

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 26.062.07 Національного авіаційного
університету

03058, м. Київ, пр. Любомира Гузара, 1

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Інь Ченляна «Дослідження та розроблення методики оцінювання ефективності
передавання аудіовізуальної інформації засобами безпроводових мереж
стандарту IEEE 802.11», що подана на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук за спеціальністю
05.13.05 - комп'ютерні системи та компоненти

Актуальність обраної теми

Безпроводові локальні мережі стандарту IEEE 802.11 (Wi-Fi) набули значного поширення для передавання головним чином мультимедійної інформації. Їх застосовують як корпоративні користувачі, так і індивідуальні користувачі. Розвитку безпроводових мереж сприяє те, що сучасні мобільні засоби зв'язку (телефони та планшети), а також портативні комп'ютери мають можливість з'єднання з мережею Інтернет із застосуванням радіоканалу Wi-Fi. Технологію мереж Wi-Fi постійно вдосконалюють, і вона забезпечує все більшу пропускну здатність.

У процесі експлуатації мереж стандарту IEEE 802.11 часто мають місце надмірні навантаження мережі або виникають проблеми із забезпеченням якості наданих телекомунікаційних та інформаційних послуг. Це відбувається, через велику кількість активних користувачів, з'єднаних з однією точкою доступу, а також через те, що багато користувачів користуються послугами, пов'язаними з передаванням потокової інформації. Проблеми у роботі мережі можуть виникати також через велику щільність розміщення безпроводових мереж і їх функціонування в однакових або суміжних частотних каналах, що призводить до значних електромагнітних завад. Правильна організація мереж Wi-Fi, з урахуванням особливостей їх функціонування у разі великої кількості активних абонентів та обмеженого частотного ресурсу сприяє максимально ефективному їх використанню та наданню якісних інфо-комунікаційних послуг.

Питанням прогнозування і моделювання процесів у безпроводових мережах присвятили свої дослідження фахівці таких провідних інфо-комунікаційних компаній, як Cisco, Aruba Networks, Realtek, Dell Technologies та інших організацій-членів Wi-Fi Альянсу, а також багато фахівців, які спеціалізуються у сфері безпроводових систем передавання даних, що характеризує актуальність зазначених досліджень.

Додатковим свідченням актуальності питань, порушених у дисертаційній роботі Інь Ченляна, є їх тісний зв'язок з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки в Україні, визначеними Законом України №2623-III «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (редакція від

16.01.2016). Тема дисертаційної роботи безпосередньо пов'язана з напрямками наукових досліджень, сформульованими у пункті 2 статті 3 – Інформаційні та комунікаційні технології.

Більшу частину досліджень, висвітлених у дисертаційній роботі, здійснено, згідно з планами науково-дослідної роботи кафедри звукотехніки та реєстрації інформації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» при виконанні міжнародної науково-дослідної роботи «Удосконалення процесу передавання аудіо-візуальної інформації засобами безпроводових мереж» №0117U001676, де автор брав участь як один із виконавців і є співавтором заключного звіту.

Результати дисертаційної роботи реалізовано та впроваджено:

– у навчальному процесі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» у вигляді частини лекційного курсу з дисципліни: «Технології безпроводових локальних мереж» для студентів спеціальності 171 Електроніка, що навчаються за освітньо-професійною програмою підготовки бакалаврів «Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей», що підтверджено відповідним актом.

Ступінь обґрунтованості наукових положень і достовірність результатів

Наукові положення, висновки за результатами досліджень і рекомендації щодо застосування отриманих результатів теоретично обґрунтовані та експериментально підтверджені. Результати дисертаційних досліджень отримано шляхом застосування методу узагальнення для з'ясування характеристик мультимедійного трафіка та використання математичного апарату теорії ймовірностей й комбінаторики, методу імітаційного моделювання для отримання кількісної оцінки впливу характеристик фізичного каналу на характеристики безпроводової мережі, натурного експерименту для перевірки відповідності розрахункових та реальних характеристик мережі.

Наукову новизну одержаних результатів можна охарактеризувати таким чином:

1. Запропоновано вперше метод оцінювання ефективності використання ресурсів безпроводових мереж IEEE 802.11 з конкурентним доступом із застосуванням коефіцієнта корисного навантаження, що дозволяє інтегрально оцінити можливості мережі щодо передавання потокової інформації і надає можливість оцінити ефективність нових технічних рішень, запропонованих для удосконалення стандарту 802.11.

2. Удосконалено математичну модель процесу передавання інформаційних потоків у безпроводовій мережі IEEE 802.11 з конкурентним доступом у режимі насиченого навантаження на підґрунті концепції віртуального конкурентного вікна, що, на відміну від математичної моделі,

побудованої на підґрунті концепції часового слоту, дозволяє розрахувати експлуатаційні характеристики мережі без обмеження кількості активних станцій і обсягів корисного навантаження в кадрах даних.

3. Набув подальшого розвитку метод оцінювання граничних значень експлуатаційних характеристик безпроводових мереж IEEE 802.11, що ґрунтується на застосуванні удосконаленої математичної моделі процесу передавання інформаційних потоків у безпроводовій мережі IEEE 802.11 з конкурентним доступом, для якого, на відміну від методів, що ґрунтуються на концепції часового слоту, відсутні обмеження щодо величини ймовірності колізій та кількості активних станцій мережі, що надає можливість проектувати безпроводові мережі із заданими значеннями якісних показників.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи

Результати, наведені у дисертаційній роботі, може бути використано для удосконалення процесу проектування мереж стандарту IEEE 802.11 та поліпшення режимів функціонування мережного обладнання.

Основними практичними результатами дисертаційної роботи є реалізація наукових здобутків у вигляді:

- методики прогнозування експлуатаційних параметрів безпроводової мережі 802.11, залежно від кількості абонентів і структури інформаційного трафіка, що дозволяє здійснювати проектування безпроводових мереж з урахуванням прогнозованої кількості абонентів, структури трафіка та очікуваних показників якості обслуговування, а також дає змогу здійснити модернізацію вже наявних безпроводових мереж без необґрунтованої надмірності апаратних засобів;

- теоретичного обґрунтування розрахункових співвідношень, що може бути використано в навчальному процесі підготовки кваліфікованих фахівців у сфері телекомунікацій та комп'ютерних мереж;

- уточнених оцінок інформаційних можливостей безпроводових мереж стандарту IEEE 802.11, що надає можливість удосконалити алгоритм адаптації мережі до умов функціонування, з урахуванням кількості станцій, типу трафіка та електромагнітної обстановки.

Структура та зміст дисертації

У цілому дисертація є завершеним науковим дослідженням та складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку, переліку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг роботи складає 166 сторінок друкованого тексту, із них 133 сторінки основного тексту, список використаних джерел нараховує 68 найменувань.

У **вступі** розкрито сутність та стан науково-технічної проблеми, обґрунтовано актуальність теми, визначено мету та завдання дослідження, наведено наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів, наведено інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію та впровадження наукових результатів роботи.

У **першому розділі** проаналізовано основні принципи функціонування

безпроводових мереж стандарту IEEE 802.11 та досліджено особливості наявних методик прогнозування експлуатаційних характеристик таких мереж, розглянуто особливості функціонування мереж, за умови їх значного поширення, узагальнено відомі результати випробувань пропускної здатності безпроводових мереж. Детально досліджено три методики оцінювання пропускної здатності безпроводового каналу. Зроблено висновок про те, що оскільки концепція віртуального конкурентного вікна дозволяє установити безпосередні функціональні зв'язки між системними параметрами та експлуатаційними характеристиками, удосконалену математичну модель для вирішення узагальненого завдання дисертаційної роботи можна розробити та обґрунтувати саме на підґрунті цієї концепції.

У другому розділі наведено детальне обґрунтування удосконаленої математичної моделі на підґрунті концепції віртуального конкурентного вікна. Розроблена математична модель містить співвідношення для визначення пропускної здатності мережі IEEE 802.11 в режимі конкурентного доступу, часу затримки передавання кадру, нерівномірності затримки. Сформовано співвідношення для визначення таких стохастичних характеристик процесу функціонування мережі з кількома активними станціями в насиченому режимі: ймовірності колізії, ймовірності успішного передавання кадру даних, ймовірності втрати пакету, кількості колізій за час реалізації конкурентного вікна.

Досліджено процес виникнення колізій і запропоновано розрахункові співвідношення для квазістаціонарного режиму. Розрахунок зроблено із застосуванням рекурентних співвідношень, що характеризують процес установлення квазістаціонарного режиму. Обґрунтовано, що через виникнення колізій, число станцій, які конкурують за доступ до радіоканалу, менше загального числа активних станцій в мережі.

Математичні співвідношення для визначення експлуатаційних характеристик безпроводових мереж отримано на підґрунті детального аналізу функціональних зв'язків між системними параметрами (кількість активних станцій, кількість повторних спроб передавання, мінімальне значення конкурентного вікна) та стохастичними параметрами мережі (ймовірність колізій, ймовірність успішного передавання, ймовірність втрати пакету, кількість вільних часових слотів тощо).

Сферу застосування вдосконаленої моделі розширено для безпроводових мереж, що зазнають впливу завад на процес передавання даних. У разі наявності завад, замість ймовірності колізій, рекомендовано використовувати умовну ймовірність, з урахуванням ймовірності спотворення кадрів завадами.

У третьому розділі запропоновано метод оцінювання експлуатаційних характеристик, що ґрунтується на застосуванні удосконаленої математичної моделі.

Досліджено граничні значення експлуатаційних характеристик безпроводових мереж специфікацій IEEE 802.11a/n. Наведено результати дослідження максимальної пропускної здатності безпроводової мережі, у разі застосування блоків корисного навантаження різної величини (від $PL = 64$ до

PL = 1500 байтів) та різних протоколів транспортного рівня – TCP та UDP.

Досліджено процес передавання потокової відео та аудіо інформації в мережах специфікації IEEE 802.11a/n.

Обґрунтовано, що пропускна здатність одного просторового каналу безпроводової мережі за специфікацією IEEE 802.11n набагато менше швидкості передавання даних в межах кадру фізичного рівня, що обумовлено колізіями, інтервалами очікування та непродуктивними витратами часу, пов'язаними з передаванням заголовків мережних протоколів різних рівнів та службовою інформацією безпроводової мережі.

Отримано оцінки максимально можливих значень експлуатаційних характеристик мереж IEEE 802.11a/n, залежно від кількості активних абонентів мережі та типу переданого трафіку.

У **четвертому розділі** наведено результати натурального експерименту для перевірки методики оцінювання експлуатаційних характеристик мережі і запропоновано метод оцінювання ефективності використання ресурсів безпроводової мережі із застосуванням коефіцієнта корисного навантаження.

Запропоновано поняття «коефіцієнта корисного навантаження» як відношення швидкості передавання корисної інформації до системної швидкості з'єднання.

Досліджено вплив завад від суміжних мереж, робочі частотні смуги яких частково перекриваються з частотною смугою досліджуваної мережі. Обґрунтовано, що наявність завад призводить до обмеження можливих схем модулювання та канального кодування сигналів MCS. Для мережі IEEE 802.11n отримано оцінку, що в разі, коли відношення сигнал-завада $E_b/N_0 < 14$ дБ, передавання сигналу в режимі з MCS 7 (системна швидкість 72 Мбіт/с) взагалі стає неможливим, але можлива надійна робота в режимі з MCS 3 (системна швидкість 33 Мбіт/с).

З'ясовано, що за наявності в мережі чотирьох і більше станцій, що функціонують у насиченому режимі, мережа IEEE 802.11n переходить на режим з пониженою швидкістю завадостійкого кодування і стає неможливо реалізувати найбільш швидкісні режими передавання даних

За результатами натурального експерименту зроблено обґрунтований висновок, що запропоновані в дисертації розрахункові співвідношення для визначення експлуатаційних характеристик безпроводових мереж 802.11 дозволяють отримати результати, які співпадають з результатами натурних випробувань, що дає змогу застосовувати ці співвідношення для планування безпроводових мереж та удосконалення режимів вже розгорнутих мереж.

Повнота викладу основних матеріалів дисертації в опублікованих працях

Роботу апробовано та обговорено на шести міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях. Усі наукові положення та результати роботи в цілому повністю викладено у 13 наукових працях, серед яких 5 статей опубліковані у наукових журналах, які внесено до Переліку фахових видань України, і які занесено до міжнародних наукометричних баз; 3 статті – у науково-технічних виданнях України з міжнародною сферою

розповсюдження, 5 доповідей та тез доповідей – у збірках матеріалів конференцій (одну доповідь індексовано у наукометричній базі Scopus).

Автореферат дисертації і публікації автора за темою дисертації у цілому відображають її зміст.

Зауваження по роботі:

1. На рис. 1.17 наведено результати вимірювання рівнів сигналів у частотному діапазоні 2,4 ГГц, проте не наведено оцінки взаємного впливу сигналів різних мереж.
2. В першому розділі опис методики оцінювання експлуатаційних характеристик безпроводових мереж стандарту IEEE 802.11 із застосуванням концепції часового слоту наведено з надмірною деталізацією.
3. На с.42 тезу «У технології передбачено мультиплексування з ортогональним частотним розподілом каналів (OFDM) та підтримується робота в частотних діапазонах частотою: 20, 40, 80, 80 + 80 і 160 МГц» коректніше було б сформулювати у такий спосіб: «У технології передбачено мультиплексування з ортогональним частотним розподілом каналів (OFDM) із застосуванням частотних смуг 20, 40, 80, 80 + 80 і 160 МГц».
4. В тексті інколи присутні незначні помилки редакційного характеру, наприклад, на с.87 написано «...будемо шукати ймовірність успішної передавання p_s », а треба було б «...будемо шукати ймовірність успішного передавання p_s ».
5. На с.95-96 нерівномірність часу затримки (джитер) та тривалість часового слоту позначено однаковим символом σ і відмінність полягає лише у застосуванні верхнього символу τ для джитеру. Доцільно було б застосувати для джитеру інше позначення.
6. В третьому розділі дисертації наведено результати детального дослідження експлуатаційних характеристик мереж стандарту IEEE 802.11a/n. Для мереж IEEE 802.11ac зроблено тільки узагальнену оцінку. Доцільно було б дослідити характеристики і цих мереж.
7. В роботі зроблено оцінювання експлуатаційних характеристик мереж стандарту IEEE 802.11 шляхом дослідження самої процедури передавання і не враховано апаратні затримки часу комп'ютера або інших технічних засобів, що є вузлами локальної мережі.

У той же час слід зазначити, що наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку та цінність дисертаційної роботи, оскільки робота має завершеність, положення, висновки і рекомендації науково обґрунтовано.

Відповідність дисертації встановленим вимогам.

Дисертаційну роботу написано загальноприйнятою науковою мовою, із використанням сучасної наукової термінології. Дослідження здійснено на високому науковому рівні, а робота є завершеною науковою працею, яка має

важливе практичне значення та вирішує актуальне наукове завдання удосконалення процесу передавання аудіовізуального контенту засобами безпроводових мереж IEEE 802.11 з конкурентним доступом з урахуванням вимог до якості наданих інформаційних послуг шляхом розроблення методу прогнозування експлуатаційних характеристик та оцінювання якісних показників на підґрунті нової математичної моделі процесу передавання потоків даних.

Дисертації за змістом та рівнем досліджень відповідає вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, вимогам Міністерства освіти і науки України про дисертації і автореферати.

Висновки

За актуальністю теми, мірою обґрунтованості наукових положень, достовірністю, новизною, теоретичною та практичною цінністю одержаних результатів дисертаційна робота Інн Ченляна на тему: «Дослідження та розроблення методики оцінювання ефективності передавання аудіовізуальної інформації засобами безпроводових мереж стандарту IEEE 802.11» відповідає вимогам до дисертацій та авторефератів дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, зокрема, вимогам п.13 та п.14 положення про «Порядок присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» та паспорту спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти, а Інн Ченлян заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук.

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри робототехніки та
спеціалізованих комп'ютерних
систем Черкаського державного
технологічного університету



Марина ЧИЧУЖКО

Підпис Чичужко М. В. засвідчую
Учений секретар Черкаського
державного технологічного
університету



І. В. Миронець