

## ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ C-V2X ТА DSRC НА АВТОНОМНОМУ ТРАНСПОРТІ

*Карпішен Б.С.*

*Харківський національний автомобільно дорожній університет, м. Харків*

**Анотація:** Інформаційно комунікаційні технології відіграють важливу роль в сучасному автономному водінні. Робота порівнює характеристики технологій C-V2X та DSRC беручи до уваги результати реального тестування систем. У висновку порівнюються характеристики та розкриваються окремі сфери використання технологій.

**Ключові слова:** Інформаційно комунікаційні системи, V2V, C-V2X, DSRC, тестування.

Інформаційно-комунікаційні системи на транспорті відіграють важливу роль у розвитку сучасних транспортних мереж. Ці системи забезпечують ефективний зв'язок між транспортними засобами, інфраструктурою та користувачами, підвищуючи безпеку, ефективність і комфорт дорожнього транспорту.

Інформаційно-комунікаційні системи (ІКС) – це комплексні технології, які забезпечують обмін інформацією між транспортними засобами та інфраструктурою, що включає мережі зв'язку, датчики, камери, системи керування та аналіз даних. ІКС є важливим компонентом в автономному водінні. Вони забезпечують автомобілям можливість спілкуватися між собою (V2V), з інфраструктурою (V2I) та іншими об'єктами (V2X). Вони мають повну технічну правову та законодавчу базу, але технологія ще досі знаходиться більше на етапах розробки ніж впровадження.

Основними представниками виступають дві технології комунікації C-V2X та DSRC.

C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything) – це технологія, яка використовує стільниковий зв'язок для обміну інформацією між транспортними засобами та інфраструктурою. Ця технологія забезпечує високу надійність зв'язку і широкий спектр можливостей для обміну даними, таких як попередження про небезпечні ситуації, моніторинг трафіку, оптимізація маршрутів та інше [1].

C-V2X підтримується багатьма мобільними операторами, провідними виробниками мобільного обладнання та автовиробниками. C-V2X пропонує два режими зв'язку – прямий і мережевий. Прямий зв'язок між транспортними засобами, інфраструктурою та іншими учасниками дорожнього руху за безпечується за допомогою спектру інтелектуальної транспортної системи (ІКС), який був визначений і гармонізований на міжнародному рівні з метою безпеки. Це працює незалежно від стільникових мереж і є основою для стандартизованих глобальних систем безпеки.

Мережевий зв'язок, у якому C-V2X використовує мобільну мережу для отримання інформації, дає змогу платформам C-V2X поєднувати захищені широкі зони з'єднання невеликого радіусу дії в одному модулі та відкриває нові привабливі випадки використання від допомоги при водінні до більш дорогих інформаційно-розважальних засобів. C-V2X розроблено для повної сумісності з мобільними технологіями 5G, а можливості технології розширені завдяки впровадженню стандартів 3GPP [2].

В епоху повсюдного використання 5G C-V2X зможе підтримувати низку розширених служб безпеки, включаючи точне позиціонування та визначення дальності, щоб уможливити спільне та автоматизоване водіння, надання локальних динамічних карт на основі даних камери та датчиків, а також підключення з низькою затримкою, необхідне для забезпечення високої щільності технології взводу (platooning).

Як і 802.11p, C-V2X використовує глобальну навігаційну супутникову систему (GNSS) для визначення положення транспортного засобу та синхронізації зв'язку між транспортними засобами та з придорожньою інфраструктурою. У цьому режимі SIM-карта не потрібна, оскільки автомобіль не потребує підключення до стільникової мережі. Транспортний засіб та його водій залишаються анонімними, оскільки для прямого зв'язку безпеки не потрібна підписка на стільниковий зв'язок.

Стільниковий V2X (C-V2X) зазвичай використовує для зв'язку смугу частот 5,9 ГГц – це офіційно призначена частота інтелектуальної транспортної системи (ITS) у більшості країн. Використовуючи діапазон, технологія може підтримувати прямі з'єднання з низькою затримкою на короткі відстані без залучення стільникової мережі.

C-V2X може функціонувати без допомоги мережі та має дальність зв'язку, що перевищує 1,6 км висхідного зв'язку 200 Мбіт/с для LTE-A [2].

DSRC (Dedicated Short-Range Communications) – це технологія короткострокового зв'язку, яка працює в діапазоні частот 5.855–5.925 ГГц та може відрізнитись відповідно регіональним стандартам. Вона використовується для зв'язку між транспортними засобами та інфраструктурою на коротких відстанях. DSRC дозволяє обмінюватися інформацією про швидкість, місцезнаходження та інші параметри в режимі реального часу.

Таким чином, 5,9 ГГц зв'язок на короткій відстані (DSRC) базується на стандарті IEEE 802.11p, який став перспективним рішенням, і реалізований у транспортному засобі транспортного засобу (V2V), автомобільному транспорті (V2R) і транспортному засобі до інфраструктури (V2I), а також у розробці автономних транспортних засобів. DSRC використовує мультиплексування з ортогональним частотним поділом (OFDM), іноді на основі стандарту бездротової локальної мережі (WLAN), відомого як стандарт IEEE 802.11a. У прямому порівнянні з IEEE 802.11a, DSRC має надійну стійкість до перешкод і може адаптуватися до безперервних і швидких умов переходу. Структурування каналу DSRC передбачає сім каналів з частотою 10 МГц, з дальністю ефективної

роботи на стандартній частоті до 1000 м. 802.11p представлено як бездротова технологія, здатна задовольнити вимоги до низької затримки нижче 100 мс у разі передачі інформації та повідомлень безпеки дорожнього руху [3].

Він також може адаптуватися до швидкостей 350 км/год або навіть 500 км/год залежно від діапазону частот, хоча в цих випадках погіршення продуктивності на високих швидкостях неминуче. DSRC оптимізований для "блокування прямої видимості" (нелінійний приціл) та роботи в екстремальних погодних умовах.

Таким чином, у контексті запобігання зіткненням даних DSRC покладається на доступ до кількох несучих у виявленні зіткнень (CSMA/CA). Будучи типом бездротового зв'язку з короткою та середньою дальністю, він добре підходить до концепцій систем зіткнення даних для безпеки дорожнього руху. Остаточний підхід аналізує синхронізацію та розподіл слотів, призначених для розповсюдження в мережах з багатьма переходами, з підвищеними умовами мобільності та правильно оптимізує зв'язок IEEE 802.11 MAC у підході систем, призначених для дорожнього сектора.

Стандарт IEEE802.11p WAVE є лише частиною групи стандартів, що стосуються всіх рівнів протоколів для операцій на основі DSRC. Стандарт IEEE802.11p обмежений сферою застосування IEEE802.11, яка є стандартом рівня MAC та PHY для роботи в межах одного логічного каналу IEEE802.11. Це важлива відмінність порівняно з технологіями C-V2X, оскільки периметр їх специфікації охоплює всі рівні протоколу, навіть у режимі прямого зв'язку. Усі знання та складності, пов'язані з планом каналу DSRC та робочою концепцією, охоплюються стандартами верхнього рівня IEEE1609.2 [4].

Хоча C-V2X і 802.11p можуть співіснувати в спектрі ІКС використовуючи різні канали в діапазоні 5,9 ГГц. Лише 10 МГц спектру в діапазоні 5,9 ГГц потрібно для підтримки базових служб безпеки, тоді як 70 МГц можуть підтримувати розширені служби безпеки, такі як обмін великими обсягами даних, зібраних датчиками автомобіля [5].

Обидві технології були протиставлені один одному в рамках декількох польових тестувань [6,7,8]. У якості основних характеристик порівняння були вибрані загальна затримка передачі/підключення, ефективна дальність роботи та надійність підключення.

Кожен оснащений пристроями DSRC транспортний засіб передає свою інформацію про стан, включаючи місцезнаходження, швидкість, та прискорення, кілька разів на секунду на відстані кілька сотень метрів. Кожен транспортний засіб також отримує ці повідомлення щодо безпеки.

C-V2X розподілена система планування пакетів, яка працює в синхронному режимі. "Бюджет затримки пакетів" або PDB – це вікно часу, протягом якого пакетам із потоку SPS призначаються ресурси, коли вони заплановані вперше. PDB визначає час затримки пакетів із певного потоку напівстійкого планування (SPS). Всі наступні повідомлення з одного потоку передаються точно з інтервалом періодичності повідомлень (наприклад, 100 мс між

повідомленнями). Середня та максимальна затримка залишаються незмінними, навіть якщо навантаження на систему збільшується. DSRC покладається на CSMA/CA для доступу до каналу. Планування не задіяне, і передача заснована на зондуванні енергії на каналі. Коли система злегка завантажена, повідомлення можуть передаватися з низькою затримкою. Однак, оскільки система сильно завантажується, затримка повідомлень швидко зростатиме[9]. З високою перевантаженістю затримка, а також інтервал між наступними повідомленнями значно збільшується.

Configuration	DSRC	C-V2X (PC5 Mode 4)
Channel	Channel 172	5860 MHz (Channel 172)
Bandwidth	10 MHz	10 MHz
Modulation	QPSK ½ (6 Mbps burst rate)	MCS 5
Application Used	Savari	Savari
Tx/Rx Configuration	1 Tx 2 Rx	1 Tx 2 Rx
Device Details	Savari MW1000	Qualcomm Roadrunner platform
Blind HARQ	NA	Enabled
Tx Power	21 dBm	21 dBm
Packet Size	193 Bytes	193 Bytes (5 Sub-Channels)*

\* Sub-Channel size = 5 RB

Рис. 1 – Характеристики тестового обладнання [6]

Результати випробувань показують, що за відмінних умов радіозв'язку (-50 дБм Отримана потужність без додаткового шуму) обидві технології V2X можуть надійно передавати корисне навантаження BSM. У ненавантажених умовах затримка C-V2X зазвичай становить від 1 до 4 мс затримки DSRC, що з точки зору всієї системи автомобіля є незначною різницею.

Тестування дальності визначає відстань, на якій PRR або надійність прийому повідомлень BSM падають нижче прийнятного рівня. Поріг PRR для визначення діапазону становить 90%. Основні показники продуктивності включають: коефіцієнт прийому пакетів (PRR) та міжпакетний розрив (IPG) [6].

Порівняно дві технології V2X, використовуючи діапазон, надійність та IPG як KPI. У всіх тестах C-V2X OBU значно перевершували OBU DSRC. Результати випробувань свідчать про вигреш у діапазоні радіочастот для Cellular-V2X порівняно з DSRC.

Обидві технології V2X піддавались одній і тій же IEEE 802.11ac 80 МГц синтетично створеній перешкоді в рамках тестування надійності сигналу. Подібним чином, у випробуваннях на перешкоди сусіднього каналу перешкоди як для DSRC, так і для C-V2X є однаковими синтетично створеними перешкодами IEEE 802.11p 10 МГц у сусідньому каналі.

Таблиця 1 – Порівняння дальності зв'язку DSRC та C-V2X при ефективній потужності передавача 5 та 11 дБм

Процедура випробування	Дальність зв'язку, м (при 90% надійності)			
	DSRC 5 дБм	C-V2X 5 дБм	DSRC 11 дБм	C-V2X 11 дБм
Діапазон прямої видимості (LOS)	625	1050	925	1350
Нелінійне блокування зору (NLOS) (5GAA)	250/350	450	425	625
Блокування нелінійного зору (NLOS) (CAMP)	175/250	550	400	600
Співіснування з Wi-Fi (смуга пропускання 80 МГц )	–	–	550	950
Співіснування V2X із сусідньою носійною DSRC	–	–	325	950

Результати показують, що C-V2X набагато надійніший за DSRC в обох сценаріях. Посилання DSRC не працює в обох випадках. Це пов'язано або зі спотворенням отриманого сигналу, або з голодуванням CSMA/CA. Для C-V2X, коли передавач чує перешкоди, він намагається уникнути частотних перешкод. Це призводить до того, що зв'язок не впливає на більшість конфігурацій, за винятком випадків, коли смуга пропускання перешкод стає настільки широкою, що її розташування унеможлиблює повне уникнення. Якщо перешкоди налаштовані так, щоб вони були приховані від передавача, передача не може уникнути частотних перешкод [7].

У висновку технології C-V2X та DSRC відіграють ключову роль у розвитку автономного водіння, створюючи нові можливості для безпечного та надійного руху на дорогах. Інформаційно-комунікаційні системи на транспорті, зокрема C-V2X і DSRC, є ключовими технологіями для розвитку автономного водіння та підвищення безпеки на дорогах. Вони дозволяють транспортним засобам ефективно взаємодіяти з навколишнім середовищем, забезпечуючи більш безпечний і зручний дорожній рух. Обидві технології демонстрували подібні наскрізні затримки рівня додатків за умов, що не перевантажені, і обидві технології відповідали вимогам до затримки для додатків безпеки V2V, зазначених стандартами. Продуктивність міжпакетного розриву була в межах 10 мс для обох технологій V2X, як правило, дуже швидко зростала, коли пристрої виходили за межі діапазону. Однак C-V2X переважає DSRC в таких показниках як дальність зв'язку та надійності сигналу у випадку замулення каналу, що надає пріоритет використання першої технології не виключаючи використання DSRC.

Важливим рішенням, що стосується рівнів, є подібність послуг між C-V2X та DSRC. Основний набір повідомлень про безпеку є основною програмою для обох технологій прямого режиму зв'язку. Усі системи безпроводного зв'язку, страждають від недоліків, що їм властиві. Недоліки полягають у обмеженій потужності в різних сферах:

- обмежені канали, ця межа торкнеться особливо великих міст;
- обмежена швидкість передавання даних, враховуючи, що лише один автономний автомобіль буде використовувати до 4 000 ГБ даних на день [6];
- безпроводний зв'язок сприйнятливий до зовнішніх впливів, що може теж стати недоліком;
- обмеження розповсюдження даних через оточення, такі як будівлі, тунелі, а також доплерівські ефекти, що спричиняють зменшення швидкості розповсюдження за рахунок повторного передавання даних;
- витрати на забезпечення всебічного належного такої мережі, як LTE або 5G, вимагають значних фінансів.

Розвиток інформаційно-комунікаційних систем на транспорті відкриває шлях до створення більш розумних та інтелектуальних транспортних мереж. Завдяки обміну інформацією в режимі реального часу між транспортними засобами, пішоходами та інфраструктурою, ці системи сприяють зниженню кількості дорожніх інцидентів, зменшенню заторів та покращенню загальної ефективності руху.

### Список літератури

1. R, Dhinesh Kumar, and Rammohan A. 2023. "Revolutionizing Intelligent Transportation Systems with Cellular Vehicle-To-Everything (C-V2X) Technology: Current Trends, Use Cases, Emerging Technologies, Standardization Bodies, Industry Analytics and Future Directions." *Vehicular Communications* 43 (October): 100638. <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2023.100638>.
2. Zadobrischi, Eduard, Mihai Dimian, and Mihai Negru. 2021. "The Utility of DSRC and V2X in Road Safety Applications and Intelligent Parking: Similarities, Differences, and the Future of Vehicular Communication." *Sensors* 21 (21): 7237. <https://doi.org/10.3390/s21217237>.
3. "IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Certificate Management Interfaces for End Entities," in *IEEE Std 1609.2.1-2022 (Revision of IEEE Std 1609.2.1-2020)*, vol., no., pp.1-261, 30 June 2022, doi: 10.1109/IEEESTD.2022.9810154.
4. Calabrese, Michael, and Amir Nasr. 2020. "The 5.9 GHz Band Removing the Roadblock to Gigabit Wi-Fi." *New America*, July, 36. [newamerica.org/oti/reports/59-ghz-band/](https://www.newamerica.org/oti/reports/59-ghz-band/).
5. Joseph, Lentin, and Amit Kumar Mondal. 2022. *Autonomous Driving and Advanced Driver-Assistance Systems (ADAS) : Applications, Development, Legal Issues, and Testing*. Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis Group.
6. 5GAA. 2019. "V2X Functional and Performance Test Report; Test Procedures and Results." *V2X Functional and Performance Test Report*. 5GAA Automotive Association. [https://5gaa.org/content/uploads/2018/11/5GAA\\_P-190033\\_V2X-Functional-and-Performance-Test-Report\\_final-1.pdf](https://5gaa.org/content/uploads/2018/11/5GAA_P-190033_V2X-Functional-and-Performance-Test-Report_final-1.pdf).
7. A. Rayamajhi, A. Yoseph, A. Balse, Z. Huang, E. M. Leslie and V. Fessmann, "Preliminary Performance Baseline Testing for Dedicated Short-Range Communication (DSRC) and Cellular Vehicle-to-Everything (C-V2X)," 2020 IEEE 92nd Vehicular Technology Conference (VTC2020-Fall), Victoria, BC, Canada, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/VTC2020-Fall49728.2020.9348708.
8. Zhong, Ziyi, et al. FIELD TESTS on DSRC and C-V2X RANGE of RECEPTION on UTAH ROADWAYS. Utah Department of Transportation by Panasonic Corporation of North America, 23 Apr. 2021.
9. Alsmirat, Mohammad & Al-Rifai, Saleh & Sababha, Belal. (2015). Reducing Message Loss in DSRC Networks using Dynamic Distribution of Safety Messages over EDCA Access Categories.