

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСАНКЦІОНОВАНОГО ДОСТУПУ ДО БЕЗПРОВІДНИХ МЕРЕЖ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Підвищено ефективність методів випадкового доступу в стільникових мережах при спільному існуванні з бездротовими локальними мережами в загальному каналі неліцензованого частотного діапазону. Проведено порівняльний аналіз методів доступу до неліцензованого каналу в стільникових мережах за допомогою аналітичного моделювання. Розроблено метод дозволу колізій для БССМ, що дозволяє виявляти та дозволяти колізії передач СБЛМ і БССМ, знизивши тим самим негативний вплив колізій на ефективність роботи бездротових локальних та стільникових мереж.

Ключові слова: LTE, Wi-Fi, неліцензований канал, резервуючий сигнал, пропускна здатність.

Abstract

The effectiveness of random access methods in cellular networks when co-existing with wireless local networks in the common channel of the unlicensed frequency range has been increased. A comparative analysis of access methods to an unlicensed channel in cellular networks was carried out using analytical modeling. A collision resolution method for BSSM has been developed, which allows detecting and allowing collisions between SBLM and BSSM transmissions, thus reducing the negative impact of collisions on the efficiency of wireless local and cellular networks.

Keywords: LTE, Wi-Fi, unlicensed channel, backup signal, bandwidth.

Вступ

Вимоги користувачів до пропускної спроможності стільникових мереж зростають з кожним роком. Сучасні стільникові мережі використовують ліцензовані смуги частот в яких передача дозволена тільки пристроям одного стільникового оператора-власника ліцензії. Незважаючи на ряд переваг такого підходу, у нього є як мінімум один істотний недолік, що перешкоджає подальшому зростанню пропускної спроможності, — обмежена ширина і дороговизна ліцензованих діапазонів частот. У зв'язку з цим одним з найбільш перспективних способів збільшення пропускної спроможності стільникових мереж є використання неліцензованих частот передачі даних.

Для вирішення проблеми дефіциту частотних ресурсів консорціум 3GPP, що займається розробкою специфікацій стільникових мереж LTE, розробив ряд технологій (LTE LAA, LTE-eLAA, NR-U), що дозволяють базовій станції стільникової мережі (БССМ) передавати дані користувачам пристроями в неліцензованому діапазоні 5 ГГц. Одна з головних складнощів роботи в цьому діапазоні полягає в тому, що він уже використовується іншими технологіями зв'язку, зокрема бездротовими локальними мережами, побудованими за технологією Wi-Fi.

Метою роботи є підвищення ефективності методів випадкового доступу в стільникових мережах при спільному існуванні з бездротовими локальними мережами в загальному каналі неліцензованого частотного діапазону.

Результати дослідження

Останнім часом спостерігається значне зростання обсягу інформації, що передається в стільникових мережах [1]. Це призводить до того, що з кожним роком забезпечити зростаючі вимоги користувачів до пропускної спроможності використовуваних стільникових мереж стає дедалі важче.

В останні роки для вирішення проблеми дефіциту частотних ресурсів у стільникових мережах планується використовувати не тільки ліцензовані, але й неліцензовані смуги частот, в діапазоні 5 ГГц. У цьому діапазоні, залежно від країни, доступні для використання смуги частот сумарною шириною понад 400 МГц.

Однак існують і значні труднощі при використанні діапазону 5 ГГц у мережах. По-перше, даний діапазон вже активно використовується бездротовими локальними мережами, побудованими на ос-

нові технології Wi-Fi, а також різними радарми. Іншими словами, на відміну від ліцензованого діапазону частот у оператора стільникового зв'язку немає можливості контролювати всі передачі в смузі. Через це метод доступу до неліцензованого смуги повинен враховувати наявність у каналі пристроїв, що працюють за іншою технологією.

Першим завданням роботи є порівняльний аналіз ефективності різних реалізацій методу випадкового доступу LBT до загального каналу в стільникових мережах при спільному існуванні з бездротовими локальними мережами.

Другим завданням роботи є збільшення ефективності методу доступу до середовища LBT для базових станцій мережі за рахунок додавання можливості виявлення та дозволу колізій.

Запропонована аналітична модель, що описує роботу системи з кількох БССМ і СБЛМ у загальному неліцензованому каналі. Вона дозволяє оцінити пропускну спроможність обох мереж. Дана модель розроблена для випадку, коли всі БССМ після закінчення процедури відстрочки передають резервуючий сигнал аж до наступної границі слотів в ліцензованому каналі і дозволяє врахувати відмінності методів доступу до загального каналу, які приводять, в тому числі, до асиметричних колізій БССМ і СБЛМ.

Модель дозволяє оцінити справедливість розподілу каналних ресурсів між пристроями різних технологій. Використання резервуючого сигналу і значень параметрів, зазначених за умовчанням у відповідній специфікації/стандарті, призводить до несправедливого розподілу ресурсів з точки зору СБЛМ, причому пропускну здатність бездротової локальної мережі в сценарії спільного існування знижується в два і більше разів, порівняно з базовим сценарієм. Застосування механізму RTS/CTS у бездротових локальних мережах ще більше збільшує асиметричність розподілу каналних ресурсів, що говорить про істотний вплив асиметричних колізій на ефективність роботи СБЛМ при використанні цього механізму.

Таким чином, за допомогою розглянутої моделі була показана, по-перше, необхідність розгляду реалізації методу доступу LBT без резервуючого сигналу і, по-друге, необхідність розробки методу виявлення та дозволу колізій БССМ.

Запропоновані дві моделі, що описують роботу без провідної локальної та стільникової мереж у загальному неліцензованому каналі, за умови, що БССМ використовує метод доступу до каналу без резервуючого сигналу.

Перша модель для випадку, коли і БССМ, і СБЛМ використовують ідеальний (миттєвий) механізм визначення зайнятості каналу. Модель показує пропускну спроможність обох мереж, а також дозволяє оцінити справедливість та ефективність розподілу каналних ресурсів між пристроями різних технологій. За допомогою даної моделі видно, що при використанні методу доступу БССМ без резервуючого сигналу можна домогтися справедливого та ефективного розподілу каналних ресурсів за умови зміни тривалості слотів у каналі, що ліцензується.

Друга модель для складнішого випадку, коли використовуваний механізм визначення зайнятості каналу неідеальний. Аналогічно моделі з ідеальним механізмом визначення зайнятості каналу, ця модель дозволяє оцінити пропускну спроможність бездротової локальної та стільникової мереж та оцінити справедливість та ефективність розподілу каналних ресурсів. За допомогою цієї моделі було показано, що справедливого та ефективного розподілу каналних ресурсів можна досягти навіть за використання неідеального механізму детектування зайнятості каналу. Крім того, за допомогою розглянутої моделі можна оцінити діапазон значень параметрів методу доступу БССМ, в якому можна досягти справедливого та ефективного поділу ресурсів між пристроями різних технологій. Також, дана аналітична модель показала, що домогтися справедливого та ефективного спільного існування бездротових локальних і стільникових мереж у разі використання БССМ методу доступу без резервуючого сигналу можна не завжди, навіть якщо є можливість вибирати тривалість слоту в ліцензованому каналі, та інші значення параметрів методу доступу до каналу БССМ.

Метод дозволу колізій для БССМ, який дозволяє використовувати резервуючий сигнал для виявлення та дозволу колізії передач СБЛМ та БССМ. За допомогою теореми аналізу ефективності даного методу можна визначити оптимальні значення параметрів методу, при яких досягається максимальне значення ймовірності вирішення колізії. Крім того, за допомогою даної моделі можна знайти субоптимальне значення параметра, при якому досягається висока ймовірність дозволу колізії у випадку, коли точне число БССМ і СБЛМ, що потрапили до колізії, заздалегідь невідомо.

Для оцінки впливу методу дозволу колізії на пропускну здатність бездротових локальних та стільникових мереж використовується аналітична модель роботи системи з кількох БССМ та СБЛМ. У

моделі передбачається, що всі БССМ використовують розроблений метод вирішення колізій. В результаті розроблений метод розв'язання колізій дозволяє покращити справедливість розподілу ресурсів та вирішити проблему асиметричних колізій БССМ та СБЛМ. За допомогою даної моделі було показано, що метод дозволу колізій дозволяє значно збільшити пропускну здатність бездротової локальної мережі, залишивши при цьому пропускну здатність стільникової мережі практично на такому ж високому рівні, як і при використанні базового підходу. Крім того, за допомогою аналітичної моделі видно, що метод дозволу колізій дозволяє використовувати велику тривалість слотів в ліцензованому каналі без втрати пропускну спроможності, що значно зменшує складність користувальницьких пристроїв.

Висновки

У цій роботі розглянуто дослідження в галузі методів випадкового доступу до загального неліцензованого каналу в бездротових локальних та стільникових мережах. Зокрема висвітлено порівняльний аналіз методів випадкового доступу в бездротових локальних та стільникових мережах, а також огляд відкритих проблем їх спільного існування в загальному неліцензованому каналі; Запропоновано аналітичну модель роботи в загальному неліцензованому каналі системи з декількох базових станцій стільникових мереж (БССМ) і станцій бездротової локальної мережі (СБЛМ), що враховує наявність асиметричних колізій БССМ і СБЛМ і дозволяє оцінити пропускну здатність обох мереж за умови метод доступу до каналу з резервуючим сигналом; Розглянуто аналітичну модель роботи в загальному неліцензованому каналі системи з декількох БССМ і СБЛМ для випадку, коли БССМ використовують метод доступу без резервуючого сигналу, що показує пропускну здатність обох мереж і оцінити область значень параметрів методу доступу базової станції стільникової мережі, в якій досягається справедливий і ефективний поділ каналних ресурсів між пристроями різних технологій; Запропоновано метод дозволу колізій для базових станцій стільникових мереж, який дає змогу виявляти та дозволяти колізії передач БССМ і СБЛМ, що призводить до збільшення пропускну спроможності обох мереж до 30%, а пропускну спроможності бездротової локальної мережі – до 2 разів, а також покращити справедливість поділу каналних ресурсів між пристроями бездротової локальної та стільникових мереж; Розглянуто аналітичну модель роботи системи з СБЛМ та БССМ, що використовують висвітлений метод дозволу колізій, що дає змогу оцінити ймовірність дозволу колізії, знайти субоптимальні значення параметрів запропонованого методу, а також знайти пропускну здатності бездротової локальної та стільникової мереж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Cisco. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2017–2022 White Paper, 2019

Кошлай Володимир Дмитрович — студент групи ТКС-21м, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vultus.blank@gmail.com

Науковий керівник: *Васильківський Микола Володимирович* — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інфокомунікаційних систем і технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Volodymyr Dmytrovych Koshlai — student of TKS-21m group, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vultus.blank@gmail.com

Supervisor: *Mykola Volodymyrovych Vasykivskyi* — candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of Information Communication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia