

**Міністерство освіти і науки України
Національний університет "Львівська політехніка"**

ПАНОВА ОЛЬГА СЕРГІЇВНА



УДК 681.324.728.3.057.4

**МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ДОСТУПОМ ДО ФІЗИЧНОГО
СЕРЕДОВИЩА БЕЗПРОВІДНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ**

05.13.06 – Інформаційні технології

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів-2017

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному університеті “Львівська політехніка”
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник кандидат технічних наук, доцент,
Обельовська Квітослава Михайлівна,
Національний університет “Львівська політехніка”,
доцент кафедри автоматизованих систем управління

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Тимченко Олександр Володимирович,
Українська академія друкарства Міністерства освіти і
науки України,
професор кафедри автоматизації та комп'ютерних
технологій

кандидат технічних наук
Лях Ігор Михайлович,
Ужгородський національний університет,
доцент кафедри інформатики та фізико-математичних
дисциплін

Захист відбудеться "31" березня 2017 р. о 14⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д 35.052.14 у Національному університеті
"Львівська політехніка" (79013, м. Львів, вул. Степана Бандери, 28а, ауд. 807,
V навчальний корпус).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного
університету "Львівська політехніка" (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий "23" лютого 2017 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доцент



А.С. Батюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сьогодні важко уявити без існування безпроводного зв'язку. Сфери діяльності людства дедалі тісніше переплітаються з інформаційними технологіями, зокрема й з засобами безпроводного зв'язку, який, в свою чергу, дає можливість інформаційним технологіям бути мобільними, не залежати від конкретного місця перебування та бути доступними будь-де та будь-коли.

За останні десятиліття-два безпроводний зв'язок набув стрімкого розвитку. Швидкість передачі сигналів за цей час зросла в сотні разів. Тим не менше, реальна пропускна здатність безпроводних мереж, вимірювана на каналному рівні, значно нижча.

Безпроводне середовище передачі є спільним для усіх вузлів мережі, тому для забезпечення рівноправного доступу до фізичного середовища використовуються конкурентні методи доступу. В умовах конкуренції та використання спільного середовища суттєвий вплив на ефективність роботи безпроводних мереж мають процеси, які відбуваються на підрівні доступу до фізичного середовища. Оскільки значним недоліком безпроводних мереж є неможливість вузлом мережі “відчути” колізію при передачі кадру у ефірі, в основу методу розподіленого доступу до фізичного середовища було закладено метод запобігання колізії (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA), який, в свою чергу, є модифікацією методу доступу до середовища з виявленням колізії (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), що раніше широко використовувався в провідних мережах. Часові витрати, закладені в методі доступу CSMA/CA, викликані необхідністю прослуховування каналу, передачею службових кадрів і використанням при цьому спеціальних міжкадрових проміжків, а також очікуванням станціями протягом випадкового інтервалу часу при вирішенні конфліктів, призводять до того, що навіть “ідеальний” безшумний канал зазвичай використовується неефективно. Більше того, при подальшому збільшенні швидкості передачі сигналів протокол управління доступом до середовища стає вузьким місцем усієї системи, не дозволяючи отримати суттєвий приріст пропускної здатності навіть при використанні найефективніших технологій фізичного рівня. Наприклад, при функціонуванні безпроводної мережі згідно специфікації стандарту 802.11n пропускна здатність підрівня MAC (Media Access Control) управління доступом до фізичного середовища може бути навіть в п'ять разів нижча, ніж швидкість передачі сигналів.

Розвиток технічних можливостей передачі сигналів в безпроводних мережах випереджає впровадження вдосконалень у методи управління доступом до середовища. Це, в сукупності з недоліками нині існуючих методів доступу до фізичного середовища в безпроводних мережах, стає вузьким місцем на шляху розвитку та застосування в безпроводних комп'ютерних мережах інформаційних технологій.

Дослідження публікацій фахівців у даній області, зокрема, Bianchi G., Cali F., Conti M., Gregory E., Duffy K., Engelstad P., Osterbo O., Ni Q., Malone D., Li T., Leith D., Xiao Y., Turletti T., Вишневського В.М., Ляхова А.І., Шахновича І.В. та ін. говорять про те, що схема розподіленого доступу до фізичного середовища на МАС-підрівні досі є вузьким місцем, попри численні пропоновані методи її оптимізації.

Більшість методів модифікації механізму доступу до середовища присвячена оптимізації початкової ініціалізації одного або кількох ключових параметрів МАС-підрівня станції, не враховують динаміку зміни завантаженості мережі, кількості станцій, різне співвідношення класів трафіку, рівень завад в середовищі. Крім того, впровадження деяких алгоритмів вимагає суттєвих змін існуючих методів доступу до середовища. Це, в свою чергу, може призвести до проблеми сумісності передачі кадрів вузлам мережі, які функціонують згідно стандартних схем доступу до середовища.

Тому актуальним завданням є розроблення та вдосконалення моделей, методів та засобів управління доступом до фізичного середовища безпроводних комп'ютерних мереж з метою підвищення пропускнуої здатності, зменшення часових затримок та рівня колізій.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основу роботи складають результати теоретичних та практичних досліджень, виконаних автором самостійно та в рамках навчальних та науково-дослідних робіт кафедри автоматизованих систем управління Національного університету "Львівська політехніка", зокрема за держбюджетною темою "Розроблення компонентів для синтезу інтегрованих автоматизованих систем управління" (0114U001232).

Мета і завдання дослідження.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності безпроводних комп'ютерних мереж шляхом розроблення моделей, методів та засобів управління доступом до фізичного середовища. Досягнення поставленої мети передбачало розв'язання таких завдань:

- аналіз безпроводних комп'ютерних мереж, моделей та методів управління доступом до фізичного середовища і формулювання вимог та напрямків покращення їх характеристик;
- розроблення методу адаптивного управління доступом до фізичного середовища на основі накопичення та статистичної обробки даних попередніх передач;
- розроблення моделі вхідного трафіку мережі, яка дозволить дослідити різні режими роботи МАС-підрівня мережі;
- розроблення моделі аналізу режимів доступу до фізичного середовища на основі зміни параметрів мережі для оцінювання та вибору методу доступу з підвищеною пропускнуою здатністю для конкретного стану мережі;

- розроблення методу підвищення ефективності роботи безпроводної мережі за рахунок вибору числа категорій доступу в залежності від біжучої завантаженості мережі;
- вдосконалення методу розподіленого доступу до фізичного середовища з пріоритетним обслуговуванням, який на основі адаптивного регулювання кількості категорій доступу підвищує продуктивність безпроводної мережі на MAC-підрівні;
- програмну реалізацію розроблених і вдосконалених методів доступу до фізичного середовища на MAC-підрівні безпроводних комп'ютерних мереж.

Об'єктом дослідження є процеси управління доступом до фізичного середовища в безпроводних комп'ютерних мережах.

Предметом дослідження є моделі та методи управління доступом до фізичного середовища в безпроводних комп'ютерних мережах.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених в дисертаційній роботі завдань використано: теорію та методи управління в комп'ютерних мережах – для аналізу безпроводних мереж, моделей та методів управління доступом до фізичного середовища; методи системного аналізу, об'єктно-орієнтоване проектування – для розроблення імітаційної моделі; імітаційне моделювання та статистичні методи обробки даних – для розробки та реалізації вдосконалених методів управління доступом до фізичного середовища безпроводних комп'ютерних мереж.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у тому, що:

вперше:

- розроблено метод адаптивного управління доступом до фізичного середовища, що ґрунтується на зборі та статистичній обробці даних попередніх передач та забезпечує оцінку зміни біжучої завантаженості в реальному часі;
- розроблено модель аналізу режимів доступу до фізичного середовища, яка за рахунок зміни параметрів мережі забезпечує оцінювання та вибір методу доступу з підвищеною пропускнуою здатністю для конкретного стану мережі;
- розроблено метод підвищення ефективності роботи безпроводної мережі за рахунок вибору числа категорій доступу в залежності від біжучої завантаженості мережі;

вдосконалено:

- метод розподіленого доступу до фізичного середовища з пріоритетним обслуговуванням за рахунок адаптивного регулювання кількості категорій доступу;
- модель вхідного трафіку в мережі, яка за рахунок врахування розподілу завантаженості мережі між станціями та інтенсивності вхідного потоку кадрів кожної станції забезпечує відтворення потоків трафіку для різних режимів роботи мережі.

Практичне значення одержаних результатів. Розв'язання сформульованих задач є основою побудови адаптивних методів управління доступом до фізичного середовища з урахуванням біжучої завантаженості мережі та числа категорій доступу.

Розроблений метод підвищення ефективності роботи безпроводної мережі за рахунок вибору числа категорій доступу в залежності від біжучої завантаженості мережі дозволяє підвищити загальну пропускну здатність для мереж на 20-46%, знизити часові затримки на 30-40% і інтенсивність колізій на 26-48% за умови, що загальна бажана завантаженість мережі вища за 50%.

Результати досліджень використані в Інституті теоретичної та прикладної інформатики Польської академії наук в рамках наукових робіт гранту NCN 4796/B/T02/2011/40 “Modele dynamiki transmisji, sterowania zatloczeniem i jakoscia uslug w Internecie” (акт впровадження від 01.07.2014 р.) та в ТзОВ “Українські промислові телекомунікації” (акт впровадження від 11.05.2016 р.).

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, автору належать: в [1] – аналіз впливу пульсуючого трафіку на продуктивність роботи безпроводної мережі; в [2] – аналіз пропускну здатностей безпроводної мережі з різним числом категорій доступу; в [3, 4, 13, 14] – вдосконалення методу доступу з пріоритетним обслуговуванням за допомогою адаптивного регулювання числа категорій доступу та аналіз роботи безпроводної мережі з застосуванням запропонованого адаптивного алгоритму; [5] – аналіз результатів дослідження пропускну здатностей схем доступу DCF (Distributed Coordination Function) та EDCA (Enhanced Distributed Channel Access); в [6] – аналіз впливу різного співвідношення різнопріоритетного трафіку на продуктивність роботи безпроводної мережі; в [7] – розширення стандартного методу доступу CSMA/CA з метою покращення роботи безпроводної мережі; в [9, 10, 11, 12, 15] – системний аналіз архітектури імітаційної моделі та дослідження пріоритетного доступу до фізичного середовища.

Апробація результатів дисертації. Основні результати наукових досліджень були представлені на 7-и міжнародних науково-технічних конференціях: 10-th International Modeling School of AMSE-UAPL, 12-17 September 2005, Alushta-Ukraine; 11-th International Modeling School of AMSE-UAPL, 12-17 September 2006, Alushta-Ukraine; 17-th International Modeling School of AMSE-UAPL, 05-10 September 2012, Alushta-Ukraine; 20-th International Conference, CN 2013, 17-21 June 2013, Lwowek Slaski, Poland; XI Міжнародна наукова конференція “Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту” (ISDMCI'2015), 25-28 травня, 2015, Залізний порт, Україна; 7-а Українсько-польська науково-практична конференція “Електроніка та Інформаційні Технології” (ЕІТ-2015), 27-30 серпня 2015, Львів, Чинадієво, Україна; 8-th IEEE International

Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2015), September 24-26, 2015, Warsaw, Poland.

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 15 наукових праць, в тому числі 9 у наукових фахових виданнях рекомендованих ДАК України, 1 стаття та 2 матеріали конференцій у закордонних наукових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз. Одна наукова праця виконана одноосібно.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 146 сторінок основного тексту, 67 рисунків та 9 таблиць. Загальний обсяг дисертації – 163 сторінки, список літературних джерел налічує 108 найменувань на 14 сторінках. Дисертація містить 3 додатки, розміщених на 3 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, наукову новизну і практичне значення одержаних результатів. Наведено дані про впровадження результатів роботи, їх апробацію, публікації та особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** здійснено аналіз безпроводних комп'ютерних мереж, моделей та методів управління доступом до фізичного середовища безпроводних комп'ютерних мереж. Зокрема, розглянуто режими роботи безпроводних мереж та існуючі методи розподіленого доступу до фізичного середовища безпроводних мереж. Крім того, проаналізовані напрямки та шляхи вдосконалення методів доступу до фізичного середовища, а також методи та засоби дослідження роботи безпроводних мереж, їх можливості та недоліки.

На підставі цього аналізу з'ясовано, що найбільшого поширення серед методів доступу до фізичного середовища на MAC-підрівні безпроводних мереж отримали базовий механізм розподіленого доступу (DCF) та механізм доступу з забезпеченням якості обслуговування (EDCA) стандарту IEEE 802.11. Алгоритм запобігання та вирішення колізій, який використовується в механізмі доступу до середовища, вносить суттєві затримки при передачі кадрів, що, в свою чергу, знижує пропускну здатність каналу.

Переважна більшість пропонованих методів, спрямованих на покращення пропускну здатності безпроводної мережі та оптимізацію затримки кадрів, при виконанні певних умов дають незначне збільшення пропускну здатності мережі, часто при цьому погіршуючи часові характеристики передачі кадрів, оскільки вони не враховують динаміку зміни кількості станцій в мережі, її завантаженість, рівень завад в середовищі. У зв'язку з цим виникає задача розробки такого методу управління доступом до фізичного середовища, який адаптивно реагуватиме на зміни в мережі.

Використання фізичного мережевого обладнання при розробці та модифікації методів доступу безпроводних мереж є надто складним, дорогим та потребує багато часу на впровадження та налаштування змін в обладнанні. Тому найбільш доступними методами дослідження роботи мережі є аналітичне та імітаційне моделювання.

Аналіз існуючих аналітичних моделей МАС-підрівня показав, що аналітичне моделювання дає змогу лише приблизно оцінити параметри роботи МАС-підрівня мережі, оскільки описати математичні залежності шуканих характеристик з початковими умовами можна для спрощених моделей мережі. Якщо постає проблема глибокого дослідження різних типів та складності мережі, то найефективніше використовувати для цього імітаційне моделювання, оскільки інформаційні технології дозволяють описати елементи та процеси в мережі з високим рівнем деталізації, необхідної точності, крім цього, імітаційне моделювання дозволяє досліджувати роботу мережі в динаміці.

Наведений аналіз існуючих доступних програмних симуляторів роботи МАС-підрівня мережі дозволив зробити висновок, що наразі немає доступної імітаційної моделі, яка б охоплювала усі нюанси роботи МАС-підрівня безпроводної мережі та дозволяла б вносити зміни в алгоритми функціонування МАС-підрівня безпроводної мережі. Таким чином, постає задача розробки моделі управління доступом до фізичного середовища безпроводної мережі за допомогою інформаційних технологій, яка дозволить глибоко дослідити роботу МАС-підрівня безпроводної мережі та розробити адаптивний алгоритм доступу до фізичного середовища з метою покращення ефективності роботи МАС-підрівня безпроводної мережі в умовах конкуренції та використання спільного середовища.

Другий розділ присвячений розробці комп'ютерної моделі аналізу режимів управління доступом до фізичного середовища безпроводних мереж.

За допомогою системного аналізу об'єкту дослідження дисертаційної роботи було розроблено діаграму станів МАС-підрівня безпроводної мережі при організації передачі кадру (рисунок 1). Розроблена діаграма станів описує процес передачі кадру як для схеми доступу EDCA, так і для схеми доступу DCF, оскільки її можна вважати окремим випадком схеми EDCA, коли увесь трафік мережі належить до одного типу класу трафіку.

Згідно діаграми станів для кожного кадру, який надійшов у чергу, станція генерує значення лічильника проміжку зворотного відліку backoff (BoF) та переходить в стан прослуховування каналу. За умови вільності каналу станція зменшує лічильник BoF та знову прослуховує канал. Якщо ж під час очікування проміжку backoff канал стане зайнятим, то лічильник BoF заморожується, доки канал не буде вільним. Коли лічильник BoF стане нульовим та середовище все ще залишатиметься вільним, станція переходить в стан перевірки на внутрішню колізію. Серед усіх кадрів, для яких лічильник BoF рівний нулю, станція обирає для передачі кадр з

найвищим класом, щодо решти кадрів застосовується механізм запобігання колізій.

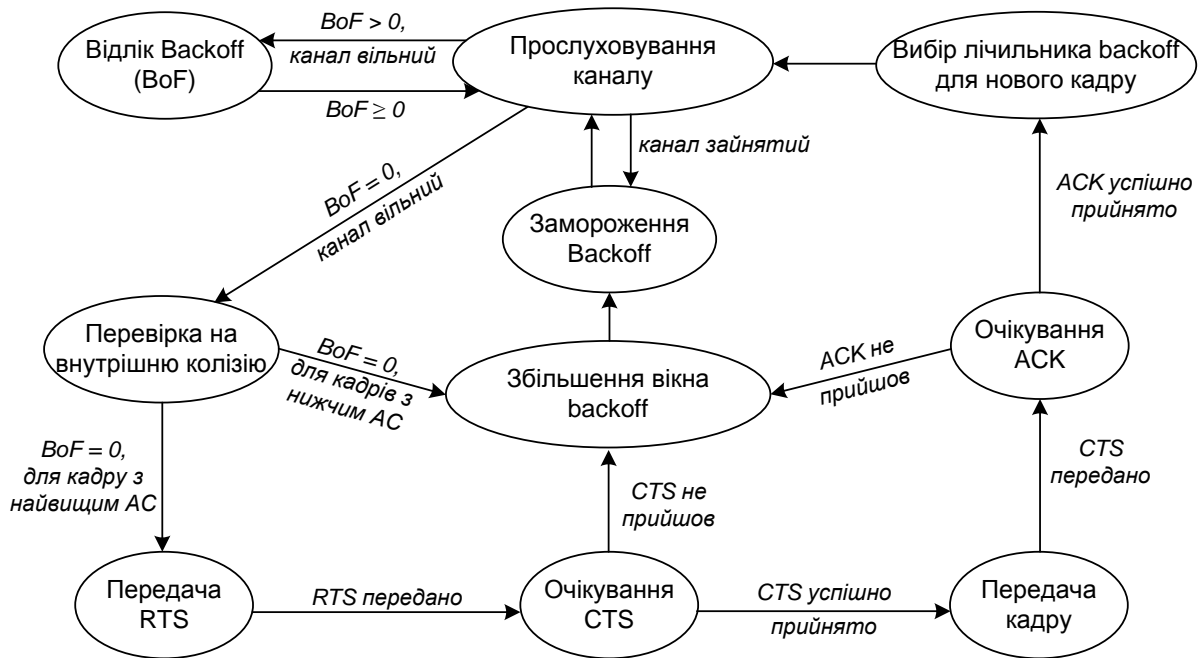


Рисунок 1 – Спрощена діаграма станів MAC-підрівня безпроводної мережі

В діаграмі станів враховано механізм резервування середовища RTS/CTS (Request To Send / Clear To Send), який дозволяє зменшити ймовірність потрапляння кадру в колізію. За відсутності цього механізму станція після прослуховування каналу переходить до передачі даних.

Згідно механізму RTS/CTS станція надсилає службовий кадр запиту RTS та очікує на кадр-підтвердження CTS. Якщо кадр CTS не отримано, то станція застосовує механізм повторного визначення проміжку відтермінування, інакше – передає кадр. Кожна коректна передача кадру підтверджується кадром-квитанцією АСК (Acknowledgment) станцією-адресатом. Якщо АСК не отримано, станція вважає, що відбулась колізія в середовищі та застосовує механізм запобігання колізій.

На період прийому кадру станція заморожує лічильник зворотного відліку, якщо в черзі знаходиться кадр для передачі. Успішно прийнявши кадр, станція відсилає кадр-підтвердження АСК.

Взявши за основу розроблену діаграму станів MAC-підрівня безпроводної мережі, за допомогою діаграм UML (Unified Modeling Language) побудовано концептуальну модель комп'ютерної імітаційної моделі та за допомогою об'єктно-орієнтованої мови програмування C++ було розроблено програмну реалізацію моделі управління доступом до фізичного середовища безпроводної мережі. В розробленій комп'ютерній моделі управління доступу до фізичного середовища безпроводної мережі реалізовано підтримку режимів роботи згідно ряду специфікацій стандарту 802.11, динамічну зміну завантаженості станцій, реалізовано режим

Infrastructure Mode, який дає змогу моделювати та аналізувати розгалужені безпроводні мережі, що складаються з набору сегментів, зв'язаних між собою за допомогою точок доступу. Також розроблено модель трафіку в мережі, яка дозволяє регулювати зміну інтенсивності кожної станції, як по величині інтенсивності, так і в часі.

Застосований при розробці моделі управління доступом до фізичного середовища об'єктно-орієнтований підхід програмування дозволяє розширити чи змінити реалізовані за замовчуванням особливості функціонування: методи доступу з забезпеченням якості обслуговування та без, число категорій доступу, параметри MAC та фізичного рівнів, інтенсивність та закон розподілу вхідного потоку кадрів, стан середовища.

Шляхом верифікації результатів роботи розробленої моделі управління доступом до фізичного середовища за різноманітних умов функціонування з результатами роботи аналітичних моделей, симулятора NS-2 та з даними фізичних вимірювань проведено аналіз точності її роботи.

Для аналізу точності роботи моделі управління доступом до фізичного середовища були обрані аналітичні моделі, які найбільш повно описують роботу безпроводної мережі при базовій схемі доступу DCF та пріоритетній схемі доступу EDCA. При моделюванні роботи безпроводної мережі згідно схеми доступу EDCA трафік рівнопропорційно поділявся на чотири класи з різними пріоритетами – голос (AC_VO), відео (AC_VI), трафік найкращих зусиль (AC_BE) та фоновий трафік (AC_BK). Параметри MAC-підрівня для кожної черги класу доступу наведено в таблиці 1.

Таблиця 1.

Параметри MAC-підрівня для категорій доступу

	AC0 AC_BK	AC1 AC_BE	AC2 AC_VI	AC3 AC_VO
CWmin	31	31	15	7
CWmax	1023	1023	31	15
AIFS (мкс)	150	70	50	50

Експерименти були проведені для безпроводної мережі, завантаженість якої є насиченою, та для безпроводної мережі, завантаженість якої плавно змінюється від низької до насиченої. Отримані залежності пропускної здатності мережі та середнього часу доставки від кількості станцій лежать в межах розкиду аналогічних залежностей знайдених за аналітичними моделями та збігаються з ними за характером зміни. Для більшості аналітичних моделей, обраних для порівняння, різниця значень пропускної здатності та середнього часу доставки не перевищує 5-15 %, тобто результати імітаційного моделювання добре узгоджуються з більшістю аналітичних моделей.

Іншим шляхом оцінки точності моделі управління доступом до фізичного середовища було порівняння її результатів роботи з результатами роботи іншого симулятора. В наукових роботах найбільш широко представлені результати моделювання роботи безпроводної мережі за

допомогою симулятора NS-2, який і було обрано для порівняння з результатами роботи розробленої моделі управління доступом до фізичного середовища. У випадку насиченої завантаженості для схеми доступу DCF різниця результатів становить 2%, для схеми доступу EDCA – 2-5%, а для мережі зі змінною завантаженістю – 10-15%.

Оскільки при розробці моделі управління доступом до фізичного середовища було реалізовано модель фізичного середовища з втратою потужності сигналу з відстанню, то результати роботи моделі управління доступом до фізичного середовища були порівняні з даними фізичних експериментів. В експериментах досліджувалась максимально можлива пропускна здатність в залежності від відстані між точкою доступу та станцією. Виміри проводились з використанням обладнання різних виробників, яке функціонувало згідно стандартів 802.11g та 802.11n. Результати імітаційного моделювання досить добре узгоджуються з результатами фізичних вимірювань, різниця між ними не перевищує 12 %, при цьому між вимірюваннями, зробленими за допомогою обладнання різних виробників, існує суттєвий розкид значень.

Експерименти з фізичним обладнанням показали, що пропускна здатність безпроводної мережі в найкращому випадку не перевищує 30-45 % від номінальної швидкості передачі на фізичному рівні. Однією з важливих причин цього є неефективність протоколу управління доступом до середовища безпроводної мережі. Отже, вдосконалення методів управління доступом до середовища на MAC-підрівні безпроводної мережі є актуальною задачею.

У **третьому розділі** проведено детальний аналіз роботи схем доступу MAC-підрівня безпроводної мережі при зміні числа категорій доступу, а також за різних умов функціонування мережі.

Перш за все було досліджено ефективність схеми доступу EDCA за умови, що в мережі присутній лише один тип трафіку та завантаженість мережі є насиченою в порівнянні з ефективністю схеми доступу DCF, яка не поділяє трафік за пріоритетом та обслуговує усі кадри однаково, (рисунком 2). Дане дослідження дозволило показати, що загальна ефективність схеми доступу EDCA є нижча, ніж для схеми доступу DCF. Зі зростанням числа станцій в безпроводній мережі та збільшенням частки високопріоритетного трафіку все меншу пропускну здатність забезпечує схема доступу EDCA в насиченому режимі в порівнянні зі схемою доступу DCF. Так, у випадку, коли в мережі з 30 станцій передається лише голосовий трафік, пропускна здатність мережі практично вдвічі менша, ніж пропускна здатність для схеми DCF. Пов'язано це з тим, що в насиченому режимі кадри частіше попадають в колізії, в той же час для високопріоритетних кадрів розмір максимального вікна конкуренції вдвічі менший або рівний розміру мінімального вікна конкуренції для низькопріоритетних кадрів. Таким чином, при застосуванні механізму запобігання колізії зростає ймовірність, що для двох і більше станцій буде

згенеровано однакове значення проміжку відтермінування, та, відповідно, зростає ймовірність попадання високопріоритетних кадрів в наступну колізію.

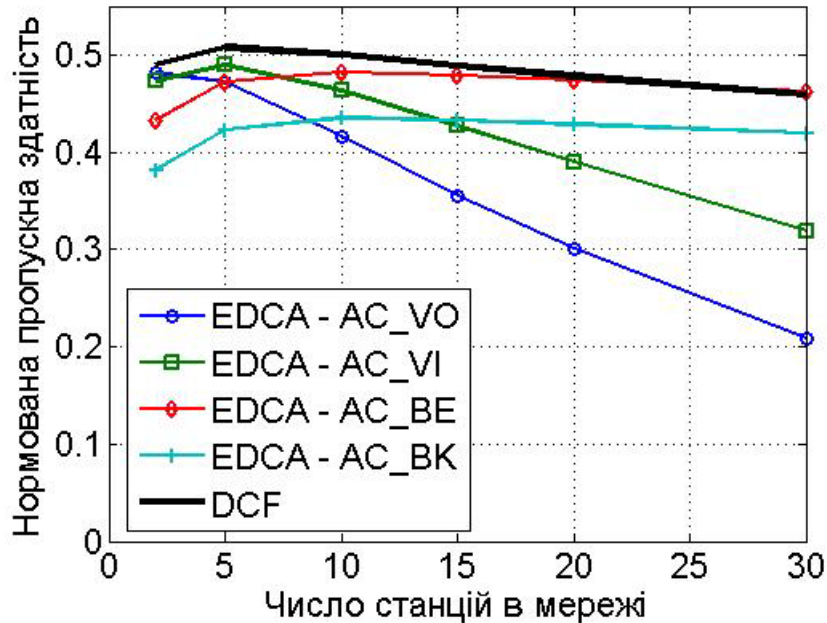


Рисунок 2 – Нормована пропускну здатність безпроводної мережі, яка передає один тип трафіку

Беручи до уваги, що за певних умов схема доступу DCF без категорій доступу дозволяє забезпечити вищу пропускну здатність, ніж схема доступу EDCA з чотирма категоріями доступу, було досліджено вплив числа категорій доступу в схемі EDCA на її ефективність та здатність забезпечувати пріоритетне обслуговування. В дослідженні було використано чотири схеми поділу трафіку. Схема 1 не передбачала поділу трафіку за категоріями доступу. Схема 2 передбачала поділ трафіку на дві категорії доступу: фоновий трафік (AC_BK) та відео (AC_VI). Для схеми 3 трафік поділявся на чотири категорії доступу згідно стандарту 802.11e. Для схеми 4 було визначено вісім категорій доступу, які передбачені стандартом 802.1D.

На рисунку 3 зображено залежність пропускну здатності від числа станцій в мережі, яка працювала в насиченому режимі, для чотирьох схем поділу трафіку. При збільшенні числа станцій в мережі, збільшується різниця значень пропускну здатностей між різними схемами поділу трафіку. Так, для мережі, яка складається з 15 станцій, різниця між схемою без поділу на категорії доступу та схемою з двома категоріями доступу становить приблизно 10%, для схеми з чотирма категоріями доступу загальна пропускну здатність практично в два рази нижча, а для схеми з вісьмома категоріями доступу – в 2.5 рази. Для 30 станцій загальна пропускну здатність для схем з поділом на дві, чотири та вісім категорій доступу нижча, відповідно, в 1.5, 3.7 та 7.9 рази в порівнянні зі схемою без

поділу трафіку за категоріями доступу. Однією з можливих причин таких залежностей й може бути застосування механізму вирішення внутрішніх колізій.

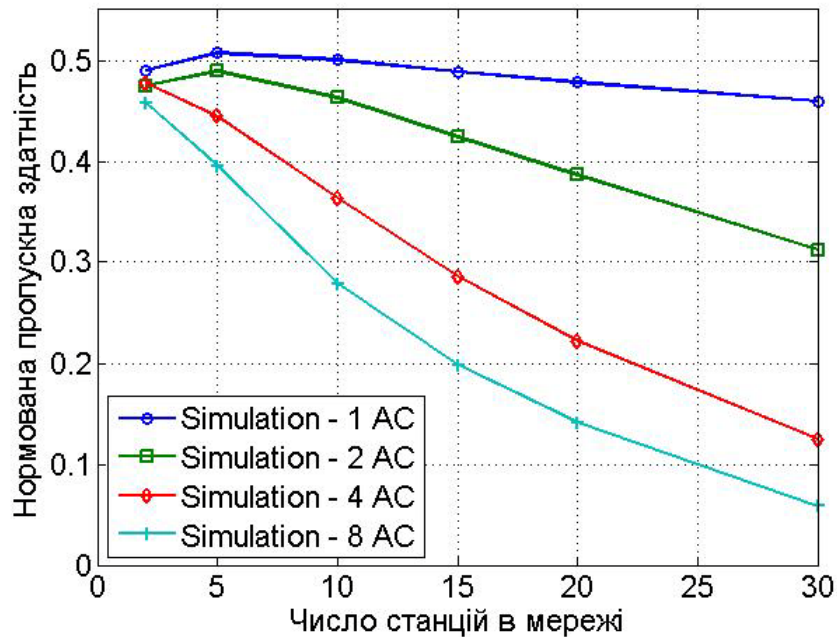


Рисунок 3 – Загальна нормована пропускну здатність для чотирьох схем поділу трафіку

Крім загальної пропускну здатності мережі було також досліджено пропускну здатність для кожного класу трафіку. Дослідження показало, що схема з чотирма категоріями доступу при насиченій завантаженості мережі ефективно надає пріоритетний доступ високопріоритетним кадрам лише для мережі з невеликим числом станцій. З ростом числа станцій в мережі зменшується ефект від застосування поділу трафіку на категорії доступу та у випадку 30 станцій нормована пропускну здатність найбільш пріоритетного трафіку не перевищує 10%, в той час, як для схеми з двома категоріями доступу – 30%.

Аналогічне дослідження впливу числа категорій доступу EDCA на її ефективність було проведено і за умови змінної завантаженості мережі, оскільки насиченість реальної мережі не є частим та постійним явищем. Дослідження було проведено для мережі з 5, 10 та 30 станцій, що відповідає малим, середнім та великим її розмірам.

На рисунках 4 та 5 зображено зміну загальної нормованої пропускну здатності в залежності від завантаженості мережі, яка складається з 10 та 30 станцій відповідно. Загальна пропускну здатність для схем доступу з двома, чотирма та вісьмома категоріями доступу зменшується зі зростанням завантаженості мережі, і чим більше станцій в мережі, тим стрімкіше вона зменшується. При бажаній завантаженості мережі у 100% використання схеми доступу без поділу трафіку за категоріями доступу дозволяє отримати

загальну нормовану пропускну здатність у порівнянні зі схемою з чотирма категоріями доступу вищу в 1.2 та 1.8 рази для 10 та 30 станцій відповідно.

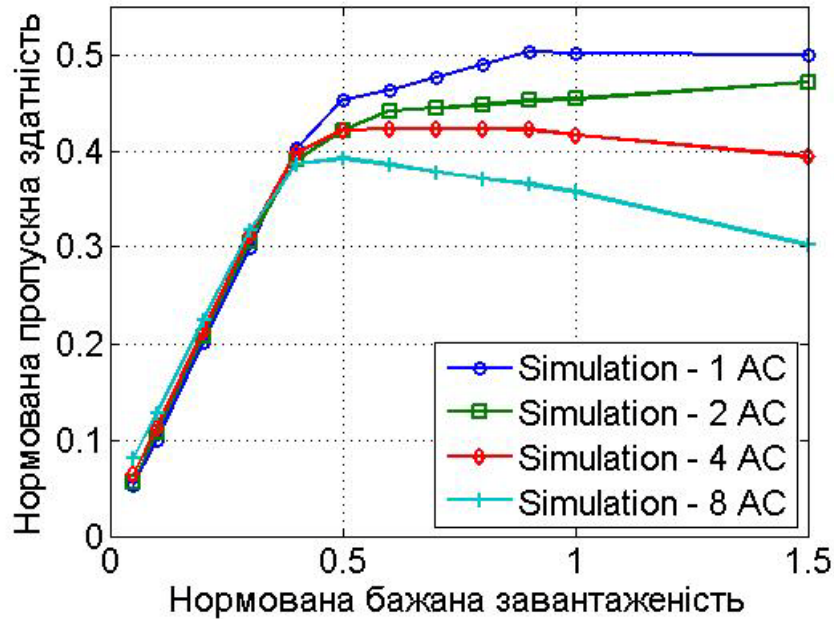


Рисунок 4 – Загальна нормована пропускну здатність для чотирьох схем доступу для безпроводної мережі, яка складається з 10 станцій

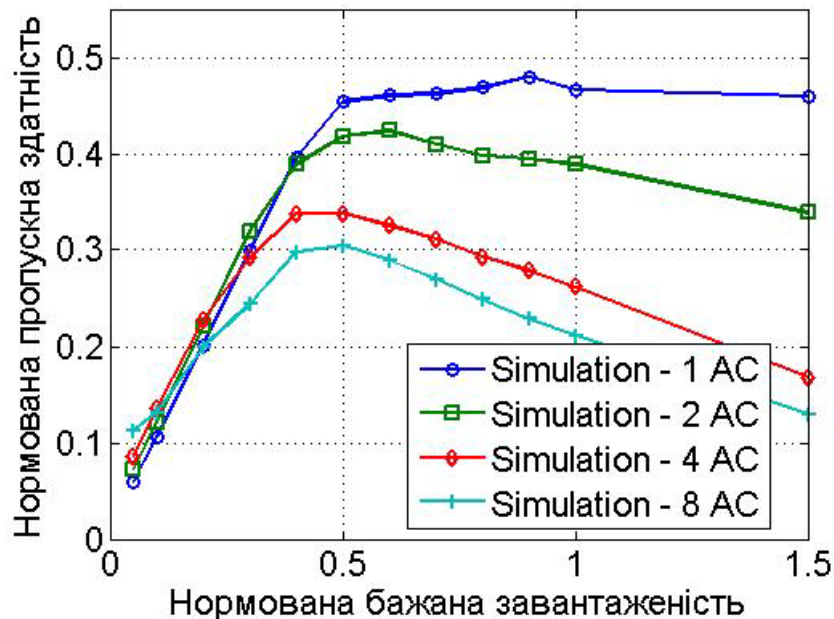


Рисунок 5 – Загальна нормована пропускну здатність для чотирьох схем доступу для безпроводної мережі, яка складається з 30 станцій

Аналіз пропускну здатності для кожного класу трафіку окремо показав, що для схеми доступу з чотирма категоріями доступу при зростанні завантаженості в мережі зростає ймовірність попадання в колізію високопріоритетних кадрів і, як наслідок, низькопріоритетні кадри передаються з вищою ймовірністю право бути переданими отримують.

Вищенаведені дослідження проводились за умови, що в черги станції надходить однакова кількість кадрів кожної категорії доступу. Тобто співвідношення трафіків кожної категорії доступу становило 1:1 або 1:1:1:1 у випадку поділу трафіку на дві та чотири категорії доступу відповідно. В реальних мережах такий сценарій мало ймовірний. Для дослідження зміни пропускної здатності безпроводної мережі для різного співвідношення високо- та низькопріоритетного трафіків були проведені експерименти для таких сценаріїв співвідношення трафіків різних категорій доступу:

Сценарій А: в мережі переважає високопріоритетний трафік зі співвідношенням до низькопріоритетного трафіку як 3:1.

Сценарій В: в мережі переважає низькопріоритетний трафік зі співвідношенням до високопріоритетного трафіку як 1:3.

Аналіз загальної пропускної здатності для сценаріїв А та В показав, що зміна співвідношення високо- та низько пріоритетного трафіку не має суттєвого впливу на зміну пропускної спроможності MAC-підрівня безпроводних мереж малого та середнього розміру. Для великих безпроводних мереж зростання частки високопріоритетного трафіку знижує загальну пропускну здатність MAC-підрівня мережі на 30-35%.

Оскільки ефективність схеми EDCA залежить від розміру безпроводної мережі та від її завантаженості, в той же час кожен тип трафіку характеризується власними вимогами до пропускної здатності, швидкості передачі, затримки передачі та її варіації, ймовірності бітової помилки тощо, було проведено дослідження щодо забезпеченні якості передачі високопріоритетного трафіку згідно схеми доступу EDCA. Згідно результатів для безпроводних мереж середнього розміру необхідна пропускну здатність та вимоги щодо затримки передачі забезпечуються лише для голосового трафіку, а для великих мереж ні голосовий, ні відео (в дослідженні – потокове SD-відео) трафік не передаються з необхідною якістю. При цьому зменшення числа категорій доступу в схемі поділу трафіку з чотирьох до двох, дозволяє покращити якість передачі високопріоритетного трафіку. Так, на прикладі потового SD-відео, для безпроводних мереж середнього розміру при використанні схеми поділу трафіку на дві категорії доступу можна забезпечити достатню для якісної передачі пропускну здатність та затримку передачі кадру.

У **четвертому розділі** вдосконалено метод доступу до фізичного середовища з пріоритетним обслуговування за допомогою адаптивного регулювання числа категорій доступу.

Для розробки кроків алгоритму адаптивного вибору числа категорій доступу схеми EDCA та визначення його ключових параметрів проведено дослідження впливу зміни інтенсивності трафіку станції на її експлуатаційні характеристики. Оскільки завантаженість мережі носить змінний характер, в дослідженні було припущено, що вхідний трафік станції різко зростає та падає – тобто зміна його інтенсивності є пульсуючою та короткотривалою. Результати дослідження показали, що станції та точка доступу можуть

виокремити сплеск та падіння завантаженості мережі, аналізуючи зміну середнього часу доставки кадрів, який при сплесках та падіннях завантаженості мережі змінюється приблизно у 2-2.5 рази. Для визначення зміни середнього часу доставки запропоновано зберігати значення середнього часу доставки попередніх передач та аналізувати їх за допомогою методу рухомого середнього. Згідно проведених досліджень, довжина вікна методу рухомого середнього має бути невеликою (5-10 значень), аби станція або точка доступу могли виокремити зростання та падіння завантаженості в мережі.

Отже, було запропоновано та розроблено метод адаптивного регулювання числа категорій доступу, який ґрунтується на методі оцінки поточної завантаженості мережі, в основі якого, в свою чергу, лежить статистичний аналіз даних середнього часу доставки попередніх передач кадрів. Враховуючи вищевикладене, діаграма станів схеми доступу EDCA (рисунок 1) була розширена станами станції при використанні адаптивного методу зміни числа категорій доступу (рисунок 6).

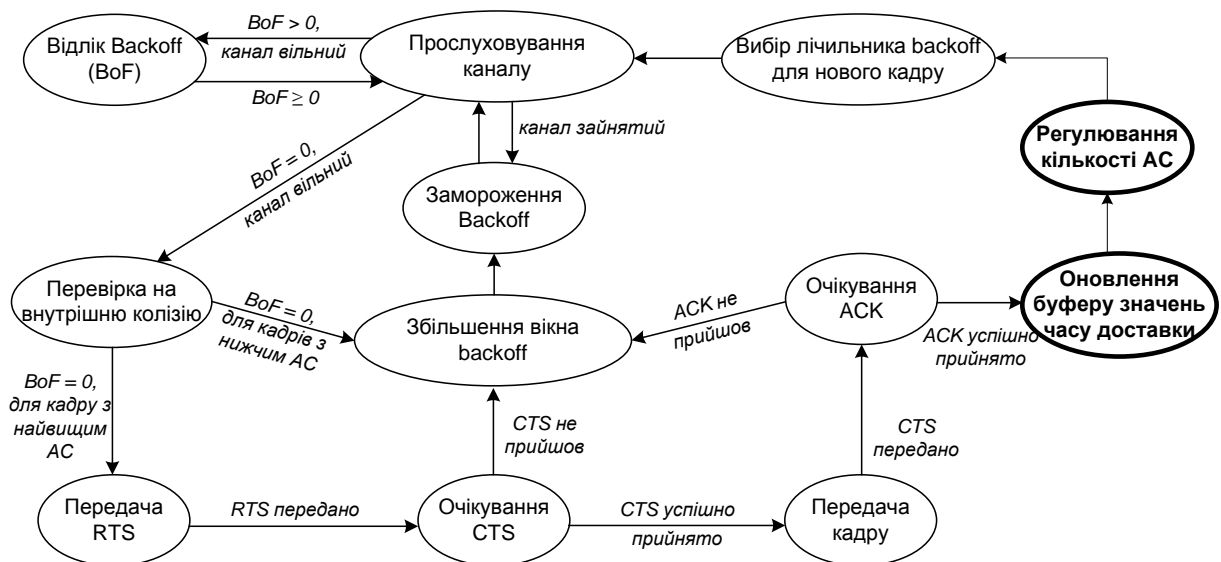


Рисунок 6 – Спрощена діаграма станів MAC-підрівня з адаптивним регулюванням числа категорій доступу

В стані оновлення буферу значень часу доставки станція спершу обчислює час доставки кадру як величину проміжку часу між надходженням кадру в чергу та отриманням квитанції-підтвердження про його успішний прийом. Обчислена величина часу доставки зберігається у буфері станції, розмір якого відповідає довжині інтервалу накопичення. Довжина інтервалу накопичення відповідає довжині вікна методу рухомого середнього та, згідно досліджень, має бути невеликою. Якщо буфер повний, то, перш ніж зберегти нове значення часу доставки, з нього виштовхується перший запис, решта записів буферу зсуваються, а нове значення часу доставки записується в кінець буферу.

В стані регулювання кількістю категорій доступу станція обчислює середній час доставки (D_{avr}) на усьому інтервалі накопичення. Обчислене середнє значення станція порівнює з певною величиною часу доставки D_{base} , назвемо її – базовою. Базовий час доставки – це еталонна величина, відносно якої оцінюють зміну середнього часу доставки кадру станції в мережі для оцінки поточного стану її завантаженості. Базовий час доставки ініціалізується на початку функціонування станції в мережі та може бути обчислений як перше отримане середнє значення часу доставки, або як час, необхідний для передачі кадру, обчислений згідно формули:

$$D_{base} = BoF \times SlotTime + (MAC_{hdr} + PHY_{hdr} + E[P] + ACK) / BR + SIFS + DIFS + 2\delta, \quad (1)$$

де BoF – середнє значення лічильника відтермінування, $SlotTime$ – тривалість слоту часу, MAC_{hdr} та PHY_{hdr} – розмір заголовку кадру відповідно на MAC та PHY рівнях, $E[P]$ – середній розмір тіла кадру, ACK – розмір квитанції-підтвердження, BR – швидкість передачі, $SIFS$ – величина короткого міжкадрового інтервалу, $DIFS$ – величина розподіленого міжкадрового інтервалу, δ – затримка поширення сигналу.

Рішення щодо зміни числа категорій доступу станція приймає на основі відношення значення отриманого середнього часу доставки до базового. Якщо відношення середнього арифметичного значення часу доставки кадру на інтервалі накопичення до базового значення є більшим, ніж певна величина d_{dec} , або меншим, ніж певна величина d_{inc} , то станція (або точка доступу) фіксує відповідно зростання або падіння завантаженості мережі та приймає рішення про зменшення або збільшення числа категорій доступу. Назвемо величини d_{dec} та d_{inc} індикаторами зміни. Змінивши число категорій доступу, станція зберігає обчислене середнє арифметичне значення часу доставки як нове базове.

Результати дослідження зміни середнього часу доставки для різних довжин інтервалу накопичення показали, що середній час доставки при зростанні/падінні завантаженості мережі змінюється в 2-2.5 рази, за умови, що завантаженість мережі стрімко змінюється, що відповідає пульсуючому характеру трафіку. Враховуючи, що усереднення на певному інтервалі часу згладжує різку зміну середнього часу доставки, то індикатор зміни середнього часу доставки слід вибрати меншим, ніж 2-2.5.

Стандартом 802.11 визначено чотири категорії доступу, кожна з яких має власну чергу кадрів. Оскільки в стандарті безпроводних мереж відсутній механізм динамічної зміни числа черг, то в адаптивному алгоритмі реалізовано механізм опрацювання черг, коли число категорій доступу відрізняється від їх кількості. При зменшенні кількості категорій доступу створюється матриця перетворення між набором черг згідно стандарту та набором черг згідно адаптивного алгоритму (рисунок 7). Як і передбачено стандартом, кожна черга функціонує згідно схеми DCF. Право на передачу отримує той кадр, чий лічильник зворотного відліку стане рівним нулю. У

випадку, коли лічильник зворотного відліку стає рівним нулю одночасно для двох черг, асоційованих з однією категорією доступу, то право на передачу отримує кадр з найвищим пріоритетом, за умови, що він не потрапить у внутрішню колізію з кадром іншої категорії доступу. Для решти кадрів, на відміну від стандартної процедури вирішення внутрішньої колізії, лічильник зворотного відліку залишається рівним нулю, та кадри будуть передані, коли канал знову стане вільним.

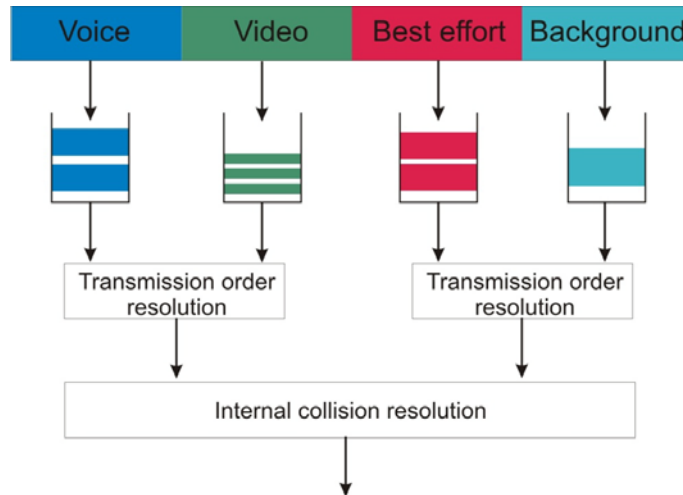


Рисунок 7 – Механізм передачі кадрів з чотирьох черг при двох категоріях доступу

Розроблений метод адаптивного регулювання числа категорій доступу не порушує базовий алгоритм функціонування станції на MAC-підрівні, не вимагає його суттєвих змін, а є лише доповненням до нього.

Запропонований метод роботи схеми адаптивного вибору числа категорій доступу було реалізовано у розробленій комп'ютерній моделі управління доступом до фізичного середовища безпроводної мережі. Що дозволило дослідити роботу методу з метою вироблення рекомендацій щодо значень параметрів інтервалу накопичення та індикаторів зміни. Дослідження проводились для безпроводної мережі різного розміру та для різних значень параметрів алгоритму. Результати попередніх досліджень показали, що довжина інтервалу накопичення має бути невеликою, оскільки усереднення на великому інтервалі згладжує результат та, тим самим, ускладнює можливість зафіксувати різку зміну середнього часу доставки кадру. Тому робота запропонованого методу досліджувалась для інтервалів накопичення довжиною 5, 10 та 15 значень.

Згідно проведених досліджень зміни середнього часу доставки для різних довжин інтервалу накопичення за умови стрімкої зміни завантаженості мережі середній час доставки змінюється в 2-2.5 рази. Враховуючи ефект згладжування при усередненні, в дослідженнях роботи адаптивного методу зміни числа категорій доступу індикатор зміни середнього часу доставки було обрано меншим, ніж 2-2.5, а саме: 1.3, 1.5 та 2. Крім того, для простоти було припущено, що $d_{inc} = 1/d_{dec}$.

За результатами дослідження для безпроводної мережі малого розміру за умови високої завантаженості ($> 80\%$) застосування адаптивної зміни числа категорій доступу дозволяє підвищити загальну пропускну здатність мережі на 3-4% та знизити середній час доставки в середньому на 20-23%.

Для безпроводної мережі середніх (рисунок 8) та великих (рисунок 9) розмірів адаптивний вибір числа категорій доступу забезпечує загальну пропускну здатність в діапазоні завантаженості 50-100% вищу відповідно на 4-8% та на 23-46%, ніж для схеми доступу EDCA з чотирма категоріями доступу.

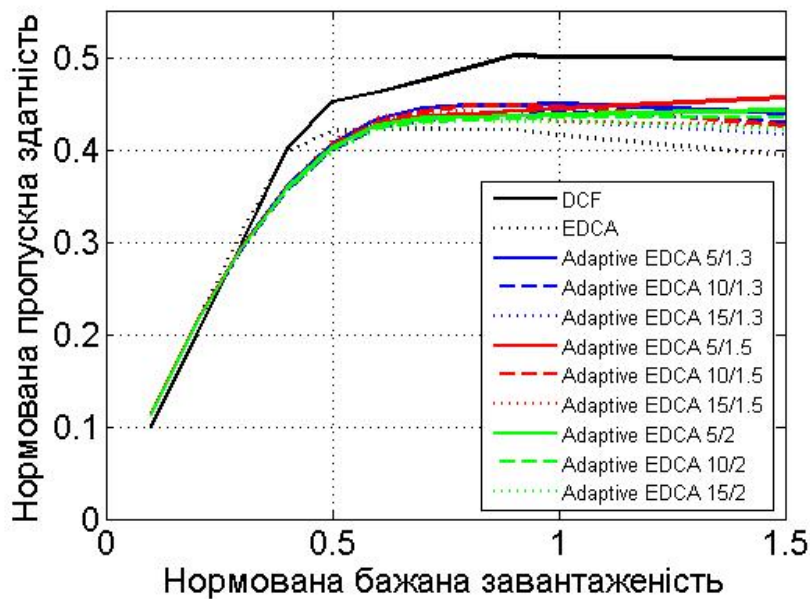


Рисунок 8 – Загальна нормована пропускна здатність мережі з 10 станцій та схемою доступу EDCA з адаптивним вибором числа категорій доступу

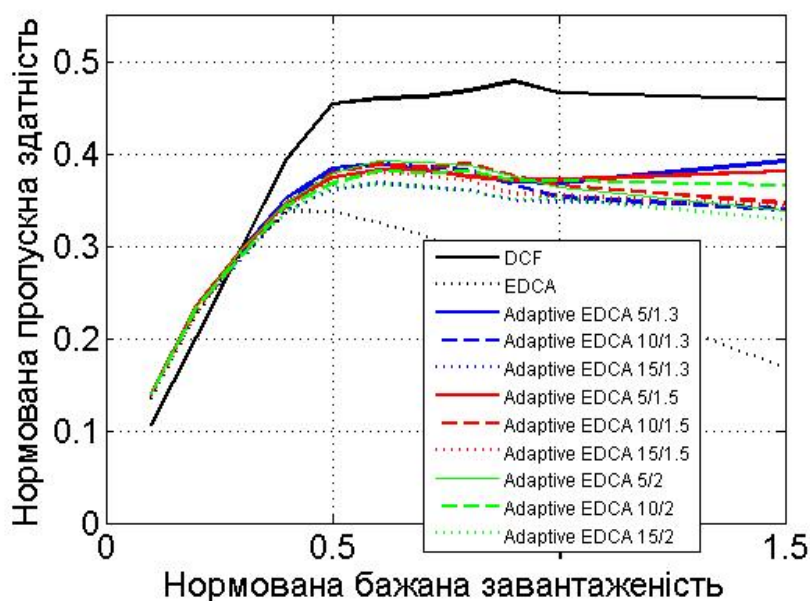


Рисунок 9 – Загальна нормована пропускна здатність мережі з 30 станцій та схемою доступу EDCA з адаптивним вибором числа категорій доступу

Середній час доставки кадру для мережі середнього розміру при завантаженості $> 50\%$ для адаптивних схем є нижчим на 20-40%, ніж для стандартної схеми EDCA. В діапазоні завантаженості 50-90% найнижчі показники середнього часу доставки отримано для адаптивної схеми зі статистичним інтервалом накопичення рівним 5 та 10 значень з індикатором зміни 1.5 та для інтервалу в 5 значень з індикатором зміни 1.3. А для адаптивної схеми зі статистичним інтервалом накопичення 5 значень та індикатором зміни 1.5 середній час доставки кадру на 21% нижчий, ніж середній час доставки для схеми EDCA з двома категоріями доступу. У випадку великої мережі застосування адаптивного методу дозволяє знизити середній час доставки на 20-30%, порівняно зі стандартною схемою EDCA.

Додатково було досліджено вплив запропонованого методу адаптивного регулювання числа категорій доступу на якість обслуговування високопріоритетного (рисунок 10) та низькопріоритетного трафіків.

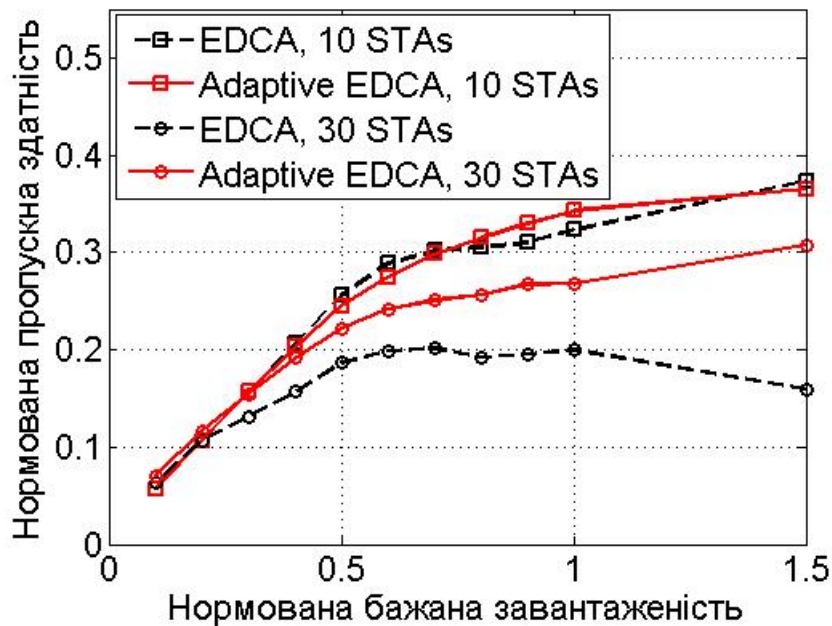


Рисунок 10 – Нормована пропускну здатність для високопріоритетного трафіку мережі з 10 та 30 станцій для схеми з адаптивним вибором числа категорій доступу

Згідно проведених досліджень, на прикладі мережі великого розміру, в діапазоні завантаженості мережі 40-100% високопріоритетного трафіку передано на 30-50% більше, ніж для стандартної схеми EDCA. Крім того, запропонований метод адаптивної зміни числа категорій дозволяє знизити вдвічі інтенсивність колізій, а при насиченій завантаженості – майже в три рази.

Отже, експерименти підтвердили ефективність методу адаптивного регулювання числом категорій доступу для підвищення ефективності

роботи МАС-підрівня безпроводних мереж як в цілому, так і для покращення якості обслуговування високопріоритетного трафіку.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі на основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень розв'язано актуальну наукову задачу – розроблено і вдосконалено моделі та методи управління доступом до фізичного середовища безпроводних комп'ютерних мереж з покращеними характеристиками, при цьому отримано такі основні результати:

1. Визначено особливості управління доступом до фізичного середовища безпроводних комп'ютерних мереж, які полягають у недосконалому механізмі запобігання і вирішення колізій та обмеженнях параметрів безпроводної мережі для забезпечення якості обслуговування, та обґрунтовано необхідність розробки моделей та методів управління доступом до фізичного середовища безпроводних комп'ютерних мереж з покращеними характеристиками.

2. Розроблений метод адаптивного управління доступом до фізичного середовища, який на підставі зібраних і статистично оброблених даних попередніх передач забезпечує оцінку зміни біжучої завантаженості в реальному часі.

3. Розроблена модель аналізу режимів доступу до фізичного середовища на основі зміни параметрів мережі забезпечує оцінювання та вибір методу доступу з підвищеною пропускною здатністю для конкретного стану мережі.

4. Розроблений метод підвищення ефективності роботи безпроводної мережі за рахунок вибору числа категорій доступу в залежності від біжучої завантаженості мережі дає змогу підвищити загальну пропускну здатність для мереж середнього та великого розміру на 20-46%, знизити часові затримки відповідно на 30-40% та інтенсивність колізій відповідно на 26-48% за умови, що загальна бажана завантаженість мережі знаходиться в діапазоні 50-100%.

5. Вдосконалений метод розподіленого доступу до фізичного середовища з пріоритетним обслуговуванням на основі адаптивного регулювання кількості категорій доступу забезпечує підвищену продуктивність безпроводної мережі на МАС-підрівні.

6. Розроблені програмні засоби моделювання доступу до фізичного середовища дають змогу досліджувати методи доступу до фізичного середовища, вдосконалювати їх, вибирати кількість категорій доступу, змінювати характеристики потоків трафіку, стан середовища, параметри МАС-підрівня та фізичного рівнів, моделювати та аналізувати розгалужені безпроводні мережі.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Panova O. On possibility to detect network load burst on MAC-layer of wireless networks / O. Panova, K. Obelovska // International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology. – 2016. – 5(6). – P.2090-2093. (Входить до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus)
2. Leontyeva O. Performance Analysis of IEEE 802.11 EDCA for a Different Number of Access Categories and Comparison with DCF / O. Leontyeva, K. Obelovska // Computer Networks: 20th International Conference, CN 2013, Lwowek Slaski, Poland, June 17-21, 2013: Proceedings (Communications in Computer and Information Science). – 2013. – 370. – P.95-104. (Входить до міжнародних наукометричних баз Scopus, Web of Science)
3. Panova O. An Adaptive ACs Number Adjusting Algorithm for IEEE 802.11 EDCA / O. Panova, K. Obelovska // Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2015)/IEEE Catalog Number: CF11803-PRT. – 2015. – 2. – P.823-826. (Входить до міжнародної наукометричної бази IEEE Xplore)
4. Панова О.С. Аналіз впливу адаптивної зміни числа категорій доступу схеми EDCA на часові характеристики безпроводної мережі / О.С. Панова, К.М. Обельовська // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”: Інформаційні системи та мережі. – 2015. – 814. – С.112-119.
5. Леонтъева О. Порівняння пропускних здатностей схем доступу DCF та EDCA безпроводних локальних мереж / О. Леонтъева, К. Обельовська // НУ “Львівська політехніка” : “Комп’ютерні науки та інформаційні технології”. – 2012. – 744. – С.64-68.
6. Панова О.С. Дослідження впливу співвідношення типів трафіків на продуктивність роботи безпроводної мережі / О.С. Панова, К.М. Обельовська, Р.І. Ліскевич // Збірник наукових праць Національної академії наук України Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова : Моделювання та інформаційні технології. – 2014. – 73. – С.121-126.
7. Obelovska K. Extended wireless CSMA/CA for adaptive traffic flow control / K. Obelovska, O. Leontyeva // Технічні вісті. – 2011. – 1(33)-2(34). – С.31-33.
8. Леонтъева О. Аналіз аналітичних моделей безпроводних мереж стандарту 802.11/ О. Леонтъева // Технічні вісті. – 2010. – 1(31)-2(32). – С.113-117.
9. Леонтъева О. Моделювання множинного доступу до фізичного середовища безпроводних мереж / О. Леонтъева, К. Обельовська // Технічні вісті. – 2007. – 1(25)-2(26). – С.78-81.
10. Леонтъева О. Дослідження пріоритетного підходу в доступі до фізичного середовища на MAC-підрівні безпроводних мереж / О. Леонтъева, К.

- Обельовська // Вісник НУ “Львівська політехніка” : “Комп’ютерні науки та інформаційні технології”. – Львів, 2007. – 598. – С.37-44.
11. Леонтьєва О. Імітаційна модель множинного доступу до фізичного середовища безпроводних мереж / О. Леонтьєва, К. Обельовська // Технічні вісті. – 2006. – 3(24). – С.51-54.
 12. Леонтьєва О. Дослідження пріоритетного підходу в доступі до фізичного середовища на МАС-підрівні / О. Леонтьєва, К. Обельовська // Вісник НУ “Львівська політехніка” : “Комп’ютерні науки та інформаційні технології”. - Львів, 2005. - 543. – С.40-45.
 13. Панова О. Аналіз та вдосконалення методів доступу до фізичного середовища в безпроводних комп’ютерних мережах / О. Панова, К. Обельовська // Тези XI Міжнародної наукової конференції “Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту” (ISDMCI’2015), 25-28 травня, 2015, Залізний порт, Україна. – 2015. – С.130-132.
 14. Панова О. Аналіз критеріїв для адаптивного управління числом категорій доступу схеми EDCA / О. Панова, К. Обельовська // 7 Українсько-польська науково-практична конференція “Електроніка та Інформаційні Технології” (ЕЛІТ-2015), 27-30 серпня 2015, Львів, Чинадієво, Україна. – 2015.
 15. Леонтьєва О. Імітаційна модель для дослідження методу множинного доступу до фізичного середовища з коригуванням вихідних потоків станцій / О. Леонтьєва, Р. Ліскевич, К. Обельовська, З. Шпак // Тези міжнародної конференції “10-th International Modeling School of AMSE-UAPL”. Ukraine-Crimea, Alushta. – 2005. – С.121-124.

АНОТАЦІЯ

Панова О.С. Методи та моделі управління доступом до фізичного середовища безпроводних комп’ютерних мереж. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 - інформаційні технології. – Національний університет "Львівська політехніка", Львів, 2016.

Робота присвячена розробці та вдосконаленню моделей та методів управління доступом до фізичного середовища безпроводних комп’ютерних мереж.

Розроблена програмна реалізація методу управління доступом до фізичного середовища безпроводної комп’ютерної мережі дозволяє досліджувати її роботу та характеризується можливістю змінювати та доповнювати стандартні схеми доступу до середовища, характеристики потоків трафіку, стан середовища, параметри МАС- та фізичного рівнів, моделювати та аналізувати розгалужені безпроводні мережі.

За допомогою розробленої комп’ютерної моделі управління доступом до фізичного середовища проведено дослідження роботи безпроводної

мережі за різноманітних умов функціонування (кількість станцій, завантаженість, співвідношення високо- та низькопріоритетного трафіків тощо). Було показано, що загальна пропускна здатність безпроводної мережі на MAC-підрівні залежить від кількості категорій доступу в схемі доступу EDCA. За певних умов функціонування безпроводної мережі загальна ефективність функціонування схеми доступу EDCA є нижчою за ефективність функціонування схеми доступу DCF.

Проведене дослідження дозволило визначити критерії для розробки методу покращення ефективності роботи MAC-підрівня безпроводної мережі. На основі результатів проведеного дослідження розроблено адаптивний метод доступу до фізичного середовища, який дозволяє підвищити загальну пропускну здатність мережі на 20-46% та знизити середній час доставки кадру та рівень інтенсивності колізій на 30-40% в діапазоні бажаної завантаженості мережі 50-100%.

Ключові слова: моделі та методи управління доступом, імітаційне моделювання, безпроводні комп'ютерні мережі, MAC-підрівень, схема доступу EDCA, адаптивний метод.

ABSTRACT

Panova O.S. Methods and models of access control to a physical environment of wireless computer networks. – Manuscript.

Ph.D. thesis (candidate of Technical Science) in specialty 05.13.06 - Information Technologies. – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2016.

This thesis is a complex research devoted to the developing of application software for simulation, analyzing and studying of wireless local computer networks. A wide theoretical and practical research of methods and models of access control to a physical environment of wireless computer networks has been done and has been used as a basis for software development process of wireless network MAC-layer simulator.

A developed wireless network MAC-layer simulator allows investigating wireless network performance. Among the advantages of the developed simulator are possibilities to modify and to extend the standard access schemes, traffic characteristics, wireless medium state, extensive wireless networks etc. Its accuracy has been verified by comparing of simulated results with the results of different well-known analytical models, network simulator NS-2 and physical measurements.

A research of wireless network performance under different network conditions (the number of stations, offered load, high/low priority traffic ratio etc.) has been done using developed simulator. It was shown that under high load network conditions a total network throughput in case of using EDCA priority-access scheme in general is less efficient (provides a lower total throughput) than DCF scheme that does not provide priority access. At the same time EDCA with two ACs provides a good prioritized access for higher-priority traffic.

According to network throughput analysis under bursty network load conditions all the network nodes react on the traffic burst by increasing of mean frame delay 2-2.5 times. In case of DCF scheme the edges of mean frame delay are quite sharp. For EDCA scheme mean frame delay is burstier itself but its increasing on traffic burst is still distinguishable. Therefore, sharp change of mean frame delay may help identify network load condition and may serve as an indicator for decision-making mechanism in adaptive access control scheme of wireless networks.

An adaptive algorithm of ACs number adjustment that is based on mean frame delay analysis has been developed and investigated. According to the proposed algorithm each station in the wireless network after successful transmission stores frame delay value into an internal buffer. Buffer size is fixed and is equal to simple mean average window length. Simple mean average is being used to calculate an average frame delay. Calculated average frame delay is being compared to some reference frame delay value. Analysing ratio between calculated and reference frame delays station is being able to estimate a load level of the wireless network. Ratio between two delay values is an indicator of increasing/decreasing of network load. If the ratio is larger/smaller than some threshold, then station decreases/increases the ACs number and sets the calculated average frame delay as the new reference value.

Proposed adaptive algorithm enhances total wireless network throughput on 20-46% and decreases average frame delay and collision intensity on 30-40% if offered network load is within a range 50-100%. According to the simulation results in case of large network the total throughput increases by half that allows transmit high-priority traffic more on 30-50%. Investigation of the proposed algorithm also shows that the highest throughput profit is achieved for the wireless network of large size and under high load conditions.

Keywords: *models and methods of access control, simulation, wireless computer networks, MAC-layer, EDCA, adaptive algorithm.*

АННОТАЦИЯ

Панова О.С. Методы и модели управления доступом к физической среде беспроводных компьютерных сетей. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 - информационные технологии. – Национальный университет "Львовская политехника", Львов, 2016.

Работа посвящена разработке и усовершенствованию моделей и методов управления доступом к физической среде беспроводных компьютерных сетей.

Разработанная программная реализация метода управления доступом к физической среде беспроводной компьютерной сети позволяет исследовать ее работу и характеризуется возможностью изменять и дополнять стандартные схемы доступа к среде, характеристики потоков

трафика, состояние среды, параметры MAC- и физического уровней, моделировать и анализировать разветвленные беспроводные сети.

С помощью разработанной компьютерной модели управления доступом к физической среде осуществлено исследование работы беспроводной сети при различных условиях функционирования (количество станций, загруженность, соотношение высоко- и низкоприоритетного трафика). Было показано, что общая пропускная способность беспроводной сети на MAC-подуровне зависит от количества категорий доступа в схеме доступа EDCA. При определенных условиях функционирования общая эффективность схемы доступа EDCA ниже эффективности функционирования схемы доступа DCF.

Согласно проведенному исследованию были определены критерии для разработки метода улучшения эффективности работы MAC-подуровня беспроводной сети. На основе результатов проведенного исследования разработан адаптивный метод доступа к физической среде, который дает возможность повысить общую пропускную способность сети на 20-46%, а также снизить среднее время доставки кадра и уровень интенсивности коллизий на 30-40% в диапазоне желаемой загруженности сети 50-100%.

Ключевые слова: *модели и методы управления доступом, имитационное моделирование, беспроводные компьютерные сети, MAC-подуровень, схема доступа EDCA, адаптивный метод.*