

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Омельянець Олександри Олександрівни

на тему "Вплив технологічних параметрів на експлуатаційні характеристики
електронної безпроводової системи передавання даних"

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації

за спеціальністю 171 Електроніка.

Актуальність теми дисертації.

Технології безпроводових локальних мереж стандарту IEEE 802.11 (Wi-Fi) набули значного поширення як засіб створення локальних мереж швидкісного обміну даними і засіб доступу до ресурсів Інтернет. З часу створення у 1997 році технології фізичного і канального рівнів мереж IEEE 802.11 зазнали суттєвих змін і удосконалення, спрямованих на збільшення пропускної здатності мережі і поліпшення якісних показників.

Оскільки основним принципом функціонування мереж IEEE 802.11 є принцип конкурентного доступу, за якого всі користувачі безпроводової мережі мають однакові права доступу до середовища передавання інформації, то такий спосіб доступу призводить до виникнення колізій в мережах з великою кількістю користувачів, що ускладнює процес функціонування мережі і призводить до деградації якісних показників.

Стандарт IEEE 802.11 призначено для організації безпроводових мереж на фізичному і канальному рівнях моделі OSI. Питанням щодо функціонування мереж IEEE 802.11 на канальному рівні присвячено багато досліджень, а питання функціонування мережі на фізичному рівні поки досліджені недостатньо глибоко. Однак процеси, що протікають на фізичному рівні, суттєво впливають на характеристики мережі Wi-Fi і їх врахування може забезпечити покращення експлуатаційних показників в цілому, що й визначає актуальність проведених досліджень.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Отримав подальший розвиток метод дослідження експлуатаційних характеристик безпроводових мереж на підґрунті концепції віртуального конкурентного вікна для визначення показників якості передавання мультимедійного трафіка в змішаних мережах з пріоритизацією.

2. Удосконалено метод оцінювання впливу технологічних параметрів на граничні експлуатаційні характеристики електронної безпроводової системи передавання даних за стандартом IEEE 802.11ac в режимі конкурентного доступу.

3. Вперше обґрунтовано оцінки ефективності технологічних рішень, застосованих для підвищення пропускної здатності безпроводової електронної системи передавання даних за стандартом IEEE 802.11ac за умов обмеженого енергетичного ресурсу.

4. Отримала подальший розвиток теорія функціонування безпроводової мережі передавання даних з конкурентним доступом в режимі пріоритезації трафіку.

В роботі використано метод аналізу, що ґрунтується на концепції віртуального конкурентного вікна, який дозволяє врахувати всі технологічні параметри для моделювання процесів в електронних системах передавання даних.

Результати дисертаційного дослідження обґрунтовано шляхом застосування здобувачем даних, отриманих із наукових літературних джерел, а також шляхом моделювання та аналізу отриманих експериментальних даних при дослідженні реальних каналів зв'язку Wi-Fi.

Достовірність обраних методів вирішення сформульованих у дисертаційній роботі задач забезпечено шляхом зіставлення теоретичних результатів із результатами експериментальних досліджень, а також шляхом коректного застосування математичного апарату та методів комп'ютерного моделювання.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі акустичних та мультимедійних електронних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського у рамках НДР "Особливості формування електромагнітної обстановки у приміщеннях, обладнаних технічними засобами з безпроводовим інтерфейсом" (№ держреєстрації 0119U102796) під керівництвом доцента кафедри, доц., к.т.н. Лазебного Володимира Семеновича.

Отже, поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання аналізу впливу технологічних параметрів на експлуатаційні характеристики електронної безпроводової системи передавання даних виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Омелянець О.О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 171 Електроніка та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми третього рівня вищої освіти "Електроніка".

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям "Електромагнітна сумісність та енергозабезпечення мультимедійної апаратури".

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Омелянець Олександри Олександрівни є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською.

Робота написана загальноприйнятною науковою мовою із використанням сучасної наукової термінології. Зміст дисертації є виваженим та цілісним в достатній мірі, робота відповідає темі досліджень.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, переліку джерел посилання та додатків. Загальний обсяг дисертації 162 сторінки.

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі дослідження, наведено методи дослідження, наведено інформацію про наукову новизну, а також практичне значення отриманих результатів.

Перший розділ присвячено огляду публікацій, в яких проводилися дослідження особливостей організації доступу до середовища передавання в мережах стандарту IEEE 802.11ac, розподілу часу в режимі конкурентного доступу в таких мережах, структури кадру та особливостям технічної реалізації безпроводової електронної системи передавання даних.

У другому розділі проведено дослідження залежності продуктивності безпроводової мережі IEEE 802.11ac у режимі найвищої швидкості передавання у каналі з шириною смуги 20 МГц, а також у мережах з розширеним частотним спектром, з одним просторовим потоком за умови, що мережа має значну кількість активних станцій з насиченим навантаженням. При дослідженні використана методика яка ґрунтується на концепції віртуального конкурентного вікна.

Визначено, що зі збільшенням кількості активних станцій у безпроводовій мережі сумарна пропускна здатність зростає в інтервалі від однієї до чотирьох станцій внаслідок зменшення усередненої величини конкурентного вікна, а потім зменшується через виникнення колізій, тим швидше, чим більше станцій одночасно працює у мережі.

З'ясовано що під час оцінювання пропускної здатності безпроводової мережі необхідно враховувати структуру потоку (розміри блоків даних) і структуру

з'єднання. Якщо дані передаються між станцією та точкою доступу, то забезпечується максимальна швидкість передавання даних, а якщо дані передаються між двома станціями однієї мережі, то максимально можлива швидкість передавання зменшується вдвічі, оскільки існує два з'єднання, і два процеси передавання відбуваються із застосуванням одного каналу зв'язку: від станції відправника до точки доступу і від точки доступу до станції одержувача.

Збільшення ширини частотної смуги безпроводового каналу в режимі з одним потоком не призводить до суттєвого збільшення пропускної здатності каналу за відсутності агрегування пакетизованого потоку даних. У швидкісних режимах перехід від частотної смуги 20 МГц до 80 МГц в разі застосування системи модуляції та кодування MCS7 призводить до збільшення пропускної здатності на 50%, в разі застосування MCS8 – на 37,5%, а в разі застосування MCS9, при переході від смуги 40 МГц до 80 МГц – на 14,1%.

В разі застосування агрегування пакетів мережного рівня в кадрах IEEE802.11ac можливе збільшення пропускної здатності каналу за відсутності конкуренції до максимальної величини.

В разі застосування агрегованих кадрів для передавання насиченого трафіку (наприклад, при завантаженні великих файлів) пропускна здатність каналу значно зростає. При агрегуванні вхідних файлів PSDU до максимального рівня передбаченого в специфікації IEEE802.11ac (11454 байти) пропускна здатність каналу зростає до 68,5 Мбіт/с ($k=78,97\%$) в каналі з шириною смуги 20 МГц, до 126,4 Мбіт/с ($k=62,2\%$) в каналі з шириною смуги 40 МГц і до 195 ($k=45\%$) Мбіт/с в каналі з шириною смуги 80 МГц, що значно підвищує ефективність використання частотного ресурсу мережі. Однак, при застосуванні агрегованих кадрів PPDU максимальної величини можна досягти максимальної пропускної здатності каналу, але це може призвести до значних затримок і нерівномірності затримок в разі наявності в мережі кількох станцій,

У третьому розділі проведено аналіз впливу параметрів модуляції й кодування, потужності передавача точки доступу на радіус зони обслуговування мережі стандарту IEEE 802.11ac. Проведено дослідження взаємного впливу одночасно працюючих мереж IEEE 802.11 на стабільність їх характеристик.

З'ясовано, що високошвидкісні режими передавання даних у безпроводовій мережі IEEE 802.11ac, з причини обмеження максимального значення випромінюваної потужності (ЕІВП) на рівні 100 мВт, можна реалізувати в радіусі 10...15 м від точки доступу.

Радіус зони обслуговування залежить від застосованого в мережі режиму модуляції й кодування, від ширини частотної смуги радіоканалу і зменшується у $\sqrt{2}$, у разі збільшення частотної смуги в два рази.

Встановлено, що в діапазоні частот 5 ГГц у суміжних частотних каналах можуть виникати помітні взаємні завади під час передавання преамбули повідомлень попередніх стандарту IEEE 802.11ac версій, що знижує ефективність використання каналного ресурсу та може призвести до формування оцінки зайнятості каналу і переходу пристроїв мережі в режим очікування. А при роботі декількох мереж IEEE 802.11ac на невеликій відстані одна від одної, знижується максимальна пропускна здатність мережі. Це означає що для найбільш ефективного використання можливостей безпроводових мереж специфікації IEEE 802.11ac, під час їх планування треба враховувати чинники фізичного рівня, що впливають на електромагнітну сумісність мереж.

Для забезпечення високих якісних показників функціонування мережі на у приміщеннях з великою площею в діапазоні частот 5 ГГц доцільно використовувати стільниковий принцип організації мережі із забезпеченням надійного роумінгу між стільниками. Частотні смуги для суміжних стільників локальних мереж треба вибирати так, щоб їхні частотні смуги не були дотичними.

У четвертому розділі проведено дослідження особливостей передавання голосового трафіка для організації послуги IP-телефонії в офісних приміщеннях засобами мережі IEEE 802.11ac і з'ясовано, що в разі застосування пріоритизації мережного трафіка можна забезпечити якісне надання зазначеної послуги для великої кількості користувачів, навіть за умови інтенсивного передавання змішаного трафіка.

Результати отримано, з урахуванням характеристик кодека G.711, що формує великий блок цифрових даних на виході. Водночас отримані результати можна розповсюдити на інші мережі, в яких застосовані інші голосові кодеки з такими ж або меншими блоками цифрових даних на виході.

Отримані результати можна розповсюдити і на безпроводові мережі, в яких голосові дані передають шляхом агрегування кількох голосових кадрів. Встановлено, що чим менше величина агрегованих кадрів, тим більше голосових з'єднань може підтримати мережа зі змішаним трафіком. Рекомендовано в разі планування змішаної мережі з підтримкою голосових з'єднань доцільно не використовувати агрегування кадрів з низьким пріоритетом або використовувати адаптивне керування мережею, за якого в разі наявності голосових з'єднань застосовується заборона на агрегування кадрів.

Встановлено, що в мережах із змішаним трафіком і його пріоритизацією завдяки скороченому конкурентному вікну кадри голосового трафіку можуть бути гарантовано передані, навіть за умови великої кількості активних станцій з таким трафіком.

У п'ятому розділі проведені експериментальні дослідження функціонування мереж Wi-Fi. Отримані числові значення пропускної здатності каналів з шириною

смуги пропускання 20, 40 і 80 МГц, Отримані результати підтверджують результати теоретичного дослідження експлуатаційних характеристик мереж передавання даних стандарту IEEE802.11ac.

Встановлено, що для отримання максимальних значень пропускну здатності безпроводового каналу необхідно розташовувати точку доступу на такій відстані від абонента, за якої потужність сигналу на вході абонентської станції перевищує мінімально необхідний рівень сигналів. При цьому треба враховувати багатопротиневе розповсюдження сигналів, що може суттєво вплинути на рівень вхідного сигналу абонентської станції який може відрізнитись для різних абонентів на однаковій відстані від ТД на 15 дБ.

Встановлено, що в мережах IEEE802.11ac зі змішаним навантаженням можлива організація не менше чотирьох одночасно активних голосових з'єднань без втрати якості відтвореного голосового сигналу і якісних показників функціонування безпроводового каналу.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 "Про затвердження вимог до оформлення дисертації".

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 8 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 4 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України.

Також результати дисертації були апробовані на 4 наукових фахових конференціях.

Публікації Омелянець О.О. відповідають вимогам, які висуваються до фахових і міжнародних наукових праць у сфері телекомунікацій та бездротових технологій. У роботах розглянуто основні аспекти функціонування мереж стандарту IEEE 802.11ac, зокрема проведено теоретичний аналіз та експериментальні дослідження пропускну здатності, змодельовано зони покриття, проаналізовано передавання голосового трафіку в умовах змішаного навантаження, а також вивчено вплив ширини каналу та типу модуляції на якість зв'язку та експлуатаційні характеристики систем у реальних умовах.

Усі матеріали підготовлено з дотриманням принципів академічної доброчесності: публікації мають чітку структуру, містять посилання на джерела інформації та мають DOI-ідентифікатори. Роботи виконано у співавторстві, проте роль здобувача в кожній з них чітко окреслена — від постановки задач і проведення досліджень до аналізу результатів і підготовки публікацій.

У частині публікацій О.О. Омелянець виступає першим автором, що свідчить про її провідну роль у виконанні досліджень.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Загалом дисертаційна робота Омелянець Олександри Олександрівни за своїм змістом відповідає зазначеній спеціальності 171 Електроніка, однак не є вільною від певних недоліків, тому можна зробити такі зауваження:

1. У використанні в роботі термінології зустрічаються терміни "розмір зони обслуговування", що скоріш відповідає радіусу впевненого прийому радіосигналів

2. Такі висновки "через обмежену електромагнітну сумісність цих мереж не можна досягти максимальних значень експлуатаційних показників" настільки не конкретні, що не можна зрозуміти що мається на увазі під експлуатаційними показниками.

3. Вираз "з'ясовано числові значення" замість отримано в експериментальній частині роботи не дуже коректний.

4. Висновок "необхідно розташовувати точку доступу на достатній відстані" теж сформульовано не конкретно. Мабуть краще одразу вказати критерій достатньої відстані, а не пояснювати потім що це таке.

5. Вираз "при роботі на значних територіях внутрішніх приміщень" зовсім не конкретний. Якщо мова йде про площу, то треба хоч термін площа вживати. Не кажучи вже про площу. Скоріш мова йде про радіус дії зв'язку на великій відстані у будівлях великої площі з великою кількістю стін між точкою доступу та абонентами.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Омелянець Олександри Олександрівни на тему "Вплив технологічних параметрів на експлуатаційні характеристики електронної безпроводової системи передавання даних" виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для значення для галузі 17 Електроніка та телекомунікації. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 "Порядку присудження ступеня доктора

філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії", затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Омелянець Олександра Олександрівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 171 Електроніка.

Рецензент:

доцент кафедри акустичних та
мультимедійних електронних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського, к.т.н., с.н.с. /



Володимир МАКАРЕНКО



" 16 " червня 2025 року

