

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЇ D2D У МЕРЕЖІ 5G

Шосткинський інститут Сумського Державного Університету

Анотація

Запропоновано аналіз технології прямого з'єднання між пристроями D2D у мережах 5G, що дозволяє покращити характеристики мережі.

Ключові слова: мережа 5G, пристрій-пристрій, алгоритм повторної передачі даних, відношення сигнал шум.

Abstract

An analysis of direct connection technology between D2D devices in 5G networks is proposed to improve network performance.

Keywords: 5G network, device-to-device, hybrid automatic repeat request, signal interference noise ratio.

Вступ

Останнім часом велика кількість робіт [1-13] присвячена розгляду підтримки сервісів, що засновані на прямому зв'язку між пристроями D2D. Це обумовлено привабливістю доданків для соціальних мереж. Перша реалізація принципів D2D, вперше була здійснена компанією Qualcomm. Ця технологія дозволяла портативним пристроям, що знаходилися на відносно невеликій відстані один від одного формувати мережу, що давала можливість смартфонам обмінюватися даними напряму, не використовуючи інфраструктуру оператора. Отже, технологія D2D є технологією прямого зв'язку між пристроями, що дозволяє покращити ефективність використання радіоспектра, підвищити пропускну здатність та знизити споживання електроенергії користувачами. D2D забезпечує впровадження нових послуг та додатків типу точка-точка (peer-to-peer), організацію систем зв'язку загальної безпеки (Public Safety). Впровадження D2D має багато викликів та небезпек для існуючих архітектур мобільного зв'язку.

Використання технології D2D у стандарті LTE [14-16] дозволить йому стати провідною технологією широкосмугового мобільного зв'язку при побудові мереж загальної безпеки. Але такі мережі мають забезпечити більш жорсткі вимоги по надійності та безпеці, але і додаткові функціональні вимоги в при підтримці прямого зв'язку між мобільними терміналами, особливо коли базова мережа недоступна [17-22].

Метою роботи є аналіз організації зв'язків за технологією прямого з'єднання між пристроями користувача D2D.

Результати дослідження

На рис.1 подані можливі варіанти використання D2D. З Технічні переваги використання технології зв'язку D2D: пристрої D2D підтримують високу швидкість передачі даних та низький час затримки завдяки прямому обміну на коротких відстанях, що в свою чергу вимагає менших витрат енергії; технологія D2D дозволяє розвантажити трафік базової мережі; збільшення зони дії за рахунок ретрансляції даних від одного пристрою користувача до іншого (наприклад, від K1 до K2).

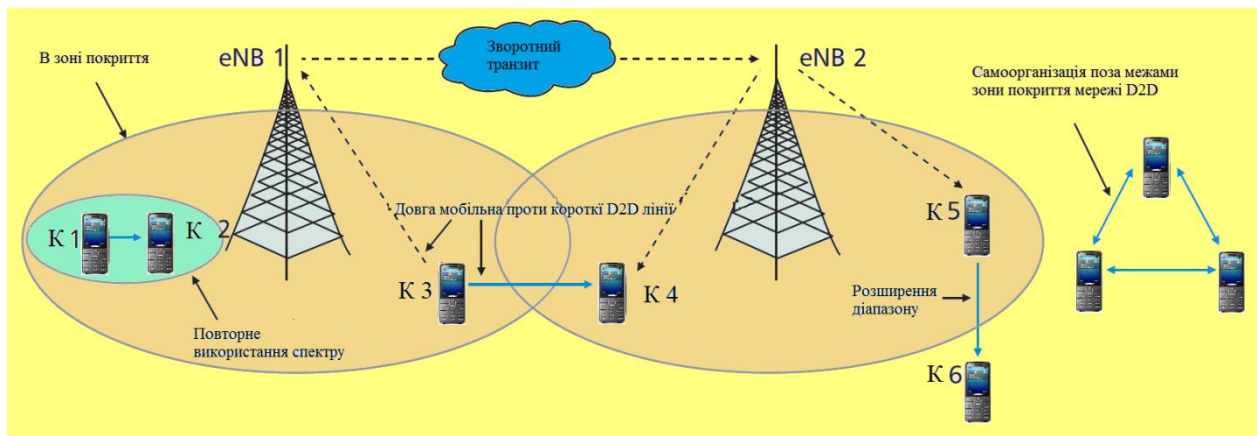


Рис. 1. Архітектура використання D2D

Більшість мобільних додатків намагаються знаходити користувачів, що розміщені у безпосередній близькості, але процедури пошуку пристроїв (наприклад, Facebook Places) не працюють у автономному режимі. При запуску додатку спочатку на центральному сервері реєструється інформація про місце розташування абонентського терміналу, на якому цей додаток був запущений, і лише потім центральний сервер поширює цю інформацію іншим користувачам, що не завжди є ефективним.

Виявлення пристроїв D2D, що знаходяться близько один від одного, та створення між ними каналу зв'язку – це дві основні задачі організації сервісів 3GPP ProSe. Залежно від того чи необхідний дозвіл на установлення взаємодії чи ні виявлення може бути або відкритим або закритим. Організація каналу в D2D є створення зв'язку між двома пристроями користувача, що знаходяться в безпосередній близькості, використовуючи інтерфейс LTE та не чіпаючи eNBs та ядро мережі. Необхідно враховувати, що припустима відстань між двома пристроями залежить від стану каналу зв'язку, відношення сигнал/шум (SINR), пропускної здатності, затримки, густини та завантаження. При цьому послуга прямої взаємодії може не обмежуватися лише стандартом LTE а, наприклад, використовувати технології Wi-Fi direct. Сценарії роботи D2D з точки зору наявності мережевого покриття 3GPP розбили на три категорії: коли всі користувачі знаходяться в зоні покриття базової станції; коли всі користувачі знаходяться поза межами зони покриття; коли деякі пристрої знаходяться в зоні покриття, а деякі поза зоною покриття.

Зв'язок двох пристроїв користувача напряму має ряд особливостей: подвійна мобільність, що змінює умови поширення; низька висота антени, що обумовлює великі втрати сигналу; міжканальна кореляція, що призводить до затримки поширення сигналу.

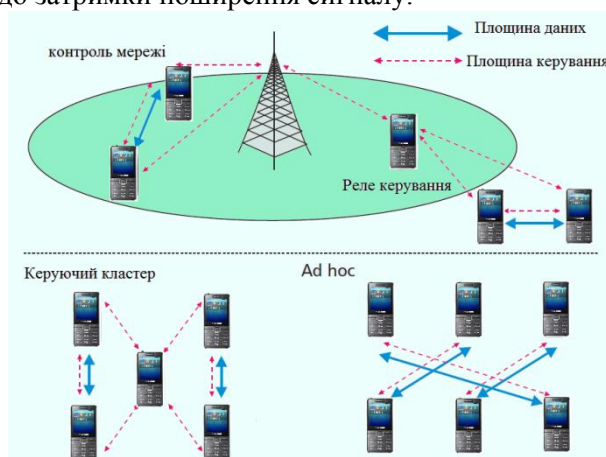


Рис. 2. Режими контролю пристроїв користувачів

Режим керування є Ad Hoc та керуючий кластер. У мобільному зв'язку включаючи LTE, оскільки керування існує лише між користувачем та мережею, тобто повністю контролює роботу мобільних

телефонів за винятком деяких аспектів обладнання. Коли пристрої D2D знаходяться в зоні покриття, ProSe має знаходитись під постійним контролем та керувати мережею. Але повний контроль мережею над поведінкою користувача D2D пристрою може бути переглянутим. Наприклад, використання алгоритму повторної передачі даних (HARQ) в пристроях D2D може зменшити мережеве навантаження та зменшити затримки зворотного зв'язку. Тому необхідно розділити функції контролю між мережею та обладнанням користувача (рис. 2).

Крім того, пристрій D2D може переміститися в зону без покриття, де мобільна мережа втрачає можливість контролю. В топології Ad hoc кожен пристрій користувача D2D контролює себе таким чином, що передача може бути скоординована засобами протоколу доступу до середовища. У випадку топології керуючий кластер, один пристрій користувача приймає основну роль та діє як кластерна комірка в групі пристроїв користувачів. Кластерна комірка діє як eNodeB та розв'язує задачі локальної синхронізації, керує радіоресурсом, плануванням D2D передачі, та іншими функціями у своєму кластері. Недоліком у такому контролі є те, що кластерна комірка стає вузьким місцем контролю, і це призводить до швидкого розряду батареї.

Суттєвою перевагою мережі D2D є синхронна передача. У випадку синхронізованого у часі виявлення пристрою, абонентські пристрої можуть бути активні лише у визначений часовий слот для прийому інформації про виявлення. Це споживає набагато менше енергії, ніж асинхронне виявлення, де може бути здійснюваний тривалий пошук для виявлення сигналів. Але синхронізація для D2D передачі є складною задачею, тому це звичайно містить декілька з'єднань: сигнали випромінюються від різних передавальних пристроїв користувача та приходять на різні приймальні пристрої користувача.

Існує декілька режимів прямого зв'язку між пристроями D2D: одно адресний, ретрансляційний, групова трансляція та трансляція.

При виборі формату модуляції в LTE використовується SC-FDMA (single frequency-division multiple access) на uplink та OFDMA на downlink. Отже, пристрій користувача містить SC-FDMA випромінювач та OFDMA приймач. При використанні пристроїв D2D мережу необхідно буде переобладнати відповідними приймачами SC-FDMA та передавачами OFDMA. У порівнянні з реалізацією OFDMA передавача, реалізація SC-FDMA приймача є більш складною задачею, оскільки передача на одній носій ній вимагає відносно складного вирівнювання в приймачі. Але передавач SCFDMA може мати низький рівень відношення пікової потужності до середньої потужності.

Керування живленням пристроїв D2D корисно для збереження енергії пристрою користувача та зменшення завад. Оскільки пристрій D2D має частковий контроль над потужністю своєї передачі, то може зменшити затримки та вартість на передачу контрольних сигналів.

Залежно від режиму керування результати вимірювань можуть передаватися у мережу або на обладнання користувача, що приймає участь в передачі інформації. Щоб впровадити виміри каналу, опорні сигнали, що використовують з'єднання між користувачами вимагають подальших досліджень, хоча вимірювання початкового каналу може бути виконано під час процесу виявлення пристрою. На першому етапі необхідно оцінити застосовність існуючих опорних сигналів в LTE. Далі для коротких та малорухомих зв'язків між пристроями може бути можливе скорочення витрат опорного сигналу оскільки канал повинен мати кращу якість та змінюватися повільно.

Гібридний автоматичний запит HARQ (Hybrid automatic repeat request) містить функції прямої корекції помилок (FEC) та повторної передачі ARQ. Оскільки ситуація із завадами може бути складною та змінною для D2D з'єднань, HARQ може зробити з'єднання D2D стійким. Запит HARQ з'єднання D2D може бути опосередкованим та прямим. В опосередкованому HARQ, D2D приймач спочатку відправляє запит eNodeB на підтвердження (ACK)/відмова (NACK); потім eNodeB передає ACK/NACK D2D передавачу. HARQ дозволяє повторно використовувати існуючі uplink та downlink LTE канали із мінімальними змінами за рахунок додаткової надмірності та можливої затримки зворотного зв'язку. У випадку прямого HARQ, D2D приймач відправляє напряму ACK/NACK запит D2D передавачу. Прямий HARQ може використовуватися у випадку знаходження пристрої і у зоні покриття і поза її межами.

На рис. 3 наведені SINR для ліній D2D для різних налаштувань керування потужністю, що передається.

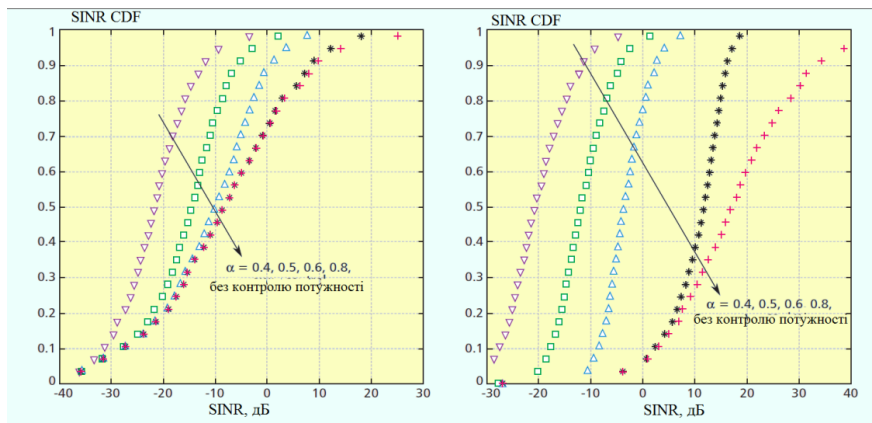


Рис. 3. Залежність використання розподілу SINR для ліній D2D

Рис. 3а показує небажаний SINR розподіл, майже 40% D2D ліній можуть мати SINR не більше -6дБ у випадку коли десять D2D передавачів у секторі не скоординовані та активні одночасно. Це пов'язано з тим, що пристрої D2D розподілені випадковим чином. Рис. 3.б показує розподіл SINR у випадку коли десять ліній D2D у секторі скоординовані та ортогональні у часі. В результаті бачимо, більше 95% каналів D2D можуть мати SINR більше -6 дБ. Отже, лінії зв'язку D2D мають бути скоординованими для забезпечення успішної передачі.

Висновки

Таким чином, організація зв'язків за технологією D2D – це функціонал, що буде сприяти взаємодії між комерційними мережами та мережами загальної безпеки на основі LTE. Рішення D2D принципово змінить мобільну архітектуру, зменшить першість eNodeBs, дозволяючи пристроям користувача передавати сигнал напряму до найближчих пристроїв користувача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Andrews J. Rethinking information theory for mobile ad hoc networks / J. Andrews, S. Shakkottai, R. Heath, N. Jindal, M. Haenggi, R. Berry // *IEEE Communications Magazine*. – 2008. – Vol. 46, No.12. – pp. 94-101. DOI: 10.1109/MCOM.2008.4689214.
2. Lin X. An overview of 3GPP device-to-device proximity services / X. Lin, J. Andrews, A. Ghosh, R. Ratasuk // *IEEE Communications Magazine*. – 2014. – Vol. 52, No. 4. – pp. 40-48. DOI:10.1109/MCOM.2014.6807945.
3. Doumi T. LTE for public safety networks / T. Doumi, M. Dolan, S.Tatesh, A. Casati, G. Tsirtsis, K. Anchan, D. Flore // *IEEE Communications Magazine*. – 2013. – Vol. 51, No. 2. – pp. 106-112. DOI:10.1109/MCOM.2013.6461193.
4. Borenovic L. Test measurements considerations for LTE as future public safety communication technology / L. Borenovic, M. Simic // *Proceedings ELMAR-2013*, 25-27 September, Zadar, Croatia.
5. Lim D.W. Adaptive power control for D2D communications in downlink SWIPT networks with partial CSI / D.W. Lim, J. Kang, H.M. Kim // *IEEE Wireless Communications Letters*. – 2019. – Vol. 8, No. 5.– pp. 1333-1336. DOI:10.1109/LWC.2019.2916352.
6. Lai W.K. Efficient resource allocation and power control for LTE-A D2D communication with pure D2D model / W.K. Lai, Y.C. Wang, H.C.. Lin, J.W. Li // *IEEE Transactions on Vehicular technology*. – 2020. – Vol. 69, No. 3. – pp. 3202-3216. DOI: 10.1109/TVT.2020.2964286.
7. Zabegaloff I.V. 5G Ultra dense networks / A.V. Bulashenko, I.V. Zabegaloff // *Матеріали II Всеукраїнської науково-методичної конференції*, м. Шостка, 20 квітня 2017 року. – Суми: Сумський державний університет, 2017. — С. 183 – 185.
8. Забегалов І.В. Модель трафіка для передачі зображень в безпроводних сенсорних мережах 5G /І.В. Забегалов, А.В. Булашенко// *Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції*, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. – С. 154 –155.
9. Забегалов І.В. Аналіз трафіка за допомогою коефіцієнта Хьорста в безпроводних сенсорних мережах 5G / І.В. Забегалов, А.В. Булашенко // *Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної*

конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 144–145.

10. Гладун В.В. Забезпечення високої якості мережі 5G за допомогою технології D2D / В.В. Гладун, А.В. Булашенко // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи». Київ, 18 – 24 листопада 2019 р — Київ, 2019. — С. 57 – 59.

11. Ляшко Д.Г. Спільне використання ресурсів D2D та мобільного зв'язку / Д.Г. Ляшко, А.В. Булашенко // Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 170–171.

12. Гладун В.В. Система вигризки на основі D2D / В.В. Гладун, А.В. Булашенко // Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 166–167.

13. Діхтярук І.І. Спільна оптимізація у машинному навчанні з мультидоступними граничними обчисленнями / І.І. Діхтярук, А.В. Булашенко// Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 150–151.

14. Чвикова В.С. Міська радіомережа зв'язку четвертого покоління на основі LTE-Advanced / В.С. Чвикова, А.В. Булашенко // Матеріали X науково-технічної конференція студентів, аспірантів та викладачів радіотехнічного факультета «Радіоелектроніка в XXI столітті». – Київ: КПІ, 12-13 травня 2016. – С. 36 – 41.

15. Забегалов І.В. Аналіз мережі 4G на основі технології LTE / І. В. Забегалов, А. В. Булашенко // Освіта, наука та виробництво: розвиток та перспективи : матеріали III Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 19 квітня 2018 р. – Суми : СумДУ, 2018. – С. 161-162.

16. Забегалов І.В. Частотний діапазон майбутніх мереж 5G / І.В. Забегалов, А.В. Булашенко// Матеріали II Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 20 квітня 2017 року. – Суми: Сумський державний університет, 2017. – С. 181 – 183.

17. Демченко І.В. Маршрутизація в мережі 5G із рухомими вузлами безпроводних сенсорних мереж / І.В. Демченко, А.В. Булашенко // Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 148–149.

18. Гнитецький В.А. Забезпечення дуже низьких затримок у стільниковій системі 5G на базі МЕС / В.А. Гнитецький, А.В. Булашенко // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи». Київ, 18 – 24 листопада 2019 р – Київ, 2019. – С. 153 – 155.

19. Демченко І.В. Перспективи розвитку технологій 5G /І.В. Демченко, А.В. Булашенко// Матеріали II всеукраїнська науково-технічна конференція студентів та аспірантів «Радіоелектроніка в XXI столітті». – Київ: КПІ, 14-16 травня 2019. – С. 31 – 33.

20. Цапков С.В. Метод перехресної ентропії для зниження відношення PAPR в системах OFDM / С.В. Цапков, А.В. Булашенко // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи». Київ, 18 – 24 листопада 2019 р – Київ, 2019. – С. 51 – 53.

21. Маленчик Т.В. Алгоритм подавлення завад у режимі псевдовипадкового переналаштування частоти / Т.В. Маленчик, А.В. Булашенко// 23-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Конференція «Інформаційні радіотехнології та технічний захист інформації», Т.3 – Харків: ХНУРЕ, 16-18 квітня 2019. – Т.3. – Р. 129 – 130.

22. Вус О.С. Технологія MIMO в безпроводному зв'язку / О.С. Вус, А.В. Булашенко // Матеріали II Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 20 квітня 2017 року. – Суми: Сумський державний університет, 2017. – С. 191 – 194.

Шарпан Ярослав Едуардович — студент групи СУ-21ш, Шосткинський інститут Сумського державного університету, Шостка, e-mail: yar_sharpan@ Rambler.ru;

Забегалов Ігор Вікторович — викл. кафедри системотехніки та інформаційних технологій, Шосткинський інститут Сумського державного університету, Шостка.

Sharpan Yaroslav E. — Shostka Institute of Sumy State University, Shostka, e-mail: ut3ulj@gmail.com;

Zabegalov Igor V. — lecture of the chair of systems engineering and information technology, Shostka Institute of Sumy State University, Shostka.