

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРІОРИТЕТНОГО ПІДХОДУ В ДОСТУПІ ДО ФІЗИЧНОГО СЕРЕДОВИЩА НА MAC-ПІДРІВНІ БЕЗПРОВІДНИХ МЕРЕЖ

© Леонтєва О., Обельовська К., 2007

Розроблено імітаційну модель доступу до фізичного середовища безпроводних комп'ютерних мереж. Досліджено ефект від введення пріоритетності станціям мережі.

Wireless computer network multiple media access simulation model is developed. Model implements distributed coordination function for the stations with different priorities. High priority stations time characteristics are improved and investigated.

Вступ

Стандарт IEEE 802.11 є найпопулярнішим стандартом безпроводних мереж, а отже, дослідження та вдосконалення мереж, що відповідають цьому стандарту, є актуальними.

У роботі [1] з метою покращання продуктивності мереж стандарту IEEE 802.11 з розподіленою схемою управління DCF (Distributed Coordination Function) запропоновано механізм АОВ (Asymptotically Optimal Backoff), який динамічно регулює розмір Backoff-вікна залежно від завантаженості мережі. Продуктивність протоколу IEEE 802.11 з чи без АОВ досліджується за допомогою моделювання. Результати моделювання показали, що механізм АОВ є досить ефективним для широких діапазонів завантаженості та конфігурації мережі.

Введення пріоритетності доступу до фізичного середовища запропоновано у роботі [2]. У цій роботі пропонується метод опитування з пріоритетом, який ґрунтується на схемі контролю доступу для протоколу IEEE 802.11. Схема є модифікованим методом доступу DCF; в конкурентний період підтримуються різні рівні пріоритетів, отже, може підтримуватися різна користувацька активність у безпроводних мережах. Запропоновано правила доступу–передавання та адаптивну схему розподілення пропускнуої спроможності, яка надає достатні умови, щоб забезпечити гарантований QoS (quality-of-service) у вільному конкурентному періоді і водночас підтримувати ефективне використання пропускнуої спроможності.

В [3] нами запропоновано введення пріоритетності станціям мережі, що працюють за стандартом IEEE 802.11g, та модифіковано метод обчислення розміру проміжку зворотного відліку Backoff-вікна. У цій роботі досліджено вплив запропонованих змін на час очікування кадрів MAC-підрівня на передавання.

З метою вироблення рекомендацій щодо покращення експлуатаційних параметрів безпроводних мереж досліджено роботу MAC-підрівня локальної безпроводної комп'ютерної мережі за стандартом IEEE 802.11g та під час модифікації роботи MAC-підрівня. Дослідження проводилось за допомогою імітаційного моделювання.

Імітаційна модель для дослідження пріоритетного підходу

Доступ станції до фізичного середовища відбувається за методом DCF або з урахуванням алгоритму RTS/CTS (Request to Send/Clear To Send). Модель імітує роботу мережі відповідно до стандарту IEEE 802.11g та при введенні пріоритетності доступу до фізичного середовища і модифікації схеми обчислення розміру Backoff-вікна. Відповідно до запропонованих змін станції з вищим пріоритетом генерують проміжок backoff time за формулою:

$$Backoff\ time = Random[CW_{min} / 2, CW_{min}] \times SlotTime, \quad (1)$$

станції з нижчим пріоритетом за формулою:

$$\text{Backoff time} = \text{Random} [2 \cdot CW_{\min}, CW_{\max}] \times \text{SlotTime} \cdot \quad (2)$$

Отже, станції з вищим пріоритетом очікують протягом меншого проміжку і мають більшу ймовірність отримати доступ до середовища.

Станції обмінюються між собою повідомленнями. Кожне повідомлення розбивається на кадри розміром 2347 байт, причому кожен кадр доповнюється службовим заголовком розміром 34 байти. Мінімальний розмір кадру – 29 байт, якщо дані менші за цю величину, то вони доповнюються так званим padding-ом до довжини 29 байт.

Максимальна пропускна здатність мережі за стандартом IEEE 802.11g становить 54 Мбіт/с. Чим інтенсивніший обмін між станціями, тим більша завантаженість мережі.

Під час проектування імітаційної моделі мережі побудовано її концептуальну модель, яка передбачає ідентифікацію сутностей, важливих з того чи іншого погляду для функціонування системи. Ці сутності становлять словник системи, що моделюється. Кожна з сутностей відрізняється від інших і характеризується власним набором властивостей.

Для опису станцій мережі в концептуальній моделі виділено клас TComp. Станції обмінюються між собою повідомленнями, отже, потрібен клас TProc для їхнього опису. Ще один клас TForm описуватиме фізичне середовище мережі. Станції взаємодіють між собою через точки доступу, які описуються класом TSms. За допомогою цього ж класу можна описати службові повідомлення RTS, CTS, ACK. Ще один клас TTimer потрібен для відтворення роботи мережі в часі.

Тобто для цієї проблемної галузі існує: клас TTimer – для відліку часу, TForm – для опису середовища та параметрів мережі, TComp – для опису станції, TProc – для опису формуляру повідомлення, TSms – для опису службових повідомлень та точок доступу.

Зупинимось детальніше на описі кожного класу.

Перш за все опишемо клас TComp. Оскільки клас описує параметри робочої станції, а кількість станцій є змінною, то класу потрібен такий атрибут, як мітка (ідентифікатор) для кожної станції (CompID).

Іншим атрибутом є відстань до найближчої точки доступу (Length) для визначення затримки поширення сигналу між двома станціями. Ще один атрибут (Priority) потрібен для позначення пріоритету станції.

Згенерувати повідомлення може лише вільна станція, на що вказує відповідний її атрибут Free. Вільною вважається станція, яка не має кадрів для передавання. Кожне згенероване повідомлення має свого адресата, адреса (мітка) якого зберігається в атрибуті DA (Destination Address). Кількість згенерованої та переданої інформації (в Мбайтах) зберігається в атрибутах N_gen та N_out відповідно. Надалі ці значення використовуватимуться для визначення бажаного та реального трафіків. Якщо кадр станції потрапляє в колізію, то вона фіксується у відповідному атрибуті Koliz.

Для визначення такої характеристики мережі, як середній час очікування/доставки кадру використовуються атрибути To1/Td1 та To2/Td2, в яких запам'ятовуються відповідно початок та кінець періоду очікування/доставки. При цьому період доставки містить час очікування та час передавання. Для визначення середнього часу очікування/доставки треба знати, яку кількість кадрів передала станція. Це значення зберігатиметься в атрибуті Ksms, а самі значення середнього часу очікування та доставки – в атрибутах Tser_o та Tser_d відповідно.

Для початкової ініціалізації параметрів кожної станції існує конструктор TComp() та операція Init(), параметрами якої є ідентифікатор станції, відстань до точки доступу та пріоритет станції.

Іншими операціями в класі є процедури для накопичення часу очікування Inc_To() та часу доставки Inc_Td(), і процедура для визначення середнього часу Ser_T(), параметром якої є час очікування чи доставки.

При генеруванні повідомлення створюється відповідний його формуляр. Він описується класом TProc.

Кожен формуляр містить ідентифікатор (CompID) тієї станції, якій він належить. Оскільки повідомлення розбивається на кадри і при цьому останній кадр не завжди є максимального розміру, то відповідно в атрибуті *Kadr* зберігається інформація про кількість кадрів максимального розміру та розмір останнього кадру. Інформація про кількість кадрів, які ще необхідно передати, зберігається в атрибуті *N_kadr*.

У реальних мережах, перш ніж передавати кадр, станція протягом проміжку DIFS перевіряє, чи середовище не містить сигналів від інших станцій, в імітаційній моделі мережі достатньо перевіряти на вільність точку доступу. Значення проміжку, яке станції ще залишилось очікувати, зберігається в атрибуті *Difs*. Іншим проміжком, який станція очікує, є *Backoff time*, значення якого зберігається в атрибуті *Backoff*. Проміжок зворотного відліку є випадковим і дорівнює цілому числу елементарних часових проміжків, так званих тайм-слотів (*SlotTime*). Для вибору проміжку зворотного відліку кожний вузол мережі формує вікно конкурентного доступу (*Contention Window*, *CW*), що використовується для визначення кількості тайм-слотів, протягом яких станція очікуватиме перед передаванням. Фактично вікно *CW* – це діапазон для вибору кількості тайм-слотів, причому мінімальний розмір вікна становить 31 тайм-слот, а максимальний – 1023 тайм-слоти. Проміжок зворотного відліку відповідно до стандарту визначається за формулою:

$$\text{Backoff time} = \text{Random}[CW_{\min}, CW_{\max}] \times \text{SlotTime} . \quad (3)$$

Якщо під час передавання кадр потрапив у колізію, то при кожній наступній *i*-й генерації інтервалу *Backoff time* розмір конкурентного вікна збільшується за формулою:

$$CW_i = 2CW_{i-1} + 1 . \quad (4)$$

Значення кожного нового конкурентного вікна зберігається в атрибуті *CW*. Для того, щоб знати, який час потрібен станції, щоб передати свій кадр адресату, існує атрибут *Send*. Залежно від методу доступу до фізичного середовища формуляр використовує службові повідомлення, які формуються у відповідних атрибутах АСК.

Параметри формуляра за замовчуванням налаштовуються конструктором *TProc()*. Значення проміжку *Backoff time* формується операцією *Calk_backoff()* для кожного кадру згенерованого повідомлення. Час передачі кадру обчислюється операцією *Calk_send()*.

Станція, яка генерує повідомлення, використовує для цього операцію *Make_sms()*. Саме цією операцією і заповнюються основні параметри формуляра. Успішне передавання кадру фіксується операцією *Kadr_send()*.

Службові повідомлення та точку доступу можна описати класом *TSms*. Клас містить лише два атрибути. Перший з них – *Stan*. Він показує, чи активне в певний час службове повідомлення. Для точки доступу він визначає, чи вона вільна. Другий параметр для службових повідомлень означає час їх надсилання. Якщо цей параметр стає від'ємним, це означає, що відбулась колізія або існує прихований вузол. Для точки доступу цей параметр означає ідентифікатор станції, яка її зайняла. Як і у випадку службових повідомлень, від'ємне значення цього атрибуту означає, що відбулась колізія або існує прихований вузол. Значення атрибутів за замовчуванням налаштовуються конструктором *TSms*, а під час роботи моделі – операцією *Init()*.

Передача повідомлень відбувається через фізичне середовище, яке в імітаційній моделі описується класом *TForm*. Середовище зв'язує між собою *N* станцій та їх *N* формулярів і *N*ар точок доступу. Станції генерують повідомлення з певною інтенсивністю. Зміна інтенсивності генерування повідомлень приводить до зміни завантаженості мережі. Поточний час роботи моделі фіксується в атрибуті *Time*. Ознакою того, чи мережа працює в класичному режимі, чи з пріоритетністю, є атрибут *Priority*.

Взаємодію об'єктів імітаційної моделі мережі можна описати за допомогою діаграми об'єктів (рис.1). Середовище обслуговує такі об'єкти: станції, її формуляри повідомлень та точки доступу. Оскільки робота мережі є обмеженою в часі, то об'єкт таймер запускає або зупиняє роботу середовища. Об'єкт станція, отримавши можливість згенерувати повідомлення, формує відповідний формуляр, який через вільну точку доступу передає кадри.

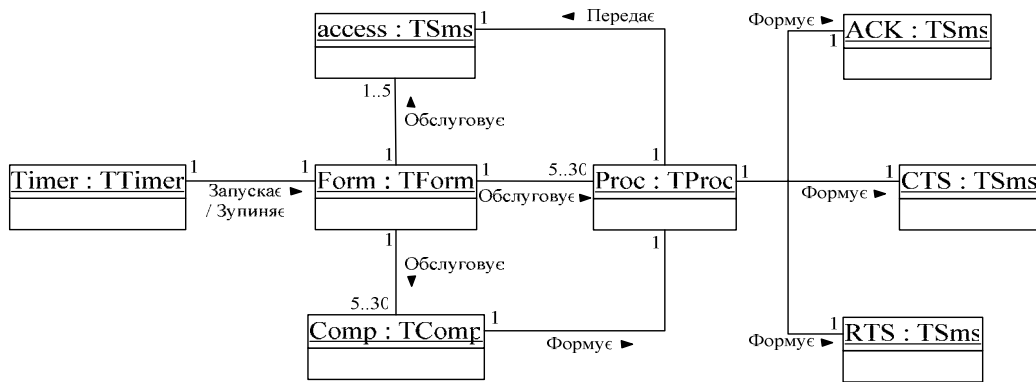


Рис. 1. Діаграма об'єктів

На основі цієї концептуальної моделі було спроектовано імітаційну модель безпроводної мережі, за допомогою якої досліджували її MAC-підрівень.

Дослідження залежності середнього часу очікування кадру станцій від завантаженості мережі

Для зручності аналізу результатів експериментів введено параметр Δt – різницю між середнім часом очікування кадру станції з вищим (нижчим) пріоритетом та середнім часом очікування кадру станції, що працює за стандартом IEEE 802.11g. Останній не передбачає введення пріоритетності. При проведенні експериментів бажаний трафік не перевищував максимальну пропускну спроможність мережі.

На рис. 2 зображено залежність різниці Δt між середнім часом очікування кадру станції з вищим (нижчим) пріоритетом та середнім часом очікування кадру станції, що працює за стандартом IEEE 802.11g, від завантаженості мережі, яка містить 5 станцій та 1 точку доступу. При цьому кількість станцій з вищим пріоритетом становить 10 % та 60 % (відповідно рис. 2, а та 2, б). З рисунка видно, що в обох випадках час очікування для станцій з вищим пріоритетом порівняно з часом очікування, що відповідає стандарту IEEE 802.11g, зменшується незначно (в середньому на 15 мкс), а для станцій з нижчим пріоритетом збільшується в середньому на 30 мкс.

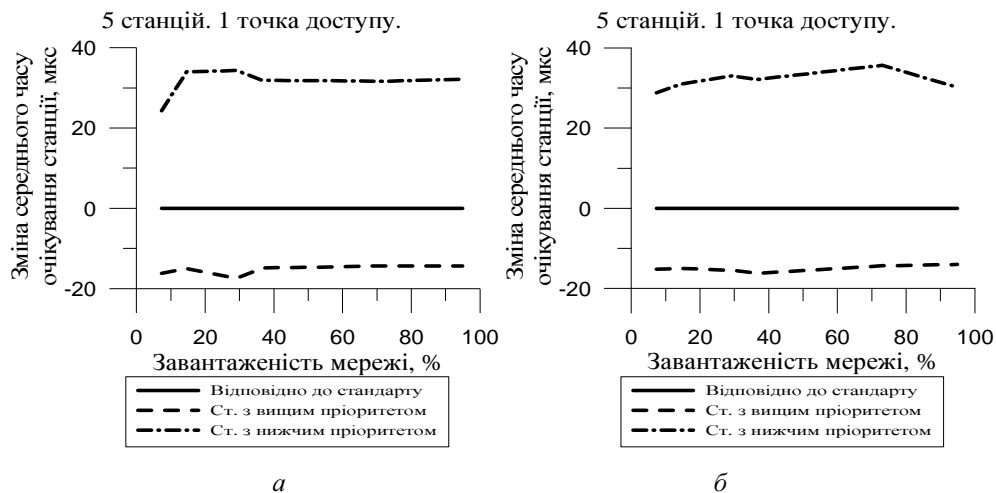


Рис. 2. Залежність зміни середнього часу очікування кадру від завантаженості мережі, коли відсоток станцій з вищим пріоритетом становить: а – 10 % та б – 60 %. Метод доступу DCF

Оскільки збільшення кількості станцій з вищим пріоритетом до 60 % (рис.2, б) не надто впливає на зміну часу очікування кадру, то за малої кількості станцій в мережі можна рекомендувати надавати пріоритетність до 60 % станцій.

На рис. 3, а та 3 зображено залежність Δt від завантаженості мережі, яка містить відповідно 10 та 30 станцій та 1 точку доступу. При цьому кількість станцій з вищим пріоритетом становить 10 %. Порівняння рис. 2, а та 3, а показує, що для 10 станцій (рис. 3, а) зміна часу очікування кадру майже не відрізняється від зміни часу очікування кадру для 5 станцій (рис. 2, а).

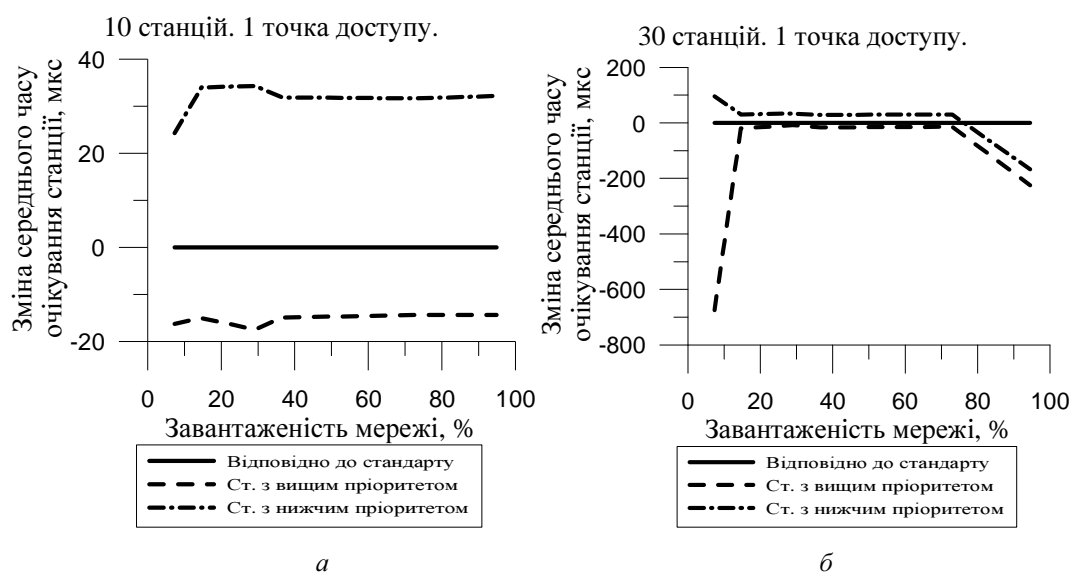


Рис. 3. Залежність зміни середнього часу очікування кадру від завантаженості мережі, коли відсоток станцій з вищим пріоритетом становить 10 %. Метод доступу DCF

У разі збільшенні кількості станцій до 30 (рис. 3, б) та значення завантаженості 15–70 % зміна часу очікування кадру не є великою. Проте, коли завантаженість мережі становить 10 %, маємо достатньо велике зменшення часу очікування для станцій з вищим пріоритетом (близько 600 мкс), при цьому для станцій з нижчим пріоритетом час очікування кадру збільшився значно менше, приблизно на 100 мкс. Тобто за великої кількості станцій, малої завантаженості мережі та незначної частки високопріоритетних станцій станції з вищим пріоритетом значно швидше отримуватимуть доступ до середовища, тоді як час очікування кадру для станцій з нижчим пріоритетом збільшиться незначно порівняно з середнім часом доставки кадру.

У випадку великої завантаженості мережі (понад 70 %) отримуємо, що час очікування кадру зменшився не лише для станцій з вищим пріоритетом, але й для станцій з нижчим пріоритетом, причому зі зростанням завантаженості час очікування порівняно з випадком роботи за стандартом теж зменшується. Зменшення часу очікування кадру для станцій з вищим пріоритетом становить близько 200 мкс, для станцій з нижчим пріоритетом – 150 мкс. Щоб пояснити, чому за великої завантаженості зменшується середній час очікування кадру станцій із введенням пріоритетності, побудовано залежність середнього часу очікування від завантаженості мережі (рис. 4). Отже, у разі завантаженості 70 % і більше середній час очікування станцій, які працюють за стандартом, зростає з 2800 мкс до 3000 мкс. При цьому середній час очікування станцій з вищим та нижчим пріоритетами практично не змінюється порівняно зі значенням за нижчої завантаженості за рахунок рознесення в часі пріоритетних та нормальних потоків та дорівнює, відповідно, для станцій з вищим пріоритетом 2800 мкс, для станцій з нижчим пріоритетом – 2850 мкс.

Отже, зі зростанням кількості станцій та за великої завантаженості мережі істотно зменшується час очікування кадру станцій з нижчим пріоритетом (приблизно на 150 мкс). Можливо, це пов'язано з тим, що станції з вищим пріоритетом частіше отримують доступ до середовища і через це їх кадри частіше потрапляють в колізії. Кадр, що потрапив у колізію, передається повторно. Під час повторного передавання кадри очікують вже довший проміжок часу, внаслідок чого станції з нижчим пріоритетом отримують доступ до середовища.

На рис. 5 зображено залежність абсолютної величини середнього часу очікування кадру від завантаженості. Відсоток станцій з вищим пріоритетом становить 30 %.

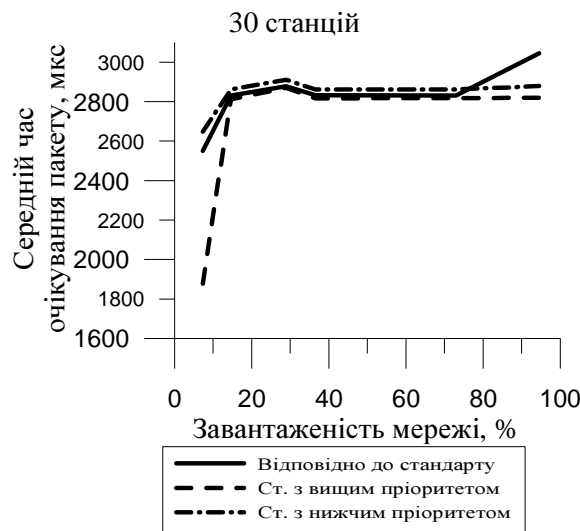


Рис. 4. Залежність зміни середнього часу очікування кадру від завантаженості мережі, коли відсоток станцій з вищим пріоритетом становить 10 %. Метод доступу DCF

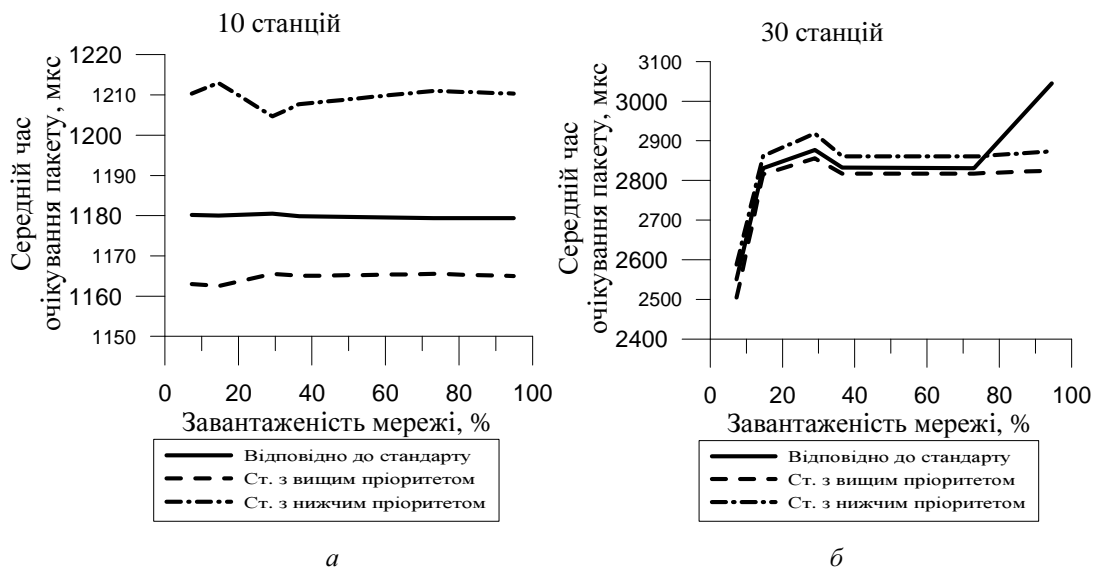


Рис. 5. Залежність середнього часу очікування кадру від завантаженості мережі, коли відсоток станцій з вищим пріоритетом становить 30 %. Метод доступу DCF

У випадку 10 станцій (рис.5а) середній час очікування кадру за стандартом становить 1180 мкс, для станцій з вищим пріоритетом – 1165 мкс, для станцій з нижчим пріоритетом – 1210 мкс, причому значення цього часу практично не залежить від завантаженості.

У випадку 30 станцій (рис. 5, б) за малих значень завантаженості середній час очікування кадру становить 2500–2600 мкс; у разі завантаженості 30 % цей час збільшується до 2800–2900 мкс; у разі зростання завантаженості до 70 % – значення часу практично не змінюється. Із зростанням завантаженості мережі різко зростає лише час очікування за стандартом, тоді як із введенням пріоритетності значення часу практично не змінюється. Різниця між часом очікування для станцій з вищим і нижчим пріоритетом становить приблизно 50–70 мкс.

Висновки

Побудовано імітаційну модель для дослідження MAC-підрівня мережі стандарту IEEE 802.11g та визначення ефекту від введення пріоритетності станцій.

Для невеликої кількості станцій (5–10) із введенням пріоритетності станцій зміна середнього часу очікування є незначною та майже стабільною для будь-якої завантаженості мережі. Крім того вона майже не залежить від відсотка станцій з вищим пріоритетом аж до 60 %.

У разі великої кількості станцій (30), малого завантаження мережі та незначної частки високопріоритетних станцій станції з вищим пріоритетом значно швидше отримуватимуть доступ до середовища, тоді як час очікування кадру для станцій з нижчим пріоритетом збільшиться незначно порівняно з середнім часом доставки кадру.

Цікавим є випадок великої кількості станцій (30) за великої завантаженості мережі (понад 70 %), оскільки отримуємо зменшення середнього часу очікування кадру для станцій як з вищим, так і з нижчим пріоритетами порівняно з роботою мережі відповідно до стандарту. При цьому зі зростанням завантаженості зростають переваги, отримані за рахунок введення пріоритетного підходу. На перший погляд, цей результат є досить несподіваним, проте, побудувавши залежність абсолютної величини середнього часу очікування кадру станцій, отримуємо, що у разі великої завантаженості істотно збільшується (приблизно на 200 мкс) середній час очікування станцій, які працюють за стандартом. Із застосуванням пріоритетного підходу середній час очікування станцій з вищим та нижчим пріоритетами при завантаженості мережі понад 70 % практично не змінюється порівняно зі значенням у разі нижчої завантаженості. Тобто введення пріоритетності у разі великої завантаженості мережі зменшує порівняно із застосуванням стандарту час очікування кадру станції як з вищим, так і з нижчим пріоритетами.

1. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – 512с. 2. Bononi L., Conti M., Gregori E., Design and Performance Evaluation of an Asymptotically Optimal Backoff Algorithm for IEEE802.11 Wireless LANs, 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, 2000. 3. Леонтьева О., Обельовська К. Імітаційна модель можливого доступу до фізичного середовища безпроводних мереж // Тези міжнародної конференції “11-th International Modelling School of AMSE-UAPL”. Ukraine-Crimea, Alushta”, 2006.