параметри MAC-підрівня для категорій доступу**

	AC0	AC1	AC2	AC3
<b>CWmin</b>	31	31	15	7
<b>CWmax</b>	1023	1023	31	15
<b>AIFS (мкс)</b>	150	70	50	50

На рис. 1 наведено графіки залежності нормованої пропускної здатності від кількості станцій мережі у випадку насиченої завантаженості для схеми доступу DCF, обчислені за моделями Ксяо і Жанга та за результатами імітаційного моделювання.

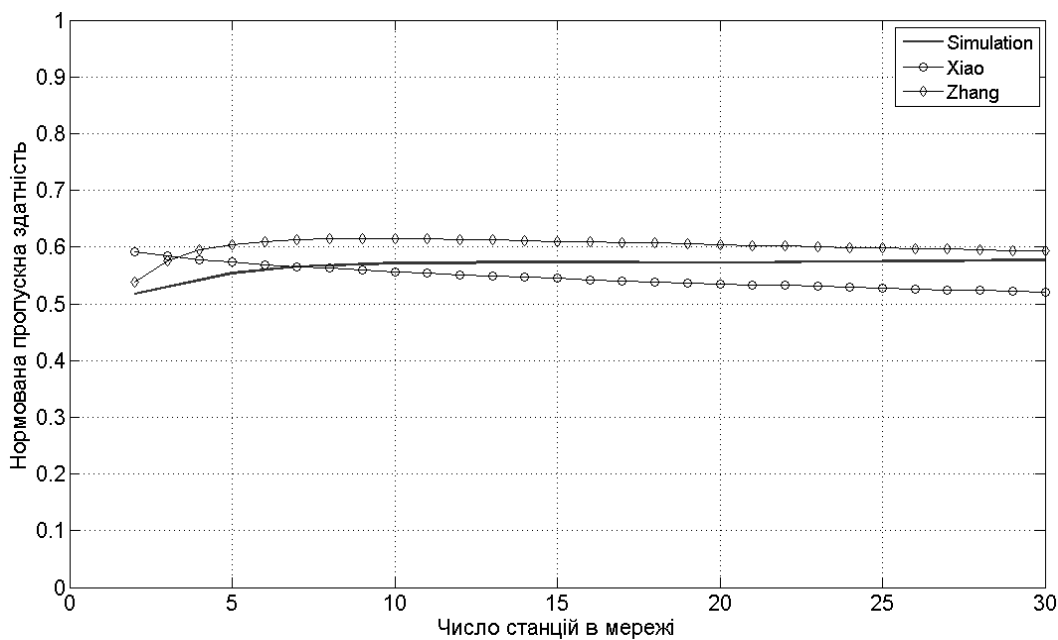


Рис. 1. Нормована пропускна здатність у випадку насиченої завантаженості для схеми доступу DCF

Як видно з рис. 1, нормована пропускна здатність є низькою, що спонукає за необхідності обслуговування додатків критичних до часових параметрів звертатись до схеми доступу EDCA.

На рис. 2 наведено графіки залежності нормованої пропускної здатності від кількості станцій в мережі у випадку насиченої завантаженості для схеми доступу EDCA за окремими класами доступу.

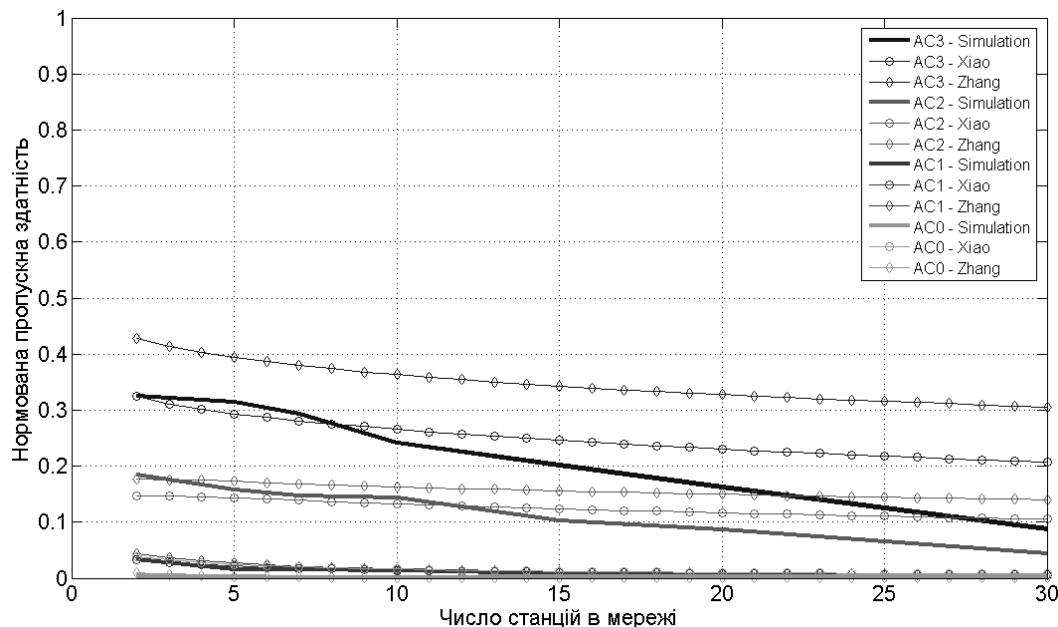


Рис. 2. Нормована пропускна здатність у випадку насиченої завантаженості схеми доступу EDCA для різних класів доступу

Для усіх залежностей можна виділити спадний характер пропускної здатності зі збільшенням кількості станцій у мережі. Для класів доступу AC0 та AC1 нормована пропускна здатність є найнижчою та становить 0.—4 % від швидкості передавання, оскільки кадри класів доступу AC2 та AC3 швидше отримують доступ до середовища та мають вищий пріоритет під час вирішення внутрішньої колізії між кадрами з різних черг.

Рис. 3 ілюструє співвідношення нормованої пропускної здатності схеми доступу DCF та загальної нормованої пропускної здатності схеми доступу EDCA, обчислені за моделями Ксяо і Жанга та за результатами імітаційного моделювання.

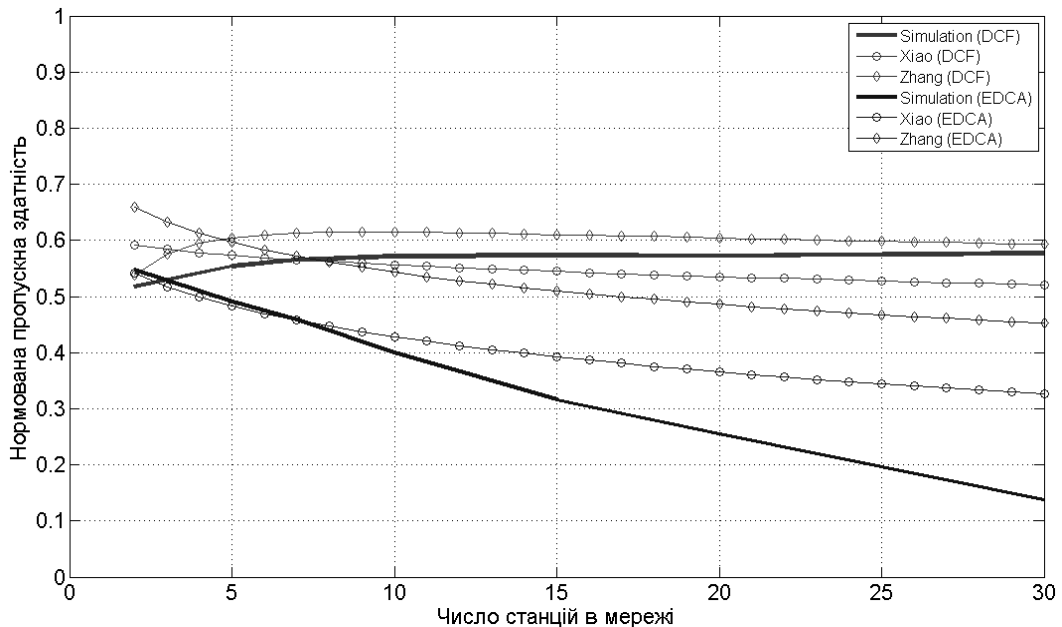


Рис. 3. Загальна нормована пропускна здатність у випадку насиченої завантаженості для схем доступу DCF та EDCA

Як видно з рис. 3, сумарна пропускна здатність безпроводної мережі за схемою доступу EDCA нижча, ніж за схемою доступу DCF. При цьому що більше станцій у безпроводній мережі, то меншу пропускну здатність забезпечує схема доступу EDCA у насиченому режимі порівняно зі схемою доступу DCF. Отже, схема доступу EDCA, забезпечуючи якість обслуговування трафіку високопріоритетних класів доступу, при насиченій завантаженості та великій кількості станцій в мережі менш ефективна загалом, порівняно зі схемою доступу DCF. Оскільки в чергах станцій завжди присутні кадри для передавання, в цьому випадку право на передавання з більшою ймовірністю отримують кадри з вищим класом доступу. Ймовірність передавання кадрів нижчого класу доступу збільшується у випадку, коли внаслідок колізії мінімальне вікно конкуренції для високопріоритетних класів доступу значно більше, ніж мінімальне вікно конкуренції низькопріоритетних класів доступу.

Як один з методів підвищення ефективності роботи безпроводної мережі можна запропонувати метод адаптивного переходу зі схеми доступу EDCA на схему DCF. Критерії та умови застосування методу адаптивного переходу будуть сформовані та досліджені в подальших роботах.

### Висновок

За допомогою аналітичного та імітаційного моделювання здійснено порівняльний аналіз пропускних здатностей мереж з децентралізованою схемою доступу DCF та розширеним доступом EDCA. Показано, що забезпечення пріоритетного доступу схемою EDCA для мереж, що мають п'ять і більше станцій, призводить до зменшення загальної пропускної здатності мережі. Запропоновано як один з методів підвищення ефективності роботи безпроводної мережі метод адаптивного переходу зі схеми доступу EDCA на схему DCF. Критерії та умови застосування методу адаптивного переходу будуть сформовані та досліджені в подальших роботах.

1. IEEE Std 802.11™-2007, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE Std., 2007.
2. Леонт'єва О. Аналіз аналітичних моделей безпроводних мереж стандарту 802.11. Технічні вісті, № 1(31)-2(32). – С. 113–117, 201.
3. Xiao, Y., A simple and effective priority scheme for IEEE 802.11, IEEE Communication Letters, Vol.7(2), pp. 70–72, 2003.
4. Zhang, W., Sun, J., Liu, J., Zhang H.-B., Performance analysis of IEEE 802.11e EDCA in wireless LANs // Journal of Zhejiang University SCIENCE A. – 2007. – 8(1). – P. 18–23.