

УДК 004.7:654.195.6(045)

Лазебний А.В.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СПЕЦИФІКАЦІЇ 802.11Е ДЛЯ КЕРУВАННЯ РЕСУРСАМИ БЕЗПРОВОДОВОЇ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ

Національний авіаційний університет

Розглянуто основні принципи функціонування безпроводової мережі відповідно до специфікації 802.11e. Проаналізовано можливості застосування змінних значень конкурентного вікна CW та арбітражних міжкадрових інтервалів AIFS. Отримано математичні співвідношення, що дозволяють оцінити вплив різних параметрів мережі на організацію пріоритетного розподілу пропускнуої здатності мережі

Вступ

Започаткований як безпроводовий *Ethernet*, протягом років свого існування стандарт 802.11 зазнав суттєвої еволюції. Так, з'явилися специфікації стандарту 802.11b, a, g, n, що призначені для підвищення пропускнуої здатності на фізичному рівні, а також низка специфікацій, призначених для поліпшення певних аспектів функціонування безпроводових мереж. Наприклад, у зв'язку із зростанням частки мультимедійної інформації, що передається через мережу, прийнято специфікацію 802.11e (якість надання послуг, *QoS*), 802.11i (аутентифікація та захист інформації в безпроводовій мережі) тощо. Ефективне застосування нових специфікацій стандарту потребує чіткого розуміння механізмів керування процесами обміну кадрами в локальній мережі.

Актуальність роботи полягає в тому, що із збільшенням навантаження на вузли безпроводової локальної мережі збільшується імовірність колізій, внаслідок чого виникають надмірні затримки кадрів мультимедійних даних або їх відкидання через перебільшення спроб доступу до каналу мережі, що призводить до зниження рівня якості мультимедійних послуг. Правильне застосування механізмів *QoS*, специфікації 802.11e може дозволити значно підвищити якість таких послуг

Мета роботи – дослідити особливості та ефективність застосування режимів із змінним значенням величини конкурентного вікна *CW* та змінним значенням міжкадрових проміжків *AIFS* для забезпе-

чення пріоритетності передавання кадрів даних, яким призначено різні класи доступу до каналу.

Постановка задачі

Усі станції безпроводової мережі здійснюють передавання кадрів даних через один безпроводовий канал мережі. Доступ до каналу організовано за алгоритмами, які передбачають можливість виникнення колізій (коли кілька станцій здійснюють спробу доступу до каналу) або тривалих затримок для певних кадрів даних. Завданням статті є дослідити, яким чином зміна параметрів *CW* та *AIFS* в межах передбачених специфікацією 802.11e забезпечує перерозподіл пропускнуої здатності між інформаційними потоками різних класів.

Основна частина

Для того, щоб зрозуміти механізм пріоритетного управління в режимі *EDCA* [1] та оцінити його ефективність, необхідно безпосередньо розглянути доступ до каналу.

Для аналізу процесу застосуємо такий самий підхід, як і для режиму розподіленого *DCF* (*Distributed Coordination Function*) [2, 3]. Тобто, будемо аналізувати ситуацію, коли усі станції функціонують у режимі насичення. Оскільки передбачено використовувати інтервали часу різного призначення, для зручності будемо називати елементарний інтервал, тривалість якого визначено у відповідному стандарті 802.11x, часовим слотом. Процес доступу до каналу в режимі *DCF* можна розглянути як розподілений на певні

проміжки часу. Ці проміжки містять ціле число часових слотів відстрочки, що формуються слідом за інтервалом активності каналу (інтервал передавання кадру інформації), плюс час інтервалу *DIFS* (*DCF Interframe Space*). Тобто, з метою пошуку моментів, коли відбудеться пакетна передача, ресурси каналу можуть бути подані як послідовність порожніх (неактивних) проміжків часу, що відповідають інтервалам відстрочки, протягом яких жодна зі станцій не здійснює передавання; активних (зайнятих) інтервалів, протягом яких здійснюється передавання пакетних даних (куди входять також кадри підтвердження успішної передачі *ACK*), а також інтервали *DIFS*. Режим *DCF* передбачає для кожної станції однакову ймовірність доступу до каналу.

Застосуємо цей підхід до аналізу роботи каналу у режимі *EDCA*. Однак, головна відмінність від вищезгаданого алгоритму полягає в тому, що проміжки часу,

протягом яких може здійснюватись передавання пакетних даних, розділені спеціальними канальними інтервалами. В режимі *EDCA* доступ залежать від мінімальних значень арбітражних інтервалів міжкадрових проміжків *AIFS*, які використовують конкуруючі станції з різними класами трафіку. Оскільки застосовано інтервали *AIFS* різної тривалості, це має призвести до певних переваг щодо передавання інформаційних потоків з меншою тривалістю *AIFS* (класи трафіку з більш високим пріоритетом).

На рис.1 наведено приклад типового розподілу часових інтервалів каналу *EDCA*, у разі передавання потоків з двома різними пріоритетами. Дискретні моменти часу, коли може бути здійснено доступ до каналу, позначені кружечками (для кадрів з вищим пріоритетом) та прямокутниками й пронумеровані, відповідно до нормованого часу, що минув з моменту останньої активності каналу.



Рис.1. Діаграма розподілу часових інтервалів у режимі *EDCA* для двох пріоритетних інформаційних потоків з параметрами $AIFSN[AC1] = AIFSN[AC2]+2$

Оскільки для кожного класу трафіку визначено певне значення *AIFS* (наприклад, різниця між двома значеннями *AIFS* для різних класів дорівнює двом часовим слотам відстрочки), доступ до деяких канальних слотів може отримати тільки один клас. На рис.1 такими є часові слоти 0 та 1. Ці слоти називаються захищеними. Звернемо увагу на те, що захищені слоти присутні після кожного інтервалу передавання високопріоритетних кадрів, і тому, із зростанням навантаження на мережу, кількість захищених часових слотів збільшується.

Момент завершення відліку відстрочки для кожної станції в режимі *EDCA* залежить від значення лічильника відстрочки та від конкретно встановленого інтервалу *AIFS*, що визначається пріоритетом обслуговуваного трафіку. *SIFS*

(*Short Interframe Space*) – проміжок часу перед надходженням кадру *ACK*.

Під час дослідження впливу тривалості *CWmin* та *AIFS* кожної станції, що передає інформаційний потік *i*-ої категорії доступу, значення лічильника відстрочки в кінці кожного періоду передавання кадру даних позначимо через b_i , а символом δ_i , позначимо число додаткових часових слотів, що встановлено для проміжку *AIFS* низькопріоритетної станції по відношенню до мінімального значення *AIFS*, застосованого в мережі. Тривалість інтервалу *AIFS* задають параметром $AIFSN[ACi]$. *AC* – клас доступу.

Оцінювання ефективності застосування змінних значень параметра *CWmin*

Для аналізу особливостей функціонування безпроводової мережі, за умови застосування змінних значень конкурент-

ного вікна $CWmin$ для потоків різного класу, будемо вважати, що мережа обслуговує насичений інформаційний потік. У випадку $EDCA$ поведінку кожної станції буде характеризувати ймовірність доступу до каналу τ_k , яка залежатиме від класу доступу, до якого віднесено інформаційний потік кожної станції.

$$\tau_k = \frac{2(1-2p_{ck})(1-p_{ck}^{R_k+1})}{(1-2p_{ck})(1-p_{ck}^{R_k+1}) + W(1-p_{ck})[1-(2p_{ck})^{R_k+1}]} \quad (1)$$

Відзначимо, що внаслідок різних значень τ_k , ймовірність колізії p_{ck} для кожної станції також буде залежати від її класу обслуговування. Зокрема, якщо Q – число різних класів, $k, q \in (1, Q)$ – індекси класу, n_k – кількість станцій даного класу і τ_k – ймовірність здійснення передавання для кадру даних відповідного класу, тоді умовну ймовірність колізії для кадру k класу можна визначити співвідношенням

$$p_{ck} = 1 - \frac{\prod_{q=1, q \neq k}^Q (1 - \tau_q)^{n_q}}{(1 - \tau_k)} \quad (2)$$

Запис для початкового значення індексу q вказує на те, що станції даного класу (k) обслуговування конкурують з n_q

$$S_k = \frac{P_{scs}(k) \cdot E[PL]}{\sigma \cdot \prod_{q=1}^Q (1 - \tau_q)^{n_q} + T_s \cdot \sum_{q=1}^Q P_{scs}(q) + [1 - \prod_{q=1}^Q (1 - \tau_q)^{n_q} - \prod_{q=1}^Q P_{scs}(q)] \cdot T_c} \quad (4)$$

де $E[PL]$ – усереднене значення навантаження мережі, що передається протягом одного віртуального системного інтервалу (усереднена тривалість інтервалу, протягом якого здійснено передавання кадру даних).

Чисельник рівняння (4) є усередненим числом біт корисного навантаження, що передається станціями класу k , а знаменник є середньою тривалістю віртуального інтервалу, який характеризує мережу в цілому, а не окремий клас. Тому тривалість цього інтервалу є спільною для всіх класів. Виходячи з (4), співвідношення між окремими складовими, що припада-

ють на потоки даних, віднесені до різних класів обслуговування, може бути записано у вигляді пропорції

$$\frac{S_j}{S_k} = \frac{P_{scs}(j)}{P_{scs}(k)} \quad (5)$$

Для того, щоб отримати більш зручне співвідношення для аналізу впливу величини конкурентного вікна на ймовірність τ_k , можна зробити деякі спрощення. Якщо кількість конкуруючих станцій, що обслуговує кадри одного класу доступу, невелика, тоді ймовірність колізії для кадрів одного класу буде незначна, і ймовірність успішного передавання $P_{scs}(k)$ та

станціями класу $q \neq k$, $i nk-1$ станцією такого ж класу (за винятком даної).

За таких умов ймовірність успішного доступу до каналу для передавання кадру класу k з урахуванням формули ймовірності успішного передавання в режимі DCF набуде значення

$$P_{scs}(k) = n_k \tau_k (1 - \tau_k)^{n_k-1} \prod_{q=1, q \neq k}^Q (1 - \tau_q)^{n_q} = n_k \tau_k (1 - p_{ck}) \quad (3)$$

Остаточний вираз (3) отримано після підстановки значення $(1 - p_{ck})$ із формули (2).

Частину пропускну здатності безпроводового каналу S_k , що припадає на інформаційний потік класу k з урахуванням співвідношення пропускну здатності в режимі DCF, можна записати, як

ймовірність доступу до каналу однієї станції τ_k можна достатньо точно описати їх наближеними значеннями

$$P_{scs} \approx n_k \tau_k, \quad \tau_k \approx \frac{2}{1+W_k}. \quad (6)$$

З урахуванням отриманих значень співвідношення пропускної здатності для кадрів різних класів можна виразити через загальні мережні параметри (кількість станцій певного класу та величину конкурентних вікон), а саме:

$$\frac{S_j}{S_k} \approx \frac{n_j \tau_j}{n_k \tau_k} = \frac{n_j (1+W_k)}{n_k (1+W_j)}. \quad (7)$$

З даного рівняння можна зробити висновок, що перерозподіл пропускної здатності між станціями буде обернено пропорційним значенню конкурентного вікна.

На рис. 2 наведено числові значення зробленої оцінки розподілу загальної пропускної здатності між станціями мережі.

Графік отримано для випадку, коли у станцій, що обслуговують високопріоритетний клас даних, Cw залишається незмінним, а у низькопріоритетного класу даних конкурентне вікно збільшується. Кількість станцій різних класів однакова, $n_j = nk$. Таким чином, крива відображає можливість перерозподілу ресурсів каналу між потоками з різними пріоритетами, завдяки використанню різних значень конкурентних вікон.

Аналізуючи (7), можна зробити висновок, що розподіл загальної пропускної здатності мережі між станціями з різним пріоритетом, що здійснюється шляхом використання різних мінімальних значень параметра Cw_{min} , не залежить від загального навантаження мережі, але залежить від навантаження кожного класу (чим більша кількість станцій певного класу – тим більша частка припадає на відповідний клас).

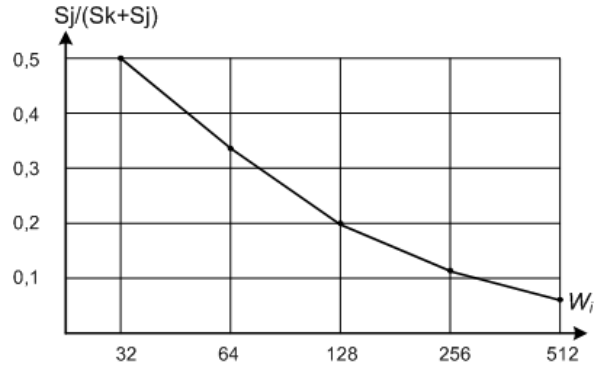


Рис. 2. Графік відносної частки пропускної здатності мережі для низькопріоритетного трафіку за умови, що $CW_{min} = 32$

Крім того, у разі збільшення загального навантаження і станції з високим пріоритетом, і станції з меншим пріоритетом зазнають пропорційного зменшення інтегральної пропускної здатності, що припадає на групи станцій кожного класу. В той же час імовірність колізій збільшиться.

Оцінювання ефективності застосування змінних значень тривалості AIFS

Використання змінних значень міжкадрових проміжків AIFS мотивується зовсім іншим (і більш складним) фізичним обґрунтуванням. Ідея полягає в резервуванні каналних слотів для доступу станцій вищого пріоритету [1]. Як було показано на рис. 1, коли деякі станції використовують різні значення AIFS, існує період часу, в якому станції з більш короткими значеннями AIFS (станції більш високого пріоритету) можуть отримати доступ до каналу, тоді як станції з більшим значенням AIFS (нижчого пріоритету) не можуть отримати доступу.

Найбільша проблема використання інтервалів AIFS різної тривалості полягає в тому, що захищені слоти мають місце після кожного періоду зайнятості каналу. Це означає, що відсоток захищених слотів значно збільшується, у разі зростання навантаження на мережу.

За наявності інтервалів AIFS змінної тривалості припущення про постійну ймовірність колізії на один слот буде неправильним. Таким чином, аналіз специфікації EDCA не може бути простим уза-

гальненням моделі для режиму *DCF*, як і у випадку із змінними значеннями *CWmin*.

У літературі запропоновано кілька підходів до вирішення цієї проблеми [2, 4] з різними рівнями складності і точності. Пропонуємо більш простий і зручний для аналізу функціонування мережі підхід до моделювання процесів на каналному рівні *EDCA*, спрямований на отримання відносних значень пропускнуї спроможності для потоків, віднесених до різних класів доступу. Хоча для даної моделі є певне обмеження, обумовлене припущенням, що ймовірність колізії є малою величиною, тим не менш, запропонована модель має ту перевагу, що вона є достатньо простою для фізичного розуміння того, чому використання інтервалів *AIFS* різної тривалості є ефективним засобом розподілу ресурсів каналу між потоками різних класів.

Для зручності аналізу, обмежимося випадком, коли треба забезпечити передавання інформаційних потоків двох класів сервісів, *j* та *k*, для яких використовуються однакові параметри конкурентного вікна, але різні тривалості інтервалів *AIFS*.

Будемо вважати, що інтервали *AIFS*, що відносяться до потоку класу *j*, довші від інтервалів для класу *k* на ціле число інтервалів відстрочки δ_j .

Очевидно, що станції, які передають потік класу *j* будуть мати менший пріоритет доступу до каналу через більшу тривалість інтервалів *AIFS*, ніж ті, що передають потік класу *k*.

Припустимо тепер, що станції, які відносяться до обох класів, функціонують за умов граничного значення ймовірності виникнення колізій. На підставі зробленого вище аналізу процесу передавання кадрів у разі однакових значень параметра *CW*, можна зробити висновок, що ймовірності передачі τ_j і τ_k станцій, що належать до цих двох класів, будуть однаковими, і що цю ймовірність можна визначити із співвідношення (6), тобто

$$\tau_j = \tau_k \approx \frac{2}{1+W} = \tau \quad (8)$$

Проаналізуємо сукупність інтервалів, наведених на рис.1. Завдяки наявності захищених інтервалів, станція класу *j* зможе отримати доступ до каналу тільки в незахищеному часовому інтервалі, що з'явиться після завершення процесу передавання альтернативного потоку. Такий момент виникне принаймні тоді, коли завершиться δ_j – часовий слот відстрочки (на рис.1 $\delta_j=2$).

Розглянемо тепер випадок, коли маємо в мережі *nk* і *nj* конкуруючих станцій з високим і низьким пріоритетом, відповідно. Імовірність τ_k^* того, що жодна станція з високим пріоритетом не отримає доступу до каналу протягом δ_j захищених інтервалів, буде дорівнювати ймовірності того, що жодна з *nk* станцій з високим пріоритетом не буде передавати в жодному з δ_j захищених інтервалів, тобто

$$\tau_k^* = (1-\tau)^{n_k \delta_j} \quad (9)$$

Якщо припустити, що всі станції мають однакову ймовірність доступу до каналу з метою передати кадр інформації, протягом незахищених інтервалів всі вони мають можливість виграти суперечку за канал з однаковою ймовірністю, незалежно від їх класу.

Таким чином, ймовірність того, що наступною успішною передачею здійснить станція класу *j*, буде визначатись співвідношенням

$$\tau_j = \frac{n_j}{n_j + n_k} \quad (10)$$

Якщо не брати до уваги колізії, можна приблизно оцінити перерозподіл пропускнуї здатності безпроводового каналу між потоками з двома пріоритетами. Таку оцінку зробимо співставленням ймовірності виграшу суперечки за канал для станцій, що передають потоки з різним пріоритетом. На підставі (9) та (10) можна записати, що

$$\frac{S_j}{S_k} = \frac{\frac{n_j}{n_j + n_k} (1 - \tau)^{n_k \delta_j}}{1 - \frac{n_j}{n_j + n_k} (1 - \tau)^{n_k \delta_j}} \quad (11)$$

На рис. 3 наведено результати розрахунків, зроблених з використанням отриманого співвідношення (11), для випадку $n_k = n_j = N$.

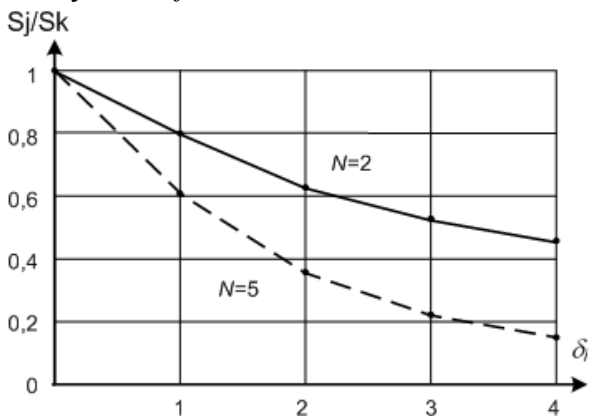


Рис.3. Графіки розподілу ресурсу каналу між станціями з різним пріоритетом, залежно від різниці тривалості AIFS

Виходячи з аналізу форми графіків на рис. 3, можна зробити висновок, що ефект від застосування інтервалів AIFS різної тривалості подібний до ефекту від використання змінного значення параметра CW_{min} , рис. 2.

Кількість активних станцій в мережі впливає на ступінь інтенсивності навантаження безпроводового каналу. З наведених графіків видно, що ефективність застосування інтервалів AIFS різної тривалості істотно залежить від кількості конкуруючих станцій. Наприклад, для випадку, коли $N = 2$ (чотири станції в мережі), для значення $\delta_j = 1$ частка каналного ресурсу, що припадає на станції з високим пріоритетом у мережі з двома пріоритетами (використовується дві різні тривалості AIFS), становить приблизно 80%, а для випадку $N = 5$ (10 станцій в мережі) – 62%. Падіння частки пропускної здатності, що припадає на станції високопріоритетного класу із збільшенням їх числа обумовлено тим, що ці станції починають більш інтенсивно конкурувати між собою.

Висновки

Частка пропускної здатності, яка припадає на високопріоритетний клас трафіку й обумовлена використанням захищених інтервалів різної тривалості, має значну залежність від ступеня високопріоритетного навантаження. Чим більше навантаження, тим більше ефективність використання інтервалів AIFS різної тривалості для забезпечення підвищення надійності передавання мультимедійного трафіку, критичного до затримок. Проаналізований ефект від використання інтервалів AIFS різної тривалості доповнює ефект від застосування мінімального значення конкурентних вікон CW_{min} різної тривалості, що було розглянуто вище.

Список літератури

1. IEEE 802.11e-2005, Draft Supplement to Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Medium Access Control (MAC) Enhancements for Quality of Service (QoS), Sept. 2005.
2. В.М.Вишневский, А.И.Ляхов, С.Л.Портной, И.В.Шахнович. Широкополосные беспроводные сети передачи информации – Москва: Техносфера, 2005, – 592 с.
3. Giuseppe Bianchi. “Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function,” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 18, no. 3, March 2000.
4. G. Bianchi and I. Tinnirello. “Analysis of Priority Mechanisms Based on Differentiated Inter Frame Spacing in CSMA-CA,” in Proc. IEEE VTC’03-Fall, October 2003.

Подано до редакції 16.12.2010