

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Інн Ченляна на тему:
«Дослідження та розроблення методики оцінювання ефективності
передавання аудіовізуальної інформації засобами безпроводових мереж
стандарту IEEE 802.11», представлену на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук зі спеціальності
05.13.05 - Комп'ютерні системи та компоненти

Актуальність теми дисертації, її зв'язок з державними науковими програмами.

Натепер безпроводові локальні мережі стандарту IEEE 802.11 (Wi-Fi) широко застосовують для передавання інформаційних потоків як приватні, так і корпоративні користувачі. Значного поширення набули безпроводові мережі доступу до інформаційних ресурсів в місцях великого скупчення людей. Такі мережі отримали назву «hot spot». 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.

Велика кількість користувачів і передавання великих обсягів потокової інформації призводять до порушення нормального функціонування мереж стандарту IEEE 802.11 або погіршення якісних показників таких мереж. Через те, що мережі Wi-Fi функціонують у неліцензованих частотних смугах, виникають проблеми в роботі мереж, внаслідок великої щільності їх розміщення і функціонування в однакових або суміжних частотних каналах, що призводить до значних електромагнітних завад.

Подальше збільшення навантаження мереж IEEE 802.11 внаслідок стрімкого збільшення потокової інформації (аудіовізуальний контент, передавання великих файлів даних) призводить до ускладнень щодо забезпечення якості інформаційних послуг. Правильна організація мереж Wi-Fi із 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. Тому питання, пов'язані з аналізом функціонування і прогнозуванням параметрів безпроводових мереж Wi-Fi, є на сьогоднішній день актуальними.

Свідченням актуальності вирішення зазначених питань є той факт, що провідні виробники обладнання безпроводових мереж такі, як Cisco, Aruba Networks, Realtek, Dell Technologies та інші члени Wi-Fi Альянсу докладають великих зусиль та витрачають значні ресурси для поліпшення якості функціонування мереж Wi-Fi.

Дисертаційна робота Інн Ченляна належить до сфери пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки в Україні, визначених Законом України №2623-III «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (редакція від 16.01.2016). Тема дисертації відповідає напряму: «Інформаційні та

комунікаційні технології» (пункт 2 статті 3 Закону). Більшу частину досліджень, висвітлених у дисертаційній роботі, здійснено згідно з планами науково-дослідної роботи кафедри звукотехніки та реєстрації інформації і Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» під час виконання міжнародної науково-дослідної роботи «Удосконалення процесу передавання аудіо-візуальної інформації засобами безпроводових мереж» (номер державної реєстрації №0117U001676), де автор брав участь як один із виконавців і є співавтором заключного звіту.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Наукові результати дисертації є обґрунтованими коректністю методів, які використані в процесі вирішення поставленої задачі, коректністю зроблених припущень. Достовірність наукових висновків за результатами дисертаційного дослідження підтверджується збігом теоретичних результатів, отриманих із застосуванням запропонованої удосконаленої моделі процесу передавання інформаційних потоків у безпроводовій мережі IEEE 802.11, з результатами експериментальних досліджень.

Оцінка змісту дисертації:

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 68 найменувань, двох додатків. Загальний обсяг роботи становить 166 сторінок, у тому числі 133 сторінки основного тексту, 55 рисунків і 14 таблиць.

У вступі обґрунтовано актуальність та доцільність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, викладено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено дані про зв'язок роботи з науковими програмами, про апробацію 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 умов їх значного поширення, узагальнено відомі результати випробувань пропускної здатності безпроводових мереж.

Показано, що реальна пропускна здатність безпроводового каналу мережі IEEE 802.11 значно менше задекларованої системної швидкості.

Наведено результати дослідження причин деградації експлуатаційних параметрів Wi-Fi мереж внаслідок збільшення кількості пристроїв, з'єднаних з однією точкою доступу, та великої щільності безпроводових мереж у житлових, офісних та інших багатоповерхових спорудах. Показано, що за умов значного збільшення кількості пристроїв, що під'єднані до безпроводових мереж, перехід з частотного діапазону 2,4 ГГц у діапазон 5ГГц не може забезпечити поліпшення якості функціонування безпроводових мереж і надання інфо-комунікаційних послуг.

Проаналізовано найбільш поширені підходи до визначення експлуатаційних характеристик безпроводових мереж і обґрунтовано напрями

подальших досліджень, з метою удосконалити методику оцінювання експлуатаційних характеристик для поліпшення ефективності передавання аудіовізуальної інформації засобами мереж IEEE 802.11.

У висновках до першого розділу сформульовано завдання для подальших досліджень дисертаційної роботи.

У другому розділі наведено удосконалену математичну модель процесу передавання потоків даних безпроводовою мережею стандарту IEEE 802.11 в режимі конкурентного доступу до каналу.

Обґрунтовано математичні співвідношення, що складають удосконалену математичну модель. Зокрема наведено уточнені співвідношення для визначення пропускної здатності безпроводового каналу, затримок передавання кадрів даних, нерівномірності затримок, ймовірності колізій, у разі наявності в мережі кількох активних станцій, а також співвідношення для визначення інших параметрів, які разом утворюють математичну модель процесу передавання.

Обґрунтовано підхід для визначення ймовірності колізій в насиченій мережі з урахуванням повторного передавання кадрів, що потрапили в колізію. Показано, що кількість активних станцій насиченої мережі, які безпосередньо беруть участь в конкуренції за доступ до каналу передавання, менше, ніж загальна кількість активних станцій у мережі. Відносне зменшення кількості конкуруючих станцій зростає із збільшенням кількості активних станцій в мережі.

Проаналізовано ефективність застосованого в безпроводових мережах стандарту IEEE 802.11 механізму подолання колізій і обґрунтовано, що найбільш ефективним цей механізм є на ранніх стадіях повторного доступу до радіоканалу.

Сферу застосування удосконаленої 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 наведено метод оцінювання граничних значень експлуатаційних характеристик безпроводових мереж IEEE 802.11 з конкурентним доступом.

Наведено результати дослідження експлуатаційних характеристик безпроводового каналу поширених мереж специфікацій IEEE 802.11a та IEEE 802.11n в режимі безпосереднього конкурентного доступу та в режимі з попереднім повідомленням про передавання. Дослідження здійснено з урахуванням особливостей функціонування протоколів транспортного рівня TCP та UDP.

Показано, що пропускна здатність безпроводового каналу за сприятливих умов (без урахування завад та перешкод) залежить від обсягів корисного навантаження в кожному кадрі даних та типу транспортного протоколу. У разі використання транспортного протоколу UDP, прогнозована пропускна здатність каналу за наявності тільки однієї станції з насиченим навантаженням буде на 70% більше, ніж у разі використання протоколу TCP для малих кадрів

(корисне навантаження 64 байти) і на 20% – для великих (корисне навантаження 1500 байт). У разі передавання кадрів з великим корисним навантаженням (1500 байтів і більше) нерівномірність затримки передавання швидко зростає із збільшенням кількості станцій і змінюється від 2,2 мс (дві активні станції) до 60,4 мс (14 активних станцій), що може обмежити можливість передавати потокову інформацію в мережах з кількома активними станціями.

Обґрунтовано, що використання одного просторового каналу безпроводової мережі IEEE 802.11n у змішаному режимі може забезпечити одночасно до 14 голосових з'єднань з високою якістю надання послуги, оскільки значення якісних показників мережі задовольняють вимоги щодо передавання звукового трафіка, або може забезпечити одночасне передавання до трьох відеопотоків інтенсивністю 4-5 Мб/с.

У четвертому розділі проаналізовано характеристики аудіовізуальних інформаційних потоків, які передають засобами безпроводових мереж, зроблено порівняння експлуатаційних характеристик безпроводових мереж IEEE 802.11 та параметрів аудіовізуальних потоків, здійснено визначення експлуатаційних параметрів шляхом натурних випробувань безпроводових мереж в насиченому режимі з різною кількістю активних станцій.

Наведено результати натурального експерименту щодо передавання аудіовізуальної інформації кількома станціями безпроводової мережі. Експерименти зроблено для мережі з двома, чотирма і шістьма активними станціями. Для передавання використано файли великого обсягу з розширеннями mp4 та zip для перевірки впливу транспортного протоколу UDP та TCP, відповідно.

Для оцінювання ефективності використання технологічних можливостей безпроводової мережі запропоновано метод оцінювання із застосуванням коефіцієнта корисного навантаження. Уведено поняття коефіцієнта корисного навантаження мережі, як відношення прогнозованої або виміряної швидкості передавання корисної інформації до максимальної швидкості передавання кодованих даних (системної швидкості).

Наведено результати оцінювання впливу суміжних безпроводових мереж стандарту IEEE 802.11 на експлуатаційні характеристики досліджуваної мережі.

Перевірка ефективності передавання та відтворення аудіовізуальних потоків підтвердила розрахункові експлуатаційні показники для мереж специфікацій IEEE 802.11a/n, отримані із застосуванням запропонованого в дисертації методу оцінювання.

Показано, що максимальна пропускна здатність інформаційного каналу безпроводової мережі IEEE802.11n в режимі функціонування зі швидкістю з'єднання 150 Мбіт/с не перевищує 57 Мбіт/с. Максимальне значення коефіцієнта корисного навантаження $k_{\text{кн}}$ для мережі з одним просторовим каналом становить $0,3 \div 0,37$.

За наявності кількох активних станцій у безпроводовій мережі, пропускна здатність залежить від взаємного розташування абонентських станцій та точки доступу. У разі насиченого навантаження активних станцій, найменша сумарна

пропускна здатність буде тоді, коли станції розташовані приблизно в одному напрямку відносно точки доступу (мале кутове рознесення).

Наукова новизна роботи

1. 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.

2. 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.

3. Вперше запропоновано 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.

Особистий внесок

Основні наукові положення та результати, що викладені в дисертаційній роботі, отримані здобувачем особисто.

У друкованих працях, які опубліковано у співавторстві, здобувачеві належить: обґрунтування розрахункових співвідношень для дослідження ймовірності виникнення колізій в каналі передавання; уточнення розрахункових співвідношень та розрахунки пропускної здатності безпроводового каналу; дослідження характеристик аудіовізуального потоку та аналіз ефективності використання безпроводового каналу; розроблення програми натурного експерименту, участь в експерименті та обробленні результатів; моделювання процесів у безпроводовій мережі та обґрунтування результатів, формування структури та змісту доповідей на наукові конференції; узагальнення результатів дисертаційних досліджень, інтерпретація отриманих результатів.

Шляхи використання результатів дисертації

Методика прогнозування експлуатаційних параметрів безпроводової мережі 802.11, залежно від кількості абонентів і структури інформаційного трафіка, дозволяє здійснювати проектування безпроводових мереж з урахуванням прогнозованої кількості абонентів, структури трафіка та очікуваних показників якості обслуговування. Цю методику можна застосовувати для модернізації вже наявних безпроводових мереж, щоб

запобігти необґрунтованій надмірності апаратних засобів.

Теоретичні обґрунтування розрахункових співвідношень і самі розрахункові співвідношення можуть бути використані у навчальному процесі підготовки кваліфікованих фахівців у сфері телекомунікацій та комп'ютерних мереж.

Отримані в дисертації уточнені оцінки інформаційних можливостей безпроводових мереж стандарту IEEE 802.11 можна використати для удосконалення алгоритму адаптації мережі до умов функціонування з урахуванням кількості станцій, типу трафіка та електромагнітної обстановки.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес на кафедрі звукотехніки та реєстрації інформації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» в навчальний курс: «Технології безпроводових локальних мереж».

Повнота викладу основних положень дисертації в наукових працях

Основні положення та результати дисертаційної роботи оприлюднено в 13 наукових працях, а саме: 5 статей у наукових фахових виданнях України, 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 повністю відображає основні положення дисертації.

Зауваження за змістом дисертації

1. На с.45-47 наведено результати сторонніх досліджень експлуатаційних характеристик безпроводового каналу мережі IEEE 802.11, в яких відсутні характеристики самого каналу і автору дисертації довелося висловлювати припущення стосовно цих характеристик.

2. Додатково до наведених на с.51 даних, доцільно було б зробити вимірювання електромагнітної обстановки у частотних діапазонах функціонування мереж стандарту IEEE 802.11 для різних міських об'єктів (житлових будинків, офісних споруд, місць відпочинку) для більш наглядного обґрунтування тези щодо взаємного впливу таких мереж.

3. Надмірна деталізація при аналізі методу оцінювання експлуатаційних характеристик безпроводового каналу мережі IEEE 802.11, що ґрунтується на концепції часового слоту.

4. Певним недоліком можна вважати обмеженість досліджень експлуатаційних характеристик для безпроводового каналу мереж, що функціонують за специфікаціями IEEE 802.11a та IEEE 802.11n, і відсутність таких досліджень для мереж специфікації IEEE 802.11ac.

5. У четвертому розділі дисертації наведено результати натурального експерименту і результати подано у вигляді вже опрацьованих даних, було б корисно навести у додатках усі дані, отримані під час проведених експериментів.

6. Наявні поодинокі неточності в оформленні тексту, що в цілому не зменшують якість наданої роботи.

Висновок. Дисертаційна робота Інн Ченляна на тему: «Дослідження та розроблення методики оцінювання ефективності передавання аудіовізуальної інформації засобами безпроводових мереж стандарту IEEE 802.11» є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують 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.

Дисертація відповідає вимогам, які висуваються до кандидатських дисертацій, зокрема, пп. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор, Інн Ченлян, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ

Заслужений метролог України
завідувач кафедри комп'ютеризованих
електротехнічних систем та технологій
Національного авіаційного університету
доктор технічних наук, професор

КВАСНИКОВ В.П.



В.П. Квашикова

з а с в і д ч у ю
Вчений секретар
Національного авіаційного університету

Г. Євчува