

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"**

Факультет електроніки

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем

(повна назва кафедри)

"На правах рукопису"

УДК 621.396.931

"До захисту допущено"

Завідувач кафедри

С.А. Найда

(ініціали, прізвище)

" 07 06 2021 р.

**Дипломна робота**

**на здобуття ступеня бакалавра**

зі спеціальності (спеціалізації) 171 Електроніка (Електронні системи  
мультимедіа та засоби Інтернету речей)

(код і назва)

на тему: "Використання технології V2X для контролю руху і управління  
автотранспортом"

Виконав: студент IV курсу, групи ДВ-72

(шифр групи)

Луппол Тимофій Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник

к.т.н., доц. Макаренко В.В.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

зав. відділом і-ту Кібернетики НАН України,

професор, д.т.н., Романов В.А.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі  
немає запозичень з праць інших авторів  
без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Київ – 2021 року

**Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"**

Факультет Електроніки

Кафедра Акустичних та мультимедійних електронних систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський) за освітньо-професійною (освітньо-науковою) програмою

Спеціальність 171 Електроніка (Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 С.А Найда .  
(ініціали, прізвище)

" 07 " 06 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломну роботу студенту**

Лупполу Тимофію Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Використання технології V2X для контролю руху і управління автотранспортом

керівник роботи Макаренко Володимир Васильович, доцент, с.н.с.,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «25» січня 2021 р. №1316-с

2. Термін подання студентом роботи 10 червня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи Дослідження технології V2X та технологій зв'язку DSRC/C-V2X.

4. Зміст роботи Аналіз можливостей технології V2X, а також приклади її практичного застосування







5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) презентація з наведеними результатами аналізу, приклади застосування технології V2X.

### 6. Консультанти розділів роботи\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 25 січня 2021 р.

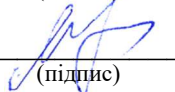
### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Написання першого розділу	15.02.2021	виконано 
2	Підготовка до публікації статті по темі роботи	20.04.2019	виконано 
3	Написання другого розділу	20.04.2019	виконано 
4	Написання третього розділу	10.05.2019	виконано 
5	Підготовка матеріалів до друку та оформлення пояснювальної записки	1.06.2019	виконано 
6	Підготовка та оформлення презентації для доповіді	6.06.2019	виконано 

Студент

  
\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи

  
\_\_\_\_\_  
(підпис)

Т.Ю. Луппол

\_\_\_\_\_  
(ініціали, прізвище)

В.В. Макаренко

\_\_\_\_\_  
(ініціали, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломної роботи.

## SUMMARY

This work presents an analysis of a V2X system using DSRC / C-V2X technology. This work consists of three sections

The first section outlines the essence of the principle of the V2X technology. The special features of this technology, as well as technologies, are expanded to V2X, and V2V, V2I, V2P and V2N itself. The principle of robotics and the architecture of the technologies mentioned were also developed. Bulo analyzed the principle of robotics and the architecture of technology communication, which can be used in V2X systems, and the DSRC itself and C-V2X.

DSRC / ITS-G5 and C-V2X. The IEEE 802.11 standard has also been adopted, as well as the promising 3GPP standard. Was found out which transport information can be recognized from the infrastructure, that and other environment. The ITS-G5 architecture was brought up to the Bulo, the architecture of the same access, as well as the IEEE standards, as required, from the ITS-G5 station. Tests have been made because the C-V2X technology is more effective than DSRC – more countries have embraced the C-V2X technology itself. The middle of the butt is also the butt, in which the adjustment of these technologies has been introduced into practice.

## РЕФЕРАТ

Лушпол Т. Ю.; Використання технології V2X для контролю руху і управління автотранспортом: бакалаврська роб: 171 Електроніка. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 62 с.

Ключові слова: V2X, DSRC, C-V2X, V2V, V2I, V2N.

**Актуальність дослідження.** Зі зростанням кількості автомобілів на дорогах, а також ДТП, з'являється потреба у рішеннях, що зможуть забезпечити більший рівень безпеки під час руху. Ці потреби може задовольнити використання технології V2X в автотранспорті.

**Метою роботи** є аналіз можливостей технології V2X, а також технологій зв'язку DSRC та C-V2X. Та дослідження прикладів використання даної технології на практиці.

**Об'єкт дослідження** – технологія, що використовується для контролю руху та управління автотранспортом – V2X.

**Методи дослідження** – теоретичний аналіз технології V2X.

**Практичне значення одержаних результатів:** спираючись на теоретичний аналіз, проведений в роботі, можна спрогнозувати як будуть розвиватись системи зв'язку між транспортними засобам і як вони вплинуть на розвиток безпілотного транспорту.

## ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Аналітичний огляд .....	10
1.1 Призначення технології V2X.....	10
1.2 Особливості технологій V2X.....	12
1.2.1 Особливості технології V2V .....	15
1.2.2 Особливості технології V2I.....	17
1.2.3 Особливості технології V2P.....	19
1.2.4 Особливості технології V2N .....	22
1.3 Технології зв'язку що використовуються в системах V2X.....	25
Висновки до розділу .....	27
2 Технології зв'язку що використовують в системах V2X .....	29
2.1 Технологія DSRC/ITS-G5 (стандарт IEEE 802).....	29
2.2 Технологія C-V2X, 4G, 5G .....	40
Висновки до розділу .....	41
3 Приклади використання технології V2X.....	43
3.1 Тестування C-V2X в Японії.....	43
3.2 Демонстрація технології V2X на CES 2019 та тестове порівняння технологій DSRC та C-V2X .....	46
3.3 Тестування технології C-V2X в Іспанії.....	54
Висновки до розділу .....	55
Висновки .....	57
Перелік джерел посилань .....	58
Додаток А Abstract .....	61

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ITC	– інтелектуальні транспортні системи;
BSM	– Basic Safety Message (основне повідомлення про безпеку);
CARG	– Compound annual growth rate (сукупний середньорічний темп зростання);
CDMA	– Code Division Multiple Access (множинний доступ із кодовим поділом);
CSMA/CA	– Carrier-sense Multiple Access with Collision Avoidance (багаточисельний доступ з сенсом перевізника з уникненням зіткнень);
ETSI	– European Telecommunications Standards Institute (Європейський Інститут Телекомунікаційних Стандартів);
FPG	– Fowlerville Proving Ground (полігон Фаулервіля);
FSW	– Forward Collision Warning (попередження про зіткнення попереду);
IMA	– Integrated Motor Assist (вбудована система допомоги в русі);
IPG	– Inter-packet Gap (міжпакетний розрив);
JTRS	– Joint Tactical Radio System (спільна тактична радіосистема);
LOS	– Line-of-Sight (пряма видимість );
LTA	– Lane Tracing Assist (система допомоги відстеження смуги руху);
LTE	– Long-Term Evolution (тривалий розвиток);
MV	– Moving Vehicle (рухомий транспортний засіб);
NLOS	– Non-Line-of-Sight (непряма видимість);
OBU	– On-board Unit (бортовий блок);
PDB	– Packet Delay Budget (бюджет затримки пакетів);
PRR	– Packet Reception Rate (швидкість прийому пакетів);
RFID	– Radio Frequency Identification (ідентифікація радіочастот);

- RSSI – Receive Signal Strength Indicator (показник рівня прийнятого сигналу);
- RSU – Road Side Units (придорожні знаки);
- SMI – Switching and Management Infrastructure (інфраструктура комутації та управління);
- SPS – Semi-Persistent Scheduling (напівстійке планування);
- SV – Stationary Vehicle (статичний транспортний засіб);
- VRU – Vulnerable Road User (вразливий учасник дорожнього руху);

## ВСТУП

В даний час в усьому світі спостерігається зростання інтенсивності дорожнього руху. Через істотне збільшення автомобільного парку і обмежену пропускну спроможність дорожньої інфраструктури виникає велика кількість конфліктів між водіями, а інтенсивність дорожнього руху значно знижується.

Досвід великих міст світу показує, що проблему завантаженості доріг не можна вирішити одним лише будівництвом магістралей: інтенсивність руху поліпшується, але, з точки зору безпеки, можливість ДТП зростає, як і обсяги пробок. Для ефективного регулювання транспортного потоку необхідне впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС).

Інтелектуальні транспортні системи - це комплекс систем, який допомагає більш ефективно експлуатувати транспортну мережу, використовуючи інформаційні, комунікаційні та управлінські технології, вбудовані в транспортний засіб або дорожню інфраструктуру. Основою інтелектуальних транспортних систем є інформація, яку необхідно збирати, обробляти, інтегрувати і поширювати. Комплекс ІТС здатний виконувати функції диспетчерського ситуаційного та оперативного координування взаємодій всіх учасників дорожнього руху, спецслужб і відомств [1].

## 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

### 1.1 Призначення технології V2X

V2X є загальним терміном для системи зв'язку автомобіля, де інформація від датчиків та інших джерел передається по каналах з високою пропускнуою здатністю, низькою затримкою і високою надійністю, прокладаючи шлях до повністю автономного водіння. Існує кілька компонентів V2X, включаючи зв'язок "транспортний засіб – транспортний засіб" (V2V), зв'язок "транспортний засіб – інфраструктура" (V2I), зв'язок "транспортний засіб – пішохід" (V2P) і зв'язок "транспортний засіб – мережа" (V2N). У цій багатоплановій екосистемі автомобілі будуть "спілкуватися" з іншими автомобілями, з інфраструктурою, такою як світлофори або паркувальні місця, з пішоходами, які використовують смартфон, і з центрами обробки даних через стільникові мережі. Різні варіанти використання матимуть різні набори вимог, які система зв'язку повинна обробляти ефективно і з мінімальними витратами.

Пов'язані транспортні засоби та технології автономних автомобілів часто розглядаються як окремі технології, але насправді вони ортогональні одна одній. Ефективний зв'язок між цими двома технологіями посилює їх взаємодія в напрямку кращої реалізації інтелектуальної транспортної системи. Зв'язок між транспортними засобами (V2V) і між транспортними засобами та інфраструктурою (V2I) дозволяє автомобілям взаємодіяти один з одним і з апаратними пристроями інфраструктури, такими як RSU, для підтримки безлічі додатків.

Співпраця між транспортними засобами та інфраструктурою може бути поширена на додатки, наприклад, для організації спільної групи, де автомобілі обмінюються даними про свою мобільність для підтримки цілісності групи, або для системи спільного інформування про дорожній рух, де автомобілі діляться своїми запланованими маяками для побудови проєкцій руху. Аналогічним чином, автономні автомобілі можуть також взаємодіяти один з одним в інших ситуаціях. Наприклад, обмін сенсорними даними з іншими учасниками руху не тільки

допоможе їм в різних ситуаціях, таких як маневри, але також зробить водіння більш безпечним.

Співпраця між автономними автомобілями може мати і багато інших важливих переваг. Наприклад, спільна оцінка стану з обміном інформацією про траєкторії між автономними автомобілями може зробити навігацію більш ефективною і плавною, а також допомогти автономним автомобілям в разі відмови однієї з їх підсистем. Інші застосування кооперативного зв'язку між Інформаційними автономними автомобілями включають кооперативну локалізацію за допомогою оптимізованої конфігурації датчиків і координації руху [5].

Початковий стандарт V2X заснований на відгалуженні Wi-Fi, IEEE 802.11p (частина програми IEEE WAVE або Wireless Access for Automotive Environment), що працює в неліцензованих діапазонах частот 5,9 ГГц. Стандарт IEEE 802.11p, який був завершений в 2012 році, підкріплює виділений зв'язок на коротких відстанях (DSRC) в США і ITS-G5 в рамках ініціативи європейських кооперативних інтелектуальних транспортних систем (C-ITS). Зв'язок V2X через 802.11p виходить за рамки датчиків з обмеженням прямої видимості, таких як камери, радар і LIDAR, і охоплює випадки використання V2V і V2I, такі як попередження про зіткнення, оповіщення про обмеження швидкості, а також електронна парковка і плата за проїзд. Функціональні характеристики стандарту 802.11p включають малу дальність (менше 1 км), низьку затримку (~ 2 мс) і високу надійність, він "працює в умовах високої швидкості пересування транспортних засобів і забезпечує стійкість до екстремальних погодних умов (наприклад, дощ, туман, сніг і т. д.)". По суті, 802.11p розширює можливості транспортного засобу "бачити" навколишнє середовище навіть в несприятливу погоду. IEEE 802.11p не залежить від наявності покриття стільникової мережі і рішень бортових пристроїв (OBU) і придорожніх блоків (RSU).

Перспективною альтернативою IEEE 802.11p є C-V2X або Cellular V2X, основними прихильниками якого є 5G Automotive Association і виробник

мікросхем Qualcomm. Основною перевагою C-V2X є те, що він має два режими роботи, які між ними покривають більшість можливих ситуацій.

Перший - це прямий зв'язок C-V2X з малою затримкою по інтерфейсу PC5 в неліцензованих діапазонах 5,9 ГГц, призначена для активних повідомлень про безпеку, таких як негайні попередження про небезпеку на дорогах і інші ситуації ближнього V2V, V2I і V2P. Цей режим тісно пов'язаний з тим, що пропонує існуюча технологія IEEE 802.11p, яка також використовує смугу 5,9 ГГц.

Другий режим - це зв'язок через інтерфейс Uu у звичайній мережі з ліцензованою смугою, і він може обробляти випадки використання V2N, такі як інформаційні розваги і толерантні до затримки повідомлення про безпеку, що стосуються небезпек на дорогах більш далекого радіусу дії або умов руху. Оскільки він не використовує стільниковий зв'язок, IEEE 802.11p може відповідати цьому режиму тільки шляхом створення спеціальних з'єднань з придорожніми базовими станціями.

## **1.2 Особливості технологій V2X**

За прогнозом "V2X Market for Automotive by Communication Type (V2C, V2D, V2G, V2P, V2V, V2I, V2M and V2N), Offering Type (Hardware and Software), Connectivity Type (DSRC and Cellular), Propulsion Type (ICE and EV), Technology Type, and Region – Global Forecast to 2025" наданим Marketsand Markets (міжнародна дослідницька компанія, проводить кількісні дослідження в області B2B) ринок технологій V2X для використання в автомобільній промисловості досягне 99.55 млрд. доларів вже до 2025 року.

Очікується що на ринку CARG (Compound annual growth rate – сукупний середньорічний темп зростання) доходів з сервісів технології V2X виросте на 17.61% в період с 2017 до 2025, досягнувши зростання розмірів ринку з 27.19 млрд. доларів. У 2017 році до 99.55 млрд. доларів в 2025 [2].

На даний момент на ринку розрізняють два сегменти: програмне і апаратне забезпечення. У 2017 році ринок програмного забезпечення домінував на ринку через зростаючий попит на доступ і контроль над платформою і сервісами технології V2X.

У зв'язку із зростанням попиту на технологію V2X, автомобільні OEM виробники нарощують обсяги застосування технологій V2X в своїх автомобілях.

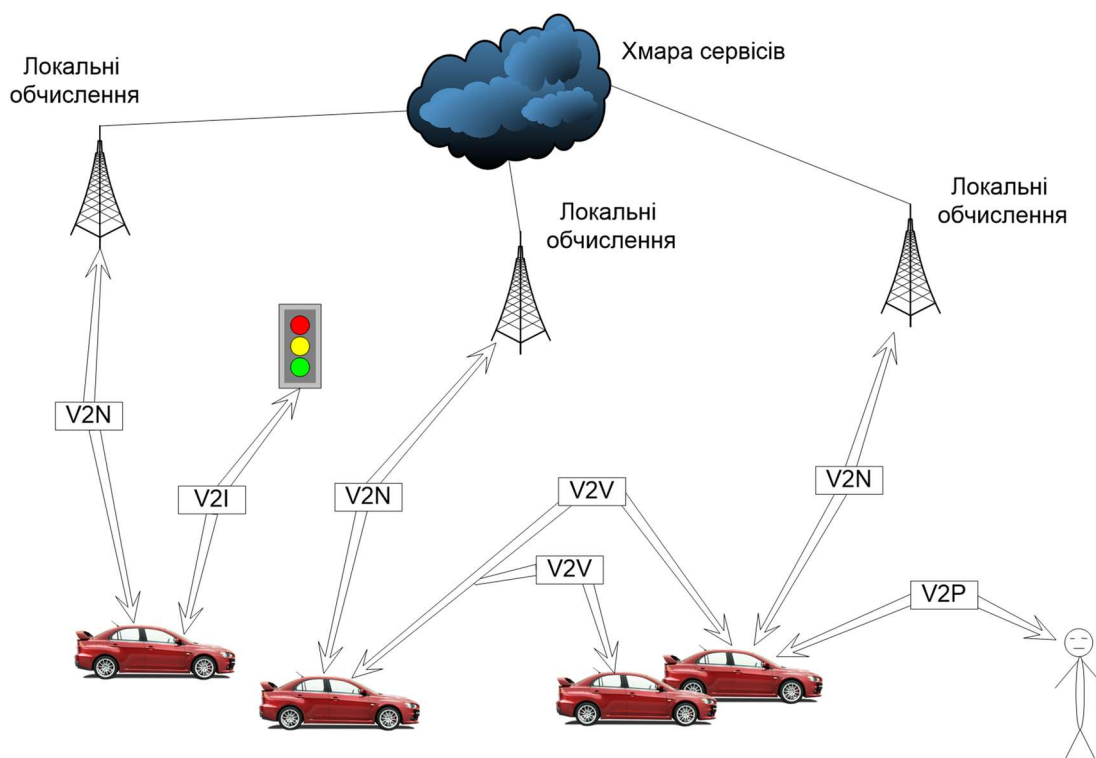


Рисунок 1.1 – Схема комунікації у технології V2X

Так Toyota і Lexus працюють разом, щоб оснастити свої автомобілі сервісами технології V2X, і до 2021 року вони планують розгорнути зв'язок V2I і V2V за допомогою технології Dedicated Short-Range Communications (DSRC/ITS-G5), що працює на частоті 5.9 ГГц.

З іншого боку, більш ста компаній, провідних OEM автовиробників і виробників телекомунікаційного обладнання, об'єдналися в асоціацію 5GAA, з метою консолідації підходів до реалізації сервісів технології V2X. Компанії, що входять в асоціацію, пропонують розгорнути мережі V2X з використанням стільникових технологій, а саме: 3-V2X (5.9 ГГц), 4G/5G (частота регулюється ліцензією стільникового оператора).

Однак відсутність інфраструктури в країнах, що розвиваються і висока вартість транспортних засобів, оснащених V2X, – є обмеженнями в розвитку автомобільного ринку сервісів технології V2X.

Основні провідні гравці на світовому автомобільному ринку технології V2X: BMW, Audi AG, Continental AG (Germany), Qualcomm Inc. (U.S.), Infineon Technologies AG (Germany), Delphi Automotive PLC (U.K.), Cisco Systems, Inc. (U.S), Intel Corporation, Vodafone Group PLC., Robert Bosch GmbH, PTC Inc., General Motors., Harman International Industries, Inc.

Таблиця 1.1 – Сегментація ринку V2X

Класифікація	Сегмент
За типом взаємодії	Автомобіль – Автомобіль (V2V)
	Автомобіль – Інфраструктура (V2I)
	Автомобіль – пішохід (V2P)
	Автомобіль – стільникова мережа (V2N)
	Автомобіль – Мотоцикл (V2M) [3]
	Автомобіль – Пристрій (V2D)
	Автомобіль – сітка (V2G) [4]
	Автомобіль – хмара (V2C)
За реалізацією в частині функціонування	Апаратна реалізація
	Програмне забезпечення
За технологією зв'язку	DSRC/ITS-G5
	C-V2X,4G,5G
За типом сервісу	Допомога водію
	Інтелектуальні транспортні системи
	Критичні сервіси
	Інформаційні сервіси для пасажирів
	Управління групою транспортних засобів
	Система управління паркування
	Підтримка ADAS систем
	Інше
За типом двигуна транспортного засобу	Двигун внутрішнього згорання
	Електротранспорт
За географічною ознакою	Північна Америка, Європа, Азіатсько-Тихоокеанський регіон, решта світу.

Очікується що ініціативи, які проводяться урядами різних країн в частині комерціалізації ринку V2X будуть стимулювати ринок.

### 1.2.1 Особливості технології V2V

Зв'язок транспортного засобу з транспортним засобом ("Vehicle-to-Vehicle" або "V2V") – це технологічна інновація. Він дозволяє двом транспортним засобам "спілкуватися" один з одним. За допомогою цієї технології транспортний засіб може з'єднуватися з іншими сусідніми транспортними засобами. Отже, основною метою розробки технології V2V є підвищення безпеки дорожнього руху та зменшення кількості ДТП.

Відомо, що більшість дорожньо-транспортних пригод трапляються, оскільки водій одного транспортного засобу не чітко розуміє дії водія іншого транспортного засобу. Отже, терміново водій першого транспортного засобу не вживає дій, які доповнюють дії, здійснені водієм другого транспортного засобу.

Але можливо уникнути аварій, якщо перший транспортний засіб здатний чітко повідомляти про свої дії другому транспортному засобу. Для досягнення цієї мети автомобільні інженери розробили систему зв'язку V2V.

Для роботи будь-якої системи зв'язку "V2V", є два важливі фактори:

- транспортний засіб, що здійснює зв'язок;
- придорожня інфраструктура, з якою здійснюється зв'язок.

Зв'язок відбувається за допомогою пристроїв безпроводового зв'язку DSRC. Приблизний діапазон цих пристроїв становить 1000 метрів. Пристрої DSRC взаємодіють не тільки з іншими транспортними засобами, але і з дорожньою інфраструктурою. Він включає дорожні сигнали або інформативні вузли, встановлені на узбіччі дороги.

Крім того, коли транспортні засоби, оснащені V2V-зв'язком, потрапляють в зону з'єднання один одного, вони обмінюються інформацією. Вона включає положення, швидкість, напрямок руху. Він також інформує про введення рульового управління, подані водієм, та раптові зміни умов руху, таких як гальмування або зміна смуги руху [6].

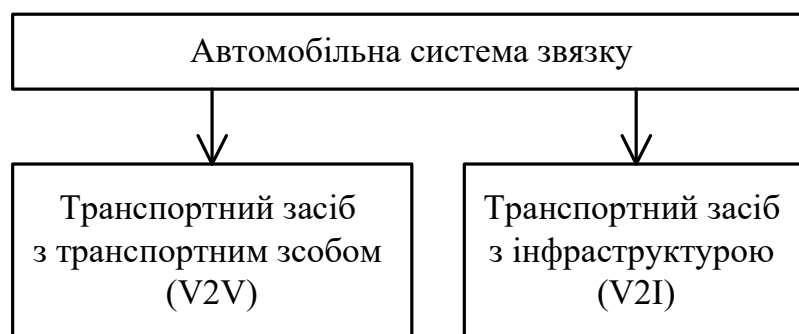


Рисунок 1.2 – Складові автомобільної системи зв'язку

З іншого боку, коли такий транспортний засіб з'єднується з дорожньою інфраструктурою, відбувається обмін такою інформацією: інформація про дорожню сигналізацію, стан погоди та стан руху поблизу. Інженери назвали такий зв'язок "зв'язок між транспортними засобами та інфраструктурою" (V2I).

Майбутнє V2V систем:

В даний час триває розробка першого покоління систем V2V. Обмеження їх функціонування полягає лише у попередженні водія. Однак ці системи не можуть вжити жодних коригувальних дій щодо сигналу, поданого водієм.

Крім того, друге покоління V2V систем зможе взяти під контроль транспортний засіб, що знаходиться в небезпеці та забезпечити коригувальні дії. Отже, ці системи в кінцевому підсумку злиються з технологією автономного водіння.

Переваги V2V:

- більш безпечний рух по дорогах;
- зменшення дорожніх заторів;
- допомагає впорядкуванню потоку транспортних засобів на дорозі.

Обмеження V2V:

1. Загроза втручання в систему зломисників. Оскільки це ІТ-залежна система, вона вразлива до хакерських атак. У ситуації зламу системи хакер може

змінити інформацію, що транспортний засіб отримує ззовні. Тим самим спричинивши катастрофу.

2. Додаткові витрати. Орієнтовна вартість встановлення системи зв'язку V2V у транспортному засобі може становити від 2000 до 20 000 доларів США залежно від моделі транспортного засобу та складності системи.

3. Крім того, смуга частот, відведена для цієї системи, не може одночасно підтримувати велику кількість транспортних засобів.

### **1.2.2 Особливості технології V2I**

Технологія V2I – це комунікаційна система, яка дозволяє декільком транспортним засобам обмінюватися інформацією з різними пристроями, що підтримують дорожню систему певної країни. Ці пристрої складаються з пристроїв зчитування RFID, вивісок, камер, виробників смуг руху, вуличного освітлення та автоматів для паркування. Технологія V2I, увімкнена мережею апаратних засобів, програмного забезпечення та мікропрограми, зазвичай є безпроводовою та двонаправленою: інформація від інфраструктурних пристроїв легко передається до автомобіля через спеціальну мережу та навпаки. Подібно до технології транспортного засобу (V2V), V2I використовує виділені частоти зв'язку короткого діапазону (DSRC) при передаванні даних.

Датчики V2I використовуються в інтелектуальній транспортній системі (ІТС) для збору даних та надання учасникам дорожнього руху в режимі реального часу повідомлень про різні інциденти на дорозі: затори на дорогах, будівельні майданчики, дорожні умови, зон для стоянки та ін. Ця технологія застосовується в системах нагляду за керуванням дорожнім рухом для встановлення обмежень швидкості та покращення економії палива, а також потоку руху.

Функціональна архітектура системи V2I базується на певних вимогах до продуктивності. Існує безліч елементів, на яких побудована система V2I. Є два основні компоненти: компонент інфраструктурного додатка, який розміщений на платформі інфраструктурної програми, та компонент транспортного засобу, який

розміщений на платформі транспортного додатка. Ці компоненти інтегрують та обробляють як інфраструктуру, так і дані автомобіля, щоб доставити узгоджене повідомлення водіям. Дані передаються через безпроводовий інтерфейс передавання даних.

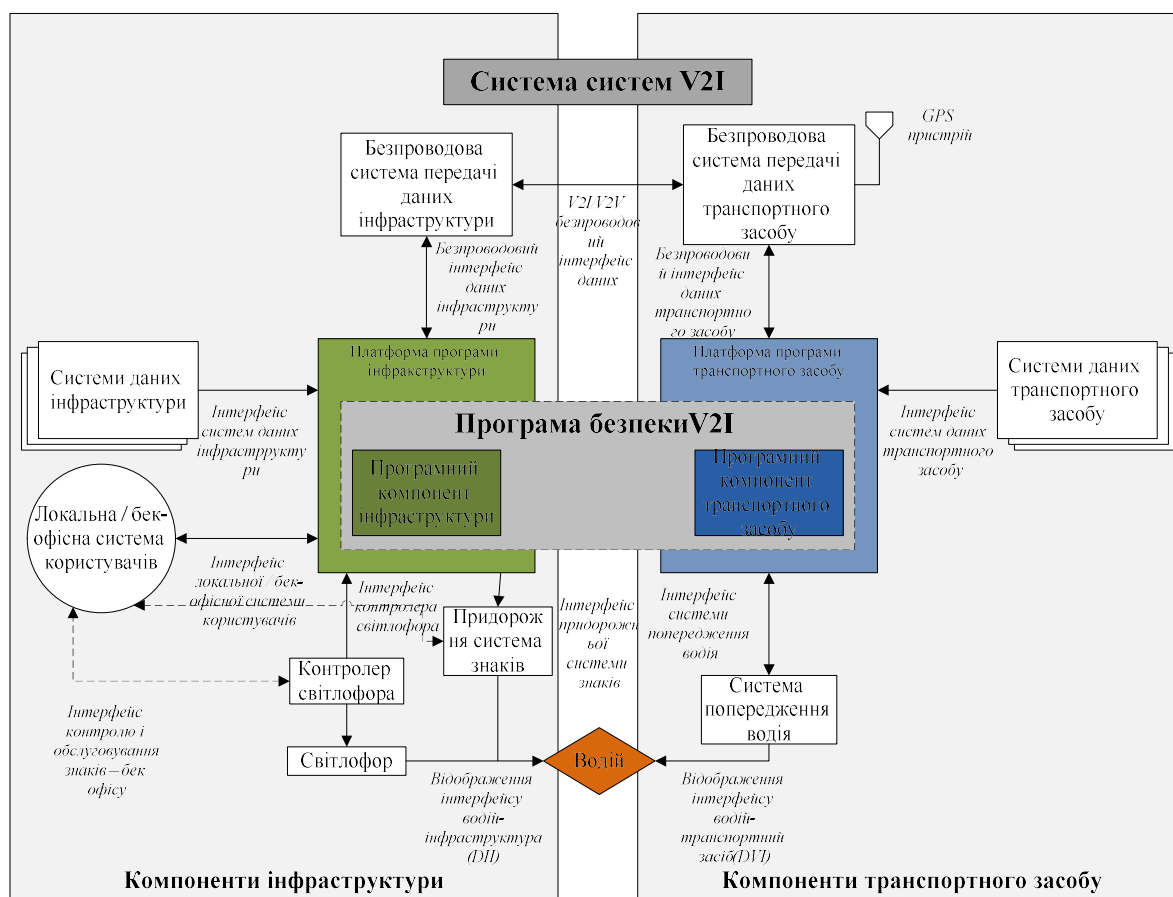


Рисунок 1.3 – Архітектура системи V2I

Платформа програми інфраструктури пропонує допоміжний інтерфейс для обміну даними з різними системами даних, локальними системами користувачів, контролерами світлофорів та придорожніми системами знаків. Компонент програми інфраструктури передає попередження за допомогою динамічних знаків-повідомлень, що видно під час наближення до транспортних засобів. З іншого боку, платформа для застосування автомобіля пропонує інтерфейс підтримки для збору інформації з різних систем попередження автомобіля та водія через дисплей інтерфейсу водій-транспортний засіб. Повідомлення ретранслятора компонента транспортного засобу через інтерфейс попередження водія, що є специфічним для автомобіля або подібним до повідомлень, що

відображаються статичними придорожніми знаками. Застосування систем безпеки V2I координує показ водіїв як в салоні автомобіля, так і на дорозі. Повідомлення про транспортні засоби призначені для водіїв і є більш безпечними, ніж придорожні знаки. Перший не повинен конфліктувати з другим.

Більший акцент на застосуванні V2I робиться на SPaT (Signal phase and timing). Програми SPaT зосереджуються на можливості технології V2I координувати швидкість руху транспортного засобу та схеми світлофора для оптимізації економії палива та швидкості руху транспортного засобу. У цього додатка є кілька переваг: шляхом інтеграції інформації з різних транспортних засобів, схеми SPaT оптимізовані для забезпечення оптимального руху транспортних засобів на автомагістралях. Крім того, економія палива автомобіля максимізується за рахунок мінімізації витрати палива під час набирання і падіння швидкості [7].

### **1.2.3 Особливості технології V2P**

Пішоходів, велосипедистів та водіїв мотоциклів називають вразливими учасниками дорожнього руху (VRU). Групи ВРУ мають різні рівні смертності серед різних країн. У рамках ІТС було здійснено численні досягнення щодо покращення характеристик безпеки транспортних засобів. Ці функції допомагають покращити безпеку пасажирів автомобіля, а також VRU. Увімкнувши V2P для VRU, вони можуть стати активною частиною ІТС і можуть увімкнути різні ІТС-програми для безпеки та зручності.

VRU відрізняються за своїми характеристиками, такими як швидкість, мобільність, схема руху. Наприклад, пішоходи йдуть повільно порівняно з велосипедистами та водіями мотоциклів. Іншим прикладом є те, що мотоцикли повинні зупинитися на перехресті під час червоного світла, але пішоходи можуть переходити дорогу в той самий час. Розробники систем V2P повинні враховувати різні характеристики для проектування ефективної системи V2P. Характеристики можуть бути переведені у відповідні проектні вимоги до системи V2P. Тоді чітко

визначені вимоги можуть допомогти вирішити різні проблеми інтеграції VRU. Вимоги можуть підпадати під різні категорії, наприклад, тип VRU, сценарій перед збоєм.

Типова система запобігання аваріям V2P передбачає періодичний обмін повідомленнями про безпеку між транспортними засобами та VRU. Це спілкування може відбуватися або безпосередньо за допомогою спеціальних комунікаційних технологій, таких як IEEE 802.11p, або опосередковано за допомогою інфраструктурних комунікацій, таких як стільникові технології. Також система V2P виконує свою роботу в три фази: виявлення, відстеження та прогнозування траєкторії та дії [8]. Ці елементи призвели до різної архітектури систем V2P.

Системи V2P можна розділити на такі компоненти:

- автомобільний пристрій;
- VRU-пристрій;
- інфраструктура;
- блок обробки інформації.

Якщо система V2P покладається на прямий зв'язок, то система складається лише з двох компонентів, а саме, пристрою транспортного засобу та пристрою VRU. Ці два компоненти відповідають за перенесення всіх трьох фаз системи V2P. Однак, якщо система V2P покладається на непрямий зв'язок (тобто через інфраструктуру), то блок обробки інформації відповідає за проведення фаз виявлення, відстеження та прогнозування траєкторії. Він визначає можливість аварії на основі прогнозу траєкторії. Потім він повідомляє за допомогою Інфраструктури пристрій Автомобіля та пристрій VRU про необхідні дії, якщо це потрібно.

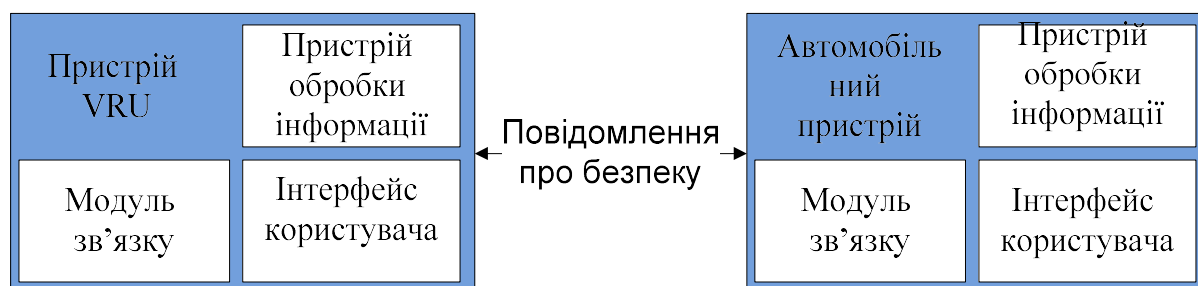


Рисунок 1.4 – Архітектура прямого зв'язку V2P

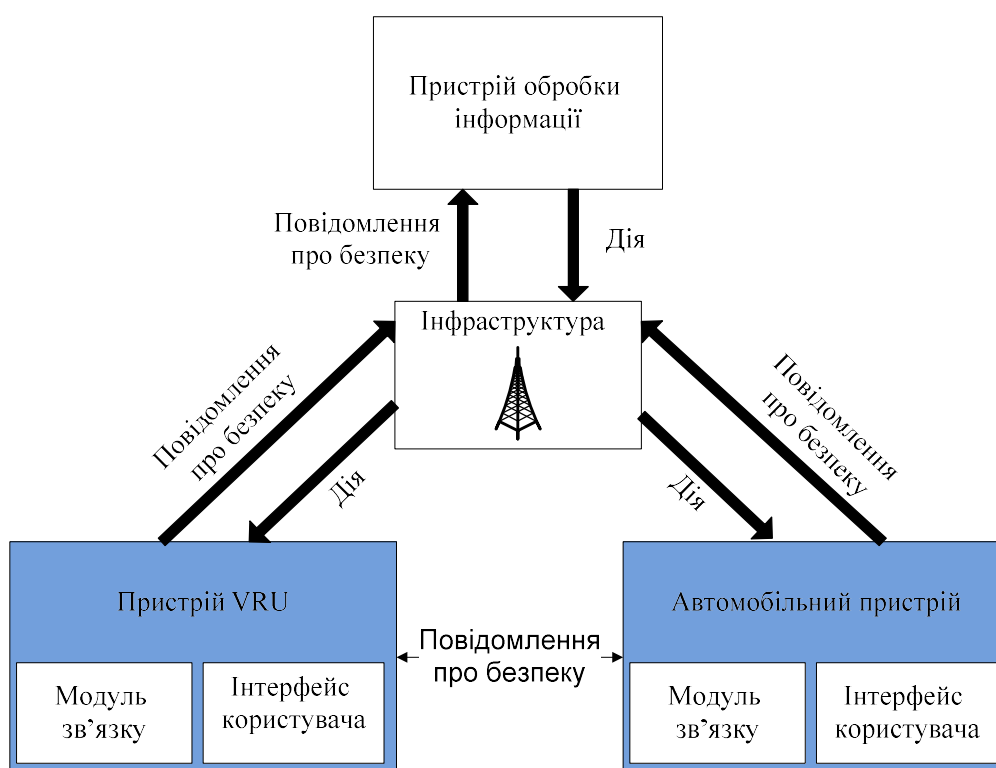


Рисунок 1.5 – Архітектура непрямого зв'язку V2P

Типове повідомлення про безпеку може містити інформацію про швидкість, місце розташування та напрямок руху відповідного транспортного засобу або VRU. Потім ця інформація може використовуватися для етапів виявлення, відстеження та прогнозування траєкторії одержувачами повідомлення про безпеку. Транспортні засоби можуть передавати 10 повідомлень про безпеку в секунду (тобто на фіксованій частоті 10 Гц). VRU можуть передавати

повідомлення про безпеку з різною частотою. Ця частота може залежати від різних параметрів, таких як їх місцезнаходження та швидкість.

Групи VRU, тобто пішоходи, велосипедисти та водії мотоциклів, відрізняються за своїми характеристиками та сценаріями перед аварією.

Типова швидкість ходи пішоходів становить 1,4 м/с (5 км/год). Пішоходи можуть ходити поодиноці або групами з різною кількістю людей. Швидкість ходи пішоходів може змінюватися залежно від віку та фізичних можливостей. На основі фізичних характеристик пішоходів їх можна класифікувати на наступні групи:

1. Дорослі – ця група дотримується типових характеристик пішоходів, таких як швидкість та траєкторія.
2. Люди похилого та фізичного розвитку; ця група може демонструвати такі характеристики, як повільна хода, і може використовувати деякі аксесуари для допомоги (наприклад, палиця, інвалідне крісло або собака-поводир).

Було зроблено багато зусиль для дослідження та проектування систем запобігання аваріям V2P для згаданих пішохідних груп ці зусилля використовують різні підходи для досягнення своєї мети у системі V2P.

#### **1.2.4 Особливості технології V2N**

Транспортний засіб до мережі (V2N) дозволяє здійснювати як трансляцію, так і одноадресний зв'язок між транспортними засобами і системою управління V2X з доступом до хмари.

V2N забезпечує мережеве підключення до транспортного засобу, яке може дістатися до транспортного засобу на декількох частотах. Ця взаємодія може надати корисну інформацію, таку як перекриття дороги для технічного обслуговування та хмарні сервіси, які покращують досвід роботи, а також виступають як точка доступу для підключення до Інтернету [11].

Зв'язок "транспортний засіб до мережі" спрямований на передачу інформації між транспортними засобами та системою управління. Цей процес

став можливим завдяки високошвидкісній пропускній здатності, низькій затримці та надійності мережевої інфраструктури. Автомобілі можуть отримувати оповіщення про затори на дорогах або аварії далі по дорозі, щоб прокласти шлях для автономного водіння [9].

Мета даної системи – покращити безпеку дорожнього руху, надаючи вказівки щодо оновлень на дорогах, які надсилаються в режимі реального часу, покращуючи зв'язок між транспортними засобами.

Зв'язок "транспортний засіб до мережі" інтегрують транспортні засоби з центрами обробки даних для забезпечення стабільного доступу та послідовного зв'язку. Автомобіль може отримувати безперебійні сповіщення про дорожній рух та дорожні оновлення, підключені до стільникових мереж із великою затримкою та хмари. Наприклад, популярні мобільні програми, такі як Google Maps та Waze, отримують інформацію про дорожній рух у режимі реального часу, щоб допомогти водіям у їх подорожі.

V2N схожий на інші форми технології V2X тим, що він з'єднує транспортний засіб з його оточенням, але ідея V2N є більш експансивною. Автомобіль до мережі підключає транспортний засіб до центрів обробки даних, дорожньої інфраструктури та інших автомобілів. Це фактично перетворює інших водіїв на дорожніх розвідників, тому, якщо у навігаційної системи виникають проблеми з точністю або зміною доріг, автомобіль, підключений до V2N, може спілкуватися з іншими транспортними засобами для оновлення та вдосконалення вказівок за місцем знаходження інших водіїв [12].

Завдяки комунікації транспортних засобів з мережею (V2N), транспортні засоби можуть використовувати стільникові мережі для зв'язку з системою управління V2X. V2N також використовує виділений стандарт зв'язку короткого радіусу дії (DSRC) для взаємодії з іншими транспортними засобами, а також дорожньою інфраструктурою. Цей рівень підключення дозволяє розглядати транспортні засоби як "пристрої", як і смартфони, планшети та носимі пристрої. Доступ до операторів мобільних мереж LTE, інфраструктури 5G та систем DSRC дозволяють транспортним засобам:

1. Отримувати сповіщення про трансляцію щодо дорожніх умов (аварії, затори, погода тощо), також відомі як транспортні засоби до інфраструктури ( V2I) прямий зв'язок.
2. Зв'язок із сусідніми транспортними засобами (через стільникову мережу та DSRC), також відомий як прямий зв'язок між транспортними засобами (V2V).
3. Зв'язок із центрами обробки даних та іншими пристроями, під'єднаними до Інтернету (транспортний засіб до хмарного зв'язку)
4. Налаштувати зв'язок з пристроями пішоходів (транспортний засіб до пішохідного зв'язку)

З використанням LTE, 5G та DSRC (що вважається еволюцією ексклюзивного Wi-Fi для транспортних засобів), V2N дозволяє транспортним засобам надійно взаємодіяти з інфраструктурою, іншими транспортними засобами, іншими пристроями та навіть пішоходами.

Оптимізація потоку руху V2N фокусується на керуванні швидкістю транспортного засобу для плавної їзди та уникненні непотрібної зупинки, коли транспортний засіб наближається до перехрестя. Сюди входить ситуація, коли транспортний засіб повинен уповільнитись, оскільки є явні сигнали світлофора, або має зупинитися. Залежно від умов дорожнього руху, світлофори можна адаптувати для зменшення заторів на перехрестях [13].

Зв'язок V2N відбувається між транспортним засобом та сервером додатків V2X. V2N може включати зв'язок між транспортним засобом та сервером через мережу 4G / 5G, наприклад, для здійснення трафіку. Транспортні та мережеві протоколи TCP / IP зазвичай використовуються для V2I та комунікацій V2N. Насправді саме існування V2N у комбінації з V2I та V2V дозволяє додатковим учасникам включити потенційне використання існуючих стільникових систем V2N у тандемі з повідомленнями бічних зв'язків LTE V2X (V2V, V2I) або короткого діапазону висхідної та низхідної ліній V2I.

Дорожній оператор може додатково використовувати спектр, що належить операторам мобільного зв'язку, для надання обміну даними V2N, надаючи

послуги управління трафіком на основі локальних або агрегованих повідомлень V2V та V2I.

Зв'язок транспортного засобу з мережею V2N буде основою підключених транспортних засобів майбутнього. Однією ключовою вимогою підключених транспортних засобів є майже загальне покриття вулиць.

У звичайних методах планування радіомереж використовується растровий формат, де всі пікселі в 2D або 3D оцінній області беруться до уваги під час обчислення показників продуктивності мережі. Однак такий підхід не підходить для програми V2N, де користувачі транспортних засобів рухаються майже одновимірною дорожньою мережею [15].

Системи V2N здійснюють з'єднання автомобіля з мережею, в чому є ряд переваг. Для цього стільникові мережі стають дедалі популярнішими. Як тільки 4G і 5G будуть розповсюджені по всій планеті, мобільний зв'язок стане засобом вибору для V2N. Висока пропускна здатність даних дуже бажана завдяки швидкості руху автомобілів (принаймні 4G (LTE)). Мешканці також підключені до мережі через V2N, як і на домашньому ПК, але всі технічні системи автомобіля також підключені до мережі. Майстерня може проводити системну діагностику під час руху. Будь-які пробки повідомляються в режимі реального часу. Звичайно, V2N також дає можливість збільшити показник комфорту – користувачі можуть переглядати відео YouTube або перевіряти свої електронні листи [16].

### **1.3 Технології зв'язку що використовуються в системах V2X**

За останні десятиліття безпроводовий зв'язок перетворився із служби голосових дзвінків із комутацією каналів на глобальну мережу зв'язку. Автомобільна техніка вже не просто додаток для сервісу. Однією з опор сучасного суспільства є мобільність. Перевезення вантажів та пасажирів є важливим для процвітаючої економіки. Зростання достатку в багатьох країнах, що розвиваються, а також у індустріальних країнах стає очевидним завдяки збільшенню індивідуальної мобільності.

Підвищення ефективності транспортної системи завдяки традиційному дорожньому будівництву часто досягає своїх меж з точки зору споживання землі та відсутності прийняття громадськістю. Інженери та вчені шукають процеси та технології для покращення потоку руху завдяки вдосконаленому управлінню трафіком. Очікується, що створена інтелектуальна транспортна система (ITS) ITS-G5 дозволить уникнути заторів та підвищити загальну ефективність руху.

Кооперативна транспортна система ITS (C-ITS) дозволяє всім учасникам дорожнього руху, включаючи пішоходів, спілкуватися та співпрацювати між собою, а також обіцяє підвищити ефективність та зменшити кількість смертельних випадків на дорогах та серйозних травм. Зменшення дорожньо-транспортних пригод – головна мета урядових установ по всьому світу.

DSRC був розроблений для максимальної кібербезпеки. Транспортний засіб, що приймає, підтверджує достовірність отриманих повідомлень. Повідомлення не пов'язані з транспортним засобом, не викривають особистість водія і, отже, не порушують конфіденційність водія.

Але DSRC можна використовувати і для багатьох інших програм, окрім запобігання зіткненням. Наприклад, DSRC можна використовувати для допомоги навігації, здійснення електронних платежів (наприклад, плата за проїзд, паркування, паливо), підвищення ефективності використання палива, збору зондів руху та розповсюдження трафіку оновлення. Його також можна використовувати для більш загальних розважальних та комерційних цілей.

Стільниковий V2X (C-V2X) – це стандарт 3GPP, що описує технологію досягнення вимог V2X. C-V2X є альтернативою стандарту 802.11p, стандартом IEEE для V2V та інших форм зв'язку V2X. Стільниковий V2X використовує стандартизований 3GPP мобільний стільниковий зв'язок 4G (LTE) або 5G для передавання та отримання сигналів від транспортного засобу до інших транспортних засобів, пішоходів або до нерухомих об'єктів, таких як світлофори в його оточенні.

З впровадженням 3GPP випуску 14 прямого зв'язку для транспортних засобів, тепер існує дві радіотехнології, що підтримують прямий зв'язок із акцентом на транспортний зв'язок: 3GPP LTE-V2X та IEEE802.11p. Досі не існує єдиної думки щодо того, яку технологію слід застосовувати, і чи буде якась перевага у всіх. Кілька урядів та компаній обирають LTE-V2X як основну технологію радіодоступу для національної діяльності та нормативних актів, що стосуються автомобільного зв'язку. Ці національні заходи вибрали прямий зв'язок LTE-V2X як технологію радіодоступу, але обговорюються різні рівні протоколів залежно від географічних регіонів / країн.

Виробники автомобілів, постачальники першого рівня, оператори мобільного зв'язку, постачальники випробувального обладнання, постачальники телекомунікаційних послуг, постачальники сигналів дорожнього руху, дорожні оператори та муніципалітети тісно співпрацюють для прискорення розвитку та комерціалізації технологій C-V2X.

### **Висновки до розділу**

З проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

1. C-V2X дозволяє використовувати зв'язок V2N завдяки двом режимам роботи.

2. Основні проблеми впровадження технології V2X – відсутність інфраструктури в країнах, що розвиваються і висока вартість транспортних засобів, оснащених V2X, – є обмеженнями в розвитку автомобільного ринку сервісів технології V2X.

3. Коли транспортний засіб, що підтримує технологію V2X з'єднується з дорожньою інфраструктурою, відбувається обмін інформацією, що дозволяє підвищити безпеку руху.

4. Система V2P виконує свою роботу в три фази: виявлення, відстеження та прогнозування траєкторії та дії. Типове повідомлення про безпеку може містити інформацію про швидкість, місце розташування та напрямок руху відповідного

транспортного засобу або VRU. Потім ця інформація може використовуватися для етапів виявлення, відстеження та прогнозування траєкторії одержувачами повідомлення про безпеку. Транспортні засоби можуть передавати 10 повідомлень про безпеку в секунду.

5. Зв'язок V2N відбувається між транспортним засобом та сервером додатків V2X. V2N може включати зв'язок між транспортним засобом та сервером через мережу 4G / 5G, що дозволяє забезпечити високу швидкість обміном інформації між транспортними засобами та інфраструктурою міста.

## 2 ТЕХНОЛОГІЇ ЗВ'ЯЗКУ ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ В СИСТЕМАХ V2X

### 2.1 Технологія DSRC/ITS-G5 (стандарт IEEE 802)

DSRC (Dedicated Short-Range Communications) – це технологія безпроводового зв'язку, що дозволяє транспортним засобам спілкуватися між собою та іншими учасниками дорожнього руху безпосередньо, не залучаючи стільникову чи іншу інфраструктуру. Кожен транспортний засіб відправляє 10 разів на секунду своє місце розташування, напрямок руху та швидкість у безпечній та анонімній формі. Усі оточуючі транспортні засоби отримують повідомлення, і кожен оцінює ризик, який накладає транспортний засіб. Ризики визначаються як "програми безпеки", такі як допомога в повороті ліворуч (LTA), допомога в русі при перетині (IMA) та багато інших. Це дозволяє сприймати, виявляти та оцінювати небезпечні ситуації (дорожні перешкоди та потенційні зіткнення з учасниками дорожнього руху) ще до того, як їх можна буде помітити візуально [18].

DSRC працює в діапазоні 5,9 ГГц забезпечуючи прямий обмін інформацією з низькою затримкою між транспортними засобами та інфраструктурою. У 2004 році FCC виділив смугу пропускання 75 МГц для технології DSRC в діапазоні 5,9 ГГц.

DSRC забезпечує надзвичайно захищений канал зв'язку. Транспортний засіб, що приймає, підтверджує достовірність отриманих повідомлень, і повідомлення не пов'язані з транспортним засобом, таким чином захищаючи конфіденційність водія.

DSRC має два режими роботи:

- автомобіль до транспортного засобу (V2V).
- автомобіль до інфраструктури (V2I).

DSRC може забезпечити високошвидкісний зв'язок навіть за наявності перешкод і навіть може впоратися зі швидкозмінним середовищем зі швидкістю

до 500 км/год. Він оптимізований для "огляду за поворотами" (нелінійний приціл) та роботи в екстремальних погодних умовах.

Основна парадигма запобігання зіткненням на основі DSRC проілюстрована на рис. 2.1. Кожен оснащений DSRC транспортний засіб передає свою основну 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 (від сусідів, обладнаних DSRC)

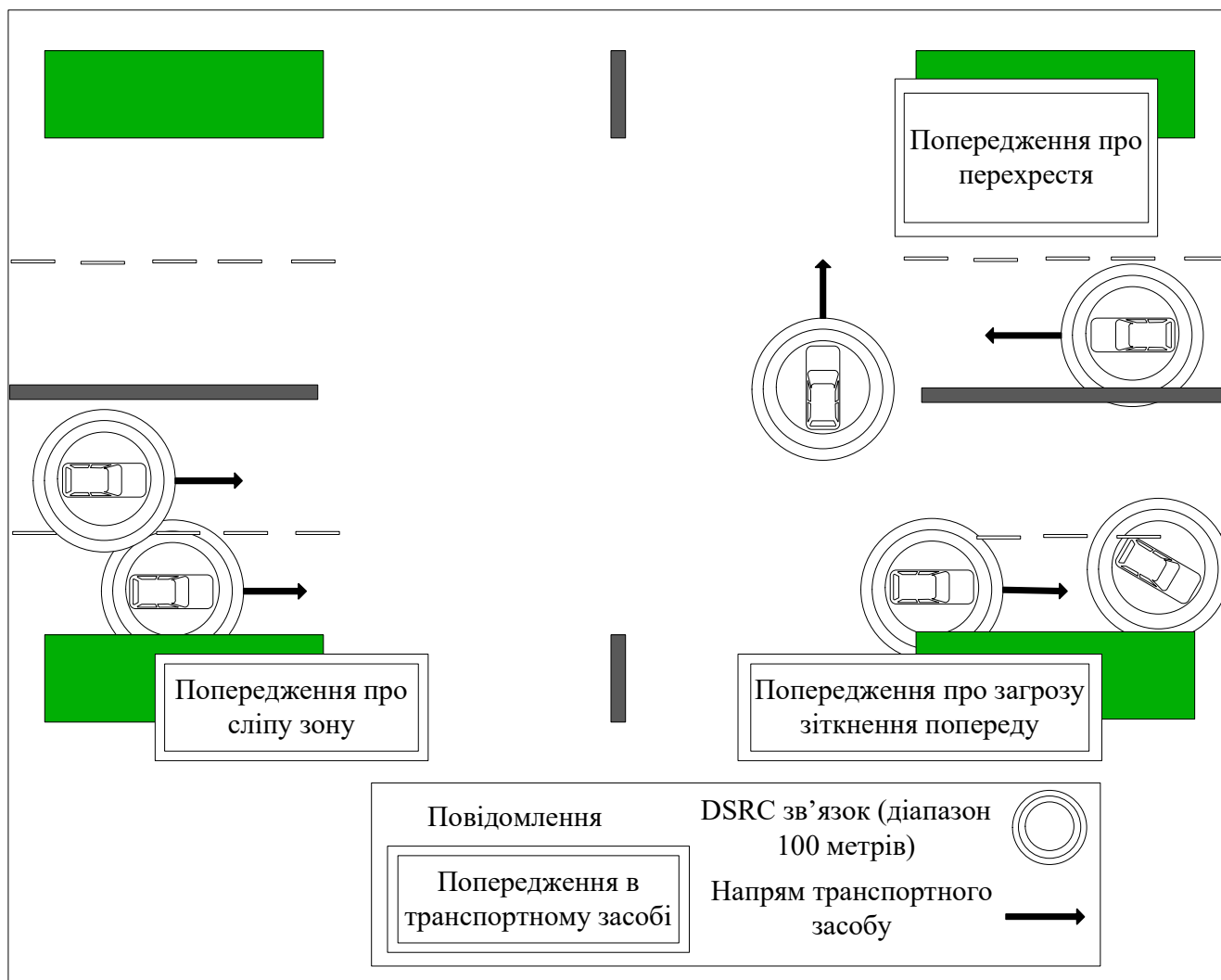


Рисунок 2.1 – Транспортні засоби, що надсилають повідомлення про безпеку, а також відображають попередження водієві

Транспортний засіб, що отримує повідомлення, використовує їх для обчислення траєкторії руху кожного сусіда, порівнює їх із власним передбачуваним шляхом та визначає, чи не загрожує зіткненням хтось із сусідів.

На додаток до зв'язку V2V, транспортні засоби можуть також здійснювати зв'язок із придорожніми блоками (RSU) DSRC, використовуючи повідомлення про безпеку та інші типи повідомлень. Приклади інформації, яку транспортний засіб може дізнатись у RSU, включають:

- геометрію найближчого перехрестя;
- стан сигналів на перехресті;
- наявність небезпеки (наприклад, транспортний засіб з водієм з інвалідністю, аварійний автомобіль, ожеледиця, туман).

Якщо транспортний засіб визначить, що існує потенційне зіткнення або інша небезпека (наприклад, порушення червоного світла), бортова система може вжити заходів, щоб попередити водія або навіть допомогти в керуванні транспортним засобом. Зворотній зв'язок з водієм може передаватися на слух, візуально (наприклад, дисплей на лобовому склі, екран панелі приладів, дзеркальний сигнал) або ж, наприклад, може передаватися через тряску сидіння або керма і може коливатися в інтенсивності від інформування до застереження до попередження. Хоча зв'язок між пристроями DSRC повинен відповідати ретельно розробленим стандартам сумісності, внутрішні обчислення загрози та система попередження, що застосовуються транспортним засобом, визначається виробниками автомобілів.

Комунікаційні технології є основою інтелектуальних транспортних систем. DSRC та ITS-G5 містять радіотехнологію, засновану на IEEE 802.11p, що дозволяє безпосередньо спілкуватись між собою в поєднанні з протоколами прикладного рівня.

Різниця полягає в тому, що DSRC керується США, тоді як ITS-G5 є європейською ініціативою. Починаючи з версії 3GPP 14, рівень додатків

DSRC/ITS-G5 також може використовувати стільникову пряму технологію радіозв'язку, таку як LTE-V2X.

Технологія ITS-G5 використовує вже існуючі стандарти зв'язку. Рівень каналу передавання даних розділений на два підрівні:

- контроль доступу до середовища;
- управління логічним каналом.

Фізичний рівень та рівень контролю доступу до середовища охоплюються стандартом IEEE 802.11. Стандарт ITS-G5 також додає функції для методів децентралізованого контролю заторів (DCC) для контролю навантаження в мережі та уникнення нестабільної поведінки.

ITS-G5 підтримує обмін даними між мобільними станціями без попередньої настройки мережі, тобто спеціальний режим, для таких діапазонів частот у Європі:

1. ITS-G5A: Функціонування ITS-G5 у європейських діапазонах частот ITS, присвячених ITS для застосувань, що стосуються безпеки, у діапазоні частот від 5875 ГГц до 5905 ГГц.
2. ITS-G5B: Робота в європейських діапазонах частот ITS, призначені для ITS програми безпеки в діапазоні частот від 5855 ГГц до 5875 ГГц.
3. ITS-G5D: робота програм ITS у діапазоні частот від 5 905 до 5925 ГГц.

Технологія ITS-G5 базується на IEEE 802.11-2012 та ANSI / IEEE Std 802.2 Встановивши для змінної MIB dot11OCBAActivate значення true у IEEE 802.11-2012 можливий зв'язок поза контекстом BSS. Цей тип спілкування дозволяє негайно обмінюватися кадрами даних, уникаючи накладних витрат на управління, що використовуються з встановленням мережі.

На рисунку 2.2 показана довідкова архітектура станції ITS . Цей документ визначає одну технологію доступу для кооперативних ITS, а саме ITS-G5 на основі IEEE 802.11. Рівень доступу еталонної архітектури станції ITS включає як фізичний рівень, так і рівень зв'язку даних моделі OSI.



Станція ITS-G5 повинна відповідати наступним стандартам IEEE:

1. Ортогональне частотне мультиплексування з частотним поділом (OFDM) фізичного (PHY) рівня, як визначено у пункті 18 IEEE 802.11-2012.

2. Функціональність рівня управління доступом (MAC), як визначено в IEEE 802.11-2012, встановивши параметру `MIB dot11OCBAActivated` значення `true`, що дозволяє спілкування поза контекстом базового набору послуг (BSS).

3. Елемент керування логічним посиленням (LLC), як визначено в ANSI/IEEE 802.2, а режим роботи встановлено на Тип 1 - невстановлений режим без з'єднання.

4. Протокол доступу до підмережі (SNAP), як визначено в IEEE 802-2012.

У таблиці 2.1 наведено діапазони частот, відповідні вимоги регулювання, передбачуване використання та гармонізовані стандарти, які будуть використовуватися для спільних ІТС в межах Європейського Союзу.

Таблиця 2.1 – Розподіл частот у Європейському Союзі

	Діапазон частот, МГц	Використання	Положення	Гармонізований стандарт
ITS-G5D	5 905 – 5 925	Майбутні додатки ІТС	Рішення ECC	EN 302 571
ITS-G5A	5 875 – 5 905	Програми, що стосуються безпеки дорожнього руху	Рішення Комісії	EN 302 571
ITS-G5B	5 855 – 5 875	ІТС додатки, що не стосуються безпеки	Рекомендація ECC	EN 302 571
ITS-G5C	5 470 – 5 725	RLAN (BRAN, WLAN)	Рішення ERC та Рішення Комісії	EN 301 893

Рис. 2.4 ілюструє розподіл каналів у діапазоні 5 ГГц для смуг частот, перелічених у табл. 2.1. Він також показує європейські смуги для виділеного зв'язку короткого радіусу дії (DSRC), який у Європі посиляється на стандарт EN 300 674, що, наприклад, використовується для електронного збору мита (так званий CEN DSRC). DSRC регулюється рішенням ECC [22].

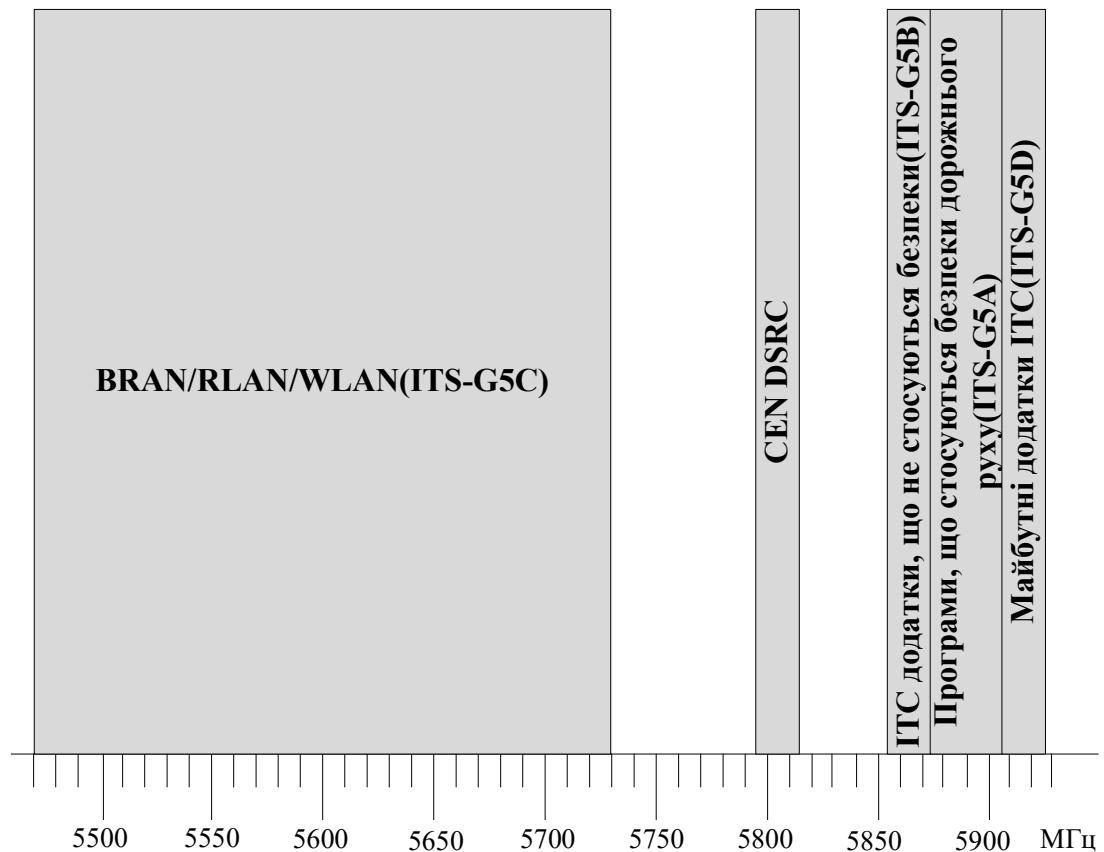


Рисунок 2.4 – Розподіл каналів для діапазону частот 5 ГГц

Діапазон частот ITS-G5A відведений для програм безпеки дорожнього руху ITS, і його дозволяють використовувати лише станції, що відповідають ITS-G5.

Діапазон частот ITS-G5B виділений для ITS, що не стосуються безпеки дорожнього руху, і його дозволяється використовувати станціям, що відповідають ITS-G5.

Діапазон ITS-G5C також відноситься до широкосмугових мереж радіодоступу (BRAN), радіолокальної мережі (RLAN) та безпроводової локальної мережі (WLAN). Робота в діапазоні RLAN вимагає регулювання потужності передавання (TPC), процедури динамічного вибору частоти (DFS) та рівномірного розповсюдження, щоб виявити сигнали від радіолокаційних систем та уникнути перешкод спільного каналу. Ця функція не підтримується при встановленні параметра MIB dot11OCBAActivate на true. Тому не можна використовувати станції ITS-G5 для зв'язку в діапазоні ITS-G5C поза контекстом базового набору послуг.

Діапазон частот ITS-G5D відведений для подальшого використання програм ITS дорожнього руху, і його дозволяється використовувати станціям, сумісним з ITS-G5.

Розподіл каналів повинен бути таким, як зазначено в таблиці 2.1. Один фізичний канал виділяється каналом управління (SCH), називаним G5-SCH. Сім фіксованих каналів обслуговування та один змінний фізичний канал обслуговування визначені як G5-SCH.

Таблиця 2.2 – Європейський розподіл каналів в системі ITS-G5D

Тип каналу	Центральна частота, МГц	Номер каналу IEEE 802.11	Смуга пропускання каналу, МГц	Швидкість передавання даних за замовчуванням, Мбіт/с	Обмеження потужності TX, дБм EIRP	Обмеження щільності потужності TX, дБм/МГц
G5-SCH	5900	180	10	6	33	23
G5-SCH2	5890	178	10	12	23	13
G5-SCH1	5880	176	10	6	33	23
G5-SCH3	5870	174	10	6	23	13
G5-SCH4	5860	172	10	6	0	-10
G5-SCH5	5850	182	10	6	0	-10
G5-SCH6	5910	184	10	6	0	-10
G5-SCH7	5470-5725	94-145	–	Залежить від смуги пропускання каналу	30 (DFC master)	17
					23 (DFC master)	10
Примітка: Стосовно обмежень викидів (обмеження потужності / обмеження щільності потужності) застосовуються більш жорсткі вимоги.						

Використання G5-SCH та G5-SCH1 до G5-SCH2 присвячено, в основному, IT-безпеці дорожнього руху. G5-SCH3 - G5-SCH5 по суті призначені для ITS ефективності дорожнього руху. У табл. 2.3 різні фізичні канали зіставляються з діапазонами частот, наведеними в табл. 2.1 для уточнення.

Таблиця 2.3 – Європейський розподіл каналів в системі ITS-G5

	Тип каналу	Діапазон частот, МГц	Номер каналу IEEE
ITS-G5A	G5-CCH	5895-5905	180
	G5-SCH2	5885-5895	178
	G5-SCH1	5875-5885	176
ITS-G5B	G5-SCH3	5865-5875	174
	G5-SCH4	5855-5865	172
ITS-G5C	G5-SCH7	5470-5725	94-145
ITS-G5D	G5-SCH5	5905-5915	182
ITS-G5D	G5-SCH6	5915-5925	184

На рис. 2.5 наведені типи каналів із граничним значенням максимальної щільності потужності для кожного каналу згідно з табл. 2.2 зображено для ITS-G5A, ITS-G5B та ITS-G5D.

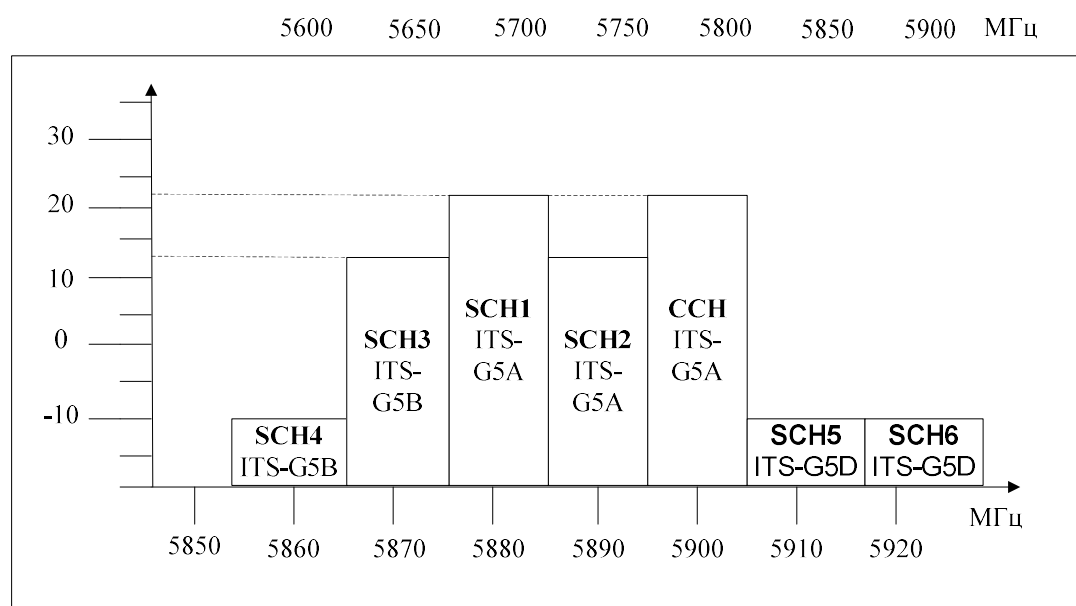


Рисунок 2.5 – Максимальна межа середньої спектральної щільності потужності для кожного типу каналу в ITS-G5A, ITS-G5B та ITS-G5D

Потужність передавача станції ITS-G5, що працює в діапазонах частот ITS-G5A, ITS-G5B або ITS-G5D, повинна контролюватися механізмом на основі DCC.

Станція ITS-G5 повинна передавати дані, використовуючи EDCA, як визначено у пункті 9.19.2 IEEE 802.11-2012. Значення за замовчуванням EDCA є статичними для всіх станцій ITS-G5 і не узгоджуються перед передачею.

Програми ITS, зокрема програми, пов'язані з безпекою, мають високі вимоги щодо надійності та затримки передавання даних. Через протокол MAC IEEE 802.11-2012 та обмежену пропускну здатність ITS-G5, навантаження даних на безпроводові канали може перевищувати доступну ємність у деяких ситуаціях. Тому децентралізовані методи контролю заторів (DCC), потрібні на станціях ITS-G5, щоб контролювати навантаження каналу та уникати нестабільної поведінки системи.

У стандарті IEEE802.11 для точки інфраструктури використовується точка доступу, а термінальна станція відповідає терміналу або UE мовою стільникового RAT.

Процес стандартизації IEEE802.11p WAVE походить від виділення смуги спектру короткого діапазону (DSRC) в США в 1999 р. та намагання визначити технологію для використання в діапазоні DSRC.

У 1999 р. Федеральна комісія зв'язку США виділила смугу 75 МГц спектру в діапазоні 5,9 ГГц для використання виключно для зв'язку між транспортними засобами та інфраструктурою, та між транспортними засобами. Зараз той самий спектр стає технологічним, а можливі реалізації LTE-V2X або 5G NR-V2X націлені на ту ж смугу. Стандарт IEEE802.11p не слід розглядати як повний та самостійний стандарт. WAVE – скорочення від безпроводового доступу в транспортному середовищі.

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.

Деталі служби та сценарію, застосовні до систем ITS (особливо на вищих рівнях), різняться залежно від регіональних/регуляторних проблем, усі ці системи планують IEEE802.11p для рівнів MAC та PHY.

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.

IEEE802.11p є частиною сімейства стандартних WLAN і підтримує зв'язок через спеціальну мережу або підключення до базової інфраструктури набору послуг. Інфраструктурний підхід у безпроводовій локальній мережі для налаштування невеликої мережі базується на наборі базової служби (BSS), що включає групу станцій, які стоять на якорі точки доступу. Зв'язок між станціями використовує радіозв'язок WLAN, а несуча частота, як правило, знаходиться в неліцензованому діапазоні ISM.

IEEE802.11p змінює концепцію WLAN кадру, використовуючи ідентифікацію сервісного набору (SSID), оскільки він матиме надто багато накладних сигналів. У IEEE802.11p доступний так званий режим WAVE, що дозволяє станції передавати та приймати кадри даних із ідентифікатором підстановки, незалежно від будь-якої нумерації BSS. Це являє собою суттєву зміну рівня MAC між стандартом IEEE802.11a та його похідним IEEE802.11p, розробленим для автомобільних додатків.

Рівень MAC IEEE802.11p використовує розширений доступ до розподіленого каналу (EDCA), який використовує багаторазовий доступ сенсора несучої з уникненням зіткнень (CSMA / CA). Це відповідає механізму "слухати перед розмовою".

Метод доступу IEEE802.11p можна коротко описати наступним чином:

Станція, яка бажає надіслати кадр даних, спочатку стежить за станом радіоканалу. Це робиться за допомогою детектування енергії (ED) або розпилювання енергії, що призводить до чіткої оцінки каналу (CCA).

Після передавання кадру станція переходить у фазу суперечки (вікно суперечки), де передавання заборонено. Щоб уникнути зіткнень між двома послідовними кадрами даних, стандарт визначає розподілений міжкадровий простір (DIFS) у слоті. Коли станція виявляє, що канал зайнятий, вона запускає випадковий таймер зворотного передавання.

Після закінчення відліку таймера зворотного зв'язку та дозволу каналу станція може передавати кадр даних [19].

## 2.2 Технологія C-V2X, 4G, 5G

Стільниковий V2X (C-V2X) – важлива технологія для поліпшення дорожньої безпеки та майбутнього автономного водіння. Імпульс продовжує нарощуватись навколо C-V2X за допомогою широкої підтримки екосистеми. Китайська Народна Республіка вирішила запровадити LTE-V2X на основі випуску 3GPP 14 як технологію для сценаріїв прямого зв'язку на основі транспортних засобів

На другому етапі зв'язку LTE-V2X на основі випуску 15 3GPP технологія вводить підтримку посилянь із низькою затримкою та високою швидкістю передавання даних для обміну даними для вдосконалених автомобільних програм:

- прозора;
- кооперативна їзда;
- підтримка взводів;
- підтримка за допомогою телемеханіки.

Стільниковий V2X (C-V2X) зазвичай використовує для зв'язку смугу частот 5,9 ГГц – це офіційно призначена частота інтелектуальної транспортної системи (ІТС) у більшості країн. C-V2X може функціонувати без допомоги мережі та має дальність зв'язку, що перевищує 1,6 км.

Режими роботи стільникового V2X (C-V2X):

- зв'язок транспортного засобу до мережі (V2N), використовуючи звичайні стільникові лінії зв'язку, щоб хмарні служби могли бути частиною наскрізного рішення.

- транспортний засіб до транспортного засобу (V2V), транспортний засіб до інфраструктури (V2I) також включаючи використання з платними системами та системою прямого зв'язку та транспортного засобу до пішохода (V2P) – також без використання участі мережі для планування руху – для захисту найбільш вразливих учасників дорожнього руху, пішоходів.

- зв'язок стільникового V2X у режимі 4 покладається на схему розподілу ресурсів, яка самостійно планує радіоресурси в кожному користувацькому обладнанні .

Усі системи безпроводового зв'язку, страждають від недоліків, що їм властиві. Недоліки полягають у обмеженій потужності в різних сферах:

- обмежені канали, ця межа торкнеться особливо мегаполісів;
- обмежена швидкість передавання даних, враховуючи, що лише один автономний автомобіль буде використовувати 4 000 ГБ даних на день;
- безпроводовий зв'язок сприйнятливий до зовнішніх впливів, що може теж стати недоліком;
- у столичних районах 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 такі мережі, як LTE або 5G, величезні.

### **Висновки до розділу**

З проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

1. 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.

2. Стільниковий V2X (C-V2X) зазвичай використовує для зв'язку смугу частот 5,9 ГГц – це офіційно призначена частота інтелектуальної транспортної системи (ІТС) у більшості країн. C-V2X може функціонувати без допомоги мережі та має дальність зв'язку, що перевищує 1,6 км.

3. Якщо транспортний засіб визначить, що існує потенційне зіткнення або інша небезпека (наприклад, порушення червоного світла), бортова система може вжити заходів, щоб попередити водія або навіть допомогти в керуванні транспортним засобом. Зворотній зв'язок з водієм може передаватися на слух, візуально (наприклад, дисплей на лобовому склі, екран панелі приладів, дзеркальний сигнал) або ж, наприклад, може передаватись через тряску сидіння або керма і може коливатися в інтенсивності від інформування до застереження до попередження.

### 3 ПРИКЛАДИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ V2X

#### 3.1 Тестування C-V2X в Японії

Компанія Continental оголосила про завершення спільного випробування Cellular V2X в Японії, разом з Ericsson, Nissan, NTT DOCOMO, OKI і Qualcomm Technologies [25].

В Компанії успішно провели перше в Японії тестування C-V2X, використовуючи частоти 5,8 ГГц в якості експериментальних для організації взаємодії V2X.

"Сценарії використання" були розроблені для вирішення різних завдань розв'язуваних в рамках взаємодії V2X, таких як:

- транспортний засіб – транспортний засіб (V2V);
- транспортний засіб – інфраструктура (V2I);
- транспортний засіб – пішохід (V2P);
- транспортний засіб – мережа стільникового зв'язку (V2N).

Завдяки комбінації різних взаємодій V2X між транспортними засобами, інфраструктурою та іншими учасниками дорожнього руху (такими як пішоходи та велосипедисти) результати випробувань показали, що у C-V2X достатньо потенціалу для забезпечення безпеки дорожнього руху (Road safety), підвищення ефективності дорожнього руху (Traffic management & efficiency) і забезпечення інформаційно-розважальних (Infotainment) сервісів. Крім того, тести також показали сильні сторони технології в частині забезпечення надійності передачі даних і забезпечення низьких затримок зв'язку, що дуже важливо для критично важливих повідомлень.

Прямий зв'язок (V2V, V2I, V2P) здатний забезпечувати сервіси V2X навіть у найвіддаленіших районах, де відсутнє покриття стільникового зв'язку (як наслідок V2N не доступний). У зоні покриття стільникового зв'язку C-V2X дозволяє забезпечувати взаємодію V2N для надання хмарного обміну інформацією на

більш далекі відстані (чим при V2V, V2I, V2P), а так само надавати додаткові сервіси, такі як інформація про майбутні дорожні умови або дорожні ситуації.

У своїх випробуваннях компанії зосередились на виправленні повідомленого посилання через протокол PC5 (використовується для V2V, V2I, V2P). "Приклади використання" були протестовані в різних умовах для оцінки основної характеристики зв'язку C-V2X.

Тести проводились на транспортних засобах, що рухаються один відносно одного зі швидкістю до 110 км/год (68 миль на годину) з урахуванням будівель блокуючих зв'язок. Також було перевірено зв'язок із стаціонарними об'єктами.

Учасники тестів спостерігали середню затримку в 20 мс від прямого зв'язку (V2V, V2I, V2P). Зв'язок був безпроводовим навіть на великих відстанях, приблизно 1,2 кілометра, навіть за умови відсутності прямої видимості.

Компанії також протестували зв'язок V2N з телекомунікаційною інфраструктурою. Середня затримка зв'язку при V2X взаємодії склала близько 50 мс в комерційній мережі NTT DOCOMO.

Випробування проходили на декількох випробувальних трасах в Японії, де продуктивність C-V2X тестувалася з використанням п'яти сценаріїв:

- попередження "Обгін заборонений";
- активація аварійних стоп-сигналів;
- попередження про небезпечні ділянки доріг;
- допомога при перетині доріг (перехресть);
- попередження про появу пішоходів і велосипедистів.

Сценарії були обрані, щоб забезпечити тестування основних сервісів V2X. Таким чином, тести були зосереджені не тільки на зв'язку V2V, але і на зв'язку V2I, V2P і V2N для різних умов дорожнього руху і різних швидкостей руху.

Для випробувань Continental використовувала платформу Qualcomm 9150 C-V2X, в якій використовується чипсет Qualcomm 9150 C-V2X з вбудованою глобальною навігаційною супутниковою системою (GNSS). Платформа інтегрувалася в випробувальні машини надані компанією Nissan.

Працюючи з Qualcomm Technologies, Nissan розробив план тест-драйву для C-V2X, який використовувався під час випробувань на полігоні. Використовуючи свій досвід в інфраструктурі і додатках для придорожніх блоків V2X (RSU), компанія OKI продемонструвала що C-V2X є життєздатною технологією в рамках V2I, інтегрувавши чіпсет Qualcomm 9150 C-V2X в свої RSU. Ericsson, як одна з провідних компаній в області технологій і послуг для телекомунікацій, брала участь в тестуванні сценаріїв використання V2N, в частині LTE-A. NTT DOCOMO надала стільникову мережу LTE-A і додатки для V2N взаємодії.

Після отримання позитивних результатів випробувань компанія Continental продовжить подальший розвиток і дослідження технології C-V2X, як в глобальному масштабі, так і в Японії, щоб забезпечити раннє глобальне розгортання V2X сервісів.

C-V2X, швидше за все, буде спочатку реалізований на основі стандартів LTE-V2X (або LTE Advanced Pro), а потім на стандартах мобільного зв'язку NR-V2X (5G NR) вже з 2022 року.

C-V2X – це глобальне рішення для зв'язку V2X, призначене для забезпечення безпеки дорожнього руху (Road safety), підвищення ефективності дорожнього руху (Traffic management & efficiency) і забезпечення інформаційно-розважальних (Infotainment) сервісів.

Режим прямого зв'язку C-V2X вперше визначено в 3GPP Release 14 і призначений для надання V2V, V2I і V2P сервісів без участі мережі, працюючи на частоті ITS 5,9 ГГц.

Мережевий зв'язок забезпечує глобальний зв'язок для послуг V2N. В даний час 3GPP працює над подальшими вдосконаленням C-V2X в рамках 5G.

### **3.2 Демонстрація технології V2X на CES 2019 та тестове порівняння технологій DSRC та C-V2X**

Технологія V2X була продемонстрована на виставці споживчої електроніки в Лас-Вегасі (CES) трьома автомобільними компаніями: Ducati, Audi і Ford [26].

Технологія V2X, а точніше C-V2X дозволяє транспортним засобам автоматично взаємодіяти з різними учасниками дорожнього руху.

Ducati продовжує розвивати свою програму "Дорожня карта безпеки 2025", орієнтовану на безпеку мотоциклістів. Ця програма передбачає поступове впровадження нових технологічних модулів систем безпеки в виробленому серійному устаткуванні. Все почалося з впровадження покращеної роботи ABS, з метою допомоги при проходженні поворотів, а наступним кроком буде поява в машин з вбудованими передніми і задніми радарми, які працюють з інтелектуальним круїз-контролем, що використовують технологію V2X. Для цього італійська компанія вступила в співробітництво з Audi, Ford, а також гігантом електроніки Qualcomm Incorporated.

Система C-V2X, представлена на виставці споживчої електроніки в Лас-Вегасі, є спільною розробкою автомобільних і комунікаційних компаній. Завдяки ній транспортні засоби використовуючи технологію V2X отримують можливість встановлювати зв'язок між собою і своїм безпосереднім оточенням.

Кілька різних сценаріїв взаємодії технології V2X були показані на CES 2019. Ducati Multistrada 1260, а також автомобілі Audi і Ford проїжджали до перехрестя без світлової сигналізації в умовах обмеженої видимості. Безпроводовий зв'язок за допомогою технології V2X: C-V2X дозволив кожному з них зайняти правильне розташування на дорозі і вибрати шлях без зіткнень один з одним. Технологія V2X дозволяє виявляти транспортні засоби, пішоходів, велосипедистів, елементи дорожньої інфраструктури, а також сповіщати про несподівані небезпеки на дорозі.

Система C-V2X вже демонструє високий рівень ефективності, повторюваності і надійності і постійно вдосконалюється. У наступні роки

технологічні рішення такого типу, ймовірно, стануть стандартним обладнанням для більшості нових транспортних засобів.

Раніше автомобільна асоціація 5GAA опублікувала звіт [27] про порівняльне тестування радіотехнологій DSRC і Cellular V2X (C-V2X), для їх застосування, з метою доставки ширококомовних повідомлень безпеки V2X (Vehicle-To-Everything).

Основний висновок звіту: C-V2X значно перевершив DSRC в різних тестах.

Надійність і висока спектральна ефективність зв'язку V2X це те, що в першу чергу вимагають виробники транспортних засобів, власники дорожньої інфраструктури, органи стандартизації і регулюючі органи. Це важливо для критичних додатків безпеки автомобіля.

Випробування технологій на радіочастотах V2X проводилися протягом шести місяців з березня по вересень 2018 року. На даний момент з метою організації V2X взаємодій в світі пропонується використовувати найбільш поширені безпроводові мережі, засновані на стандартах ETSI ITS-G5, 802.11p (DSRC) і стандартах C-V2X (3GPP), 4G (3GPP), 5G (3GPP).

На підставі рішення ГКРЧ № 11-11-01-1 від 2011 року в Росії виділена смуга радіочастот 5855-5925 МГц для розробки, виробництва та модернізації юридичними і фізичними особами РЕМ інтелектуальних систем на транспорті, в тому числі V2X.

А корейський гігант Samsung заявив що запустить тестову зону V2X для підключеного і автономного автомобіля.

C-V2X – це синхронна система, яка спирається на розподілений механізм планування передачі пакетів. Цей механізм забезпечує дуже ефективний розподіл ресурсів на пристрої C-V2X. "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). PDB для потоку SPS можна встановити, виходячи з вимоги

програми щодо затримки, тим самим дозволяючи пристрою залишатися нижче необхідної межі затримки, але використовувати ефективний механізм планування. Наприклад, програми EEBL / FCW / LTA / IMA / DNPW можуть використовувати PDB 100 мс, тоді як взвод може використовувати PDB 40 мс. Середня та максимальна затримка залишаються незмінними навіть при збільшенні завантаження системи. Стандарт гарантує, що вимога щодо затримки завжди виконується, дозволяючи пристроям переобирати ресурси SPS, щоб відповідати PDB. Це може трапитися, наприклад, коли приплив на рівні програми змінюється, а можливість SPS втрачається.

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. Це спостерігали / підтверджували та документували кілька третіх сторін (Alsmirat, 2015). З високою перевантаженістю затримка, а також інтервал між наступними повідомленнями значно збільшується.

Таким чином, надійність прийому повідомлень стає непридатною для програм безпеки.

Ці польові випробування забезпечили реалістичну, але контрольовану обстановку під відкритим небом для порівняльного тестування технологій V2V. Кожен тест виконується абсолютно однаково і послідовно для обох технологій, і результати порівнюються.

Для порівняльних тестів, наступне повинно бути однаковим при тестуванні двох технологій [28]:

- процедура тестування;
- умови тестування;

В умовах тестування було забезпечено, щоб наступні параметри були однакові:

- характеристики та розміщення антени;

- геометрія та кабелі;
- топологія та розташування колії;
- розмір вибірки та повторюваність;
- умови навколишнього середовища та перешкоди;
- налаштування живлення та інші радіостанції;
- швидкість транспортного засобу.

В даному тесті основною метою є збір даних для порівняння технологій DSRC та C-V2X.

Для порівняння використовуються показники ефективності або KPI:

- швидкість прийому пакетів (PRR);
- міжпакетний розрив (IPG).

Збирається показник сили сигналу отримання (RSSI) і представлені лише для DSRC. Тестування дальності визначає відстань, на якій PRR або надійність прийому повідомлень BSM падають нижче прийняттого рівня. Поріг PRR для визначення діапазону становить 90%. Випробування дальності проводили на такій випробувальній доріжці:

- дорога А – прямо (полігон Фоулервіля - FPG, Мічиган)

Загально визнано, що діапазон досягається, коли PRR опускається нижче 90%.

Під час польових випробувань спостерігається, що сигнал іноді падає, а потім швидко відновлюється, що призводить до втрати пакетів протягом короткого періоду часу і, оскільки транспортний засіб рухається, на невеликій відстані. Немає галузевої домовленості про те, як лікувати ці короткі відключення. Представлені процедури тестування та результати для таких тестів:

- діапазон;
- пряма видимість (LOS);
- нелінійна видимість (NLOS);
- затінення;
- перетин;

- перешкоди LOS від діапазону U-NII-3;
- перешкоди LOS від сусіднього каналу.

Основні показники продуктивності включають: коефіцієнт прийому пакетів (PRR) та міжпакетний розрив (IPG). Середній PRR будується як функція відстані між нерухомим транспортним засобом (SV) та транспортним засобом, що рухається (MV). PRR обчислюється за допомогою підходу плаваючого вікна. PRR з декількох петель поєднується в одному графіку. Більшість графіків показують PRR на SV, що приймає BSM, коли MV наближається. У випадках, коли середовище MV відрізняється, наприклад, сценарії перешкод, PRR на MV відображається, коли він наближається до SV і коли SV передає.

IPG будується як функція відстані як середнє значення для всіх петель. Відстань, на якій в середньому IPG різко зростає понад 100 мс, тісно корелює з відстанню, на якій PRR опускається нижче 90%. Невеликі зниження PRR також помітні на середньому графіку IPG; однак вони мають меншу величину. Функція кумулятивного розподілу (CDF) IPG використовується для ілюстрації відношення "хороших" точок IPG (значень, близьких до 100 мс) до загальної кількості зібраних точок даних IPG. RSSI було зібрано в OBU DSRC. Середнє значення RSSI по всіх циклах будується як функція відстані між SV та MV. Він надає уявлення про характеристики втрат шляху певної тестової доріжки.

Метою тестів на перешкоди була оцінка стійкості технологій V2X від двох типів зовнішніх перешкод:

1. Перешкоди, що виникають в діапазоні U-NII-3 (5725-5850 МГц).
2. Перешкоди, що виникають у каналі, що прилягає до робочого (безпечного) каналу (CH172).

Як і при випробуваннях на діапазон, і DSRC, і C-V2X OBU випробовуються в однакових умовах. У випадку випробування U-NII-3 обидві технології V2X піддаються одній і тій же IEEE 802.11ac 80 МГц синтетично створеній перешкоді в CH155. Подібним чином, у випробуваннях на перешкоди сусіднього каналу

перешкоди як для DSRC, так і для CXV2X є однаковими синтетично створеними перешкодами IEEE 802.11p 10 МГц у сусідньому каналі.

Оскільки операційний канал було переміщено до CH184, щоб створити еквівалентні умови перешкод, перешкоди повинні були бути переміщені відповідно. Центральна частота CH184 (5920 МГц) на 60 МГц перевищує центральну частоту CH172 (5860 МГц). Щоб забезпечити однаковий ефект перешкод від перешкод U-NII-3 на безпеку, центральну частоту сигналу перешкоди було зміщено на 60 МГц, щоб підтримувати однакове розділення 40 МГц. Подібним чином перешкоди для сусіднього каналу були сконфігуровані для центральної частоти 5910 МГц(CH182) для забезпечення роботи в сусідньому каналі.

Польові випробування порівнювали DSRC та C-V2X під ретельним контролем факторів, що впливають на поширення ВЧ:

- характеристики та розміщення антени;
- геометрія транспортного засобу та кабелі - Потужність, перешкоди та інші налаштування;
- швидкість автомобіля;
- Польовий тест вирішив такі питання:
- діапазон системи та надійність зв'язку як функція відстані для таких сценаріїв транспортного засобу;
- пряма видимість (LOS);
- нелінійна (NLOS);
- затінення
- перетин;
- вплив позасмугових перешкод у наступних випадках;
- вплив LOS від діапазону U-NII-3.

У цьому тестуванні обидві технології продемонстрували покращену продуктивність/діапазон поля для даної конфігурації порівняно з результатами випробувань з оригінального звіту, опублікованого у вересні 2018. Слід

зазначити, що попередні польові випробування проводились у літні місяці, тоді як повторне тестування проводилось на початку весни. Польове середовище було дуже різним із точки зору листя, температури та умов дороги (сніг, ожеледиця на дорозі).

Підозрюється, що ця різниця у польовому середовищі є основним фактором для різниці продуктивності між двома тестами. Порівняно дві технології V2X, використовуючи діапазон, надійність та IPG як КРІ. У всіх тестах C-V2X OBU значно перевершували OBU DSRC. Результати випробувань свідчать про виграш у діапазоні радіочастот для Cellular-V2X порівняно з DSRC. В різних умовах радіосередовища (LOS, NLOS та перешкоди) польові випробування показали, що Cellular-V2X має перевагу в діапазоні від 1,3 до 2,9 разів у порівнянні з DSRC. Перевага LOS була в 1,7 рази більша за діапазон, однак, після покращення зросла до 2,2 рази переваги в деяких умовах NLOS, що включають перешкоду сигналу. З урахуванням перешкод у безпосередній близькості поліпшення дальності дії перешкоди U-NII-3 становило 1,7 рази, тоді як покращення сусідньої перешкоди DSRC становило 2,9 рази. У табл. 3.1 та 3.2 наведено порівняння діапазонів двох технологій.

Таблиця 3.1 – Порівняння дальності зв'язку DSRC та C-V2X при ефективній потужності передавача 5 дБм

Процедура випробування	Дальність зв'язку, м (при 90% надійності)	
	DSRC	C-V2X
Діапазон прямої видимості (LOS)	625	1050
Нелінійний блокувач зору (NLOS) (5GAA)	250/350	450
Блокувач нелінійного зору (NLOS) (CAMP)	175/250	550

Таблиця 3.2 – Порівняння дальності зв'язку DSRC та C-V2X при ефективній потужності передавача 11 дБм

Процедура випробування	Дальність зв'язку, м (при 90% надійності)	
	DSRC	C-V2X
Діапазон прямої видимості (LOS)	925	>1350
Нелінійний блокувач прямої видимості (NLOS та 5GAA)	425	625/725
Перехрестя нелінійного зору (NLOS)	90/400	600/800
Співіснування з Wi-Fi (смуга пропускання 80 МГц)	550	950
Співіснування V2X із сусідньою носійною DSRC	100/325	950

Ford та Qualcomm провели серію тестів V2V RF з березня 2018 р. До вересня 2018 р. З метою порівняти дві технології V2X RF, а саме DSRC та C-V2X, за однакових радіочастотних умов та використовуючи  $\{1\}$  те саме налаштування інтеграції в автомобілі. Випробування проводились як у лабораторних, так і в польових умовах та ретельно дотримувались методики випробувань 5GAA. Через розбіжності, виявлені в конфігурації пристрою DSRC у вихідному звіті про тестування, повторне тестування виявлених тестових випадків було проведено у березні 2019 року.

Результати тестування вказують на вигреш у діапазоні ВЧ для C-V2X порівняно з DSRC. Лабораторні тести показали значний приріст бюджету зв'язку для C-V2X порівняно з DSRC. За різних умов радіосередовища (LOS, NLOS та перешкоди) польові випробування показали, що C-V2X має перевагу в діапазоні 1,3х-2,9х перед DSRC. Перевага LOS становила 1,7 рази, однак покращення зросла до 2,2 рази в більш реалістичних умовах NLOS, що включають перешкоду сигналу. З перешкодами в безпосередній близькості покращення дальності з перешкодою U-NII-3 становило 1,7 рази, тоді як покращення з сусідньою перешкодою DSRC становило 2,9х.

Обидва C-V2X та DSRC демонстрували подібні наскрізні затримки рівня додатків за умов, що не перевантажені, і обидві технології відповідали вимогам до затримки для додатків безпеки V2V, визначених у SAE J2945/1. Продуктивність

міжпакетного розриву була в межах 10 мс для обох технологій V2X, як правило, дуже швидко зростала, коли пристрої виходили за межі діапазону. Тільки технологія C-V2X була випробувана за допомогою сценарію перевантаження в лабораторних умовах. Навіть у перевантаженому сценарії затримка C-V2X залишалася обмеженою бюджетом затримки 100 мс, налаштованим для цього сценарію.

### **3.3 Тестування технології C-V2X в Іспанії**

Тестувальники сіли в автомобіль підключений до мережі 5G і перевірили, для чого буде корисна можливість підключення V2X в автомобілі (тут і далі мається на увазі підключення V2X за технологією C-V2X). Іншими словами, було протестовано підключений транспортний засіб, який має більш швидкий доступ до інтернету, ніж у нас зараз вдома або в смартфоні.

На дорогах загального користування в Барселоні компанія Seat спільно з компанією Telefonica проводить випробування мережі 5G і взаємодії V2X автомобіля з дорожньою інфраструктурою Seat стверджує, що він перший в світі дозволив дивитися фільми з Інтернету в машині в форматі 4K (через нову платформу компанії Qualcomm). Автомобіль підключений до мережі 5G в рамках V2X заздалегідь виявляє пішоходів або велосипедистів, які виїжджають на дорогу.

Звичайно, виникає питання – навіщо в машині потрібен такий швидкий інтернет 5G і зв'язок V2X? Щоб переконатися (або навпаки) в необхідності нової технології, було зроблено тест-драйв в прототипі Seat Ateca. Це автомобіль підключений до мережі 5G в рамках взаємодії V2X. Рух відбувався по звичайній вулиці, в звичайній дорожній обстановці (іспанці тестують нову мережу зв'язку в невеликому районі міста). Для потреб тестування до мережі 5G підключені не тільки автомобілі, але і велосипеди, а також дорожня інфраструктура (в тому числі спеціальні камери на пішохідних переходах).

Також мережу 5G було використано для потреб водія, а саме взаємодії V2X. У разі поточних випробувань це означає попередження про різні небезпеки. Ще до того, як було опізнано зламану машину за кутом, на дисплеї з'явилося відповідне попередження про це. Займаючи одну смугу, автомобіль підключений до мережі відправив відповідне попередження в довколишні транспортні засоби через інтернет (повідомлення формату Car2Car).

Було отримане аналогічне попередження при наближенні до пішохідного переходу, розташованого біля повороту. Про пішоходів, що виходять на дорогу, повідомили камери, розташовані на сигнальному стовпі. Так що водій автомобіля у якому відбувався рух встиг заспокоїтися і легко озирнутися. Він відреагував так само, коли з'явилося інше попередження - про велосипедиста, що перетинає дорогу. Відповідне повідомлення було відправлено безпосередньо з велосипеда, оснащеного модулем V2X.

Важко поставити під сумнів сенс попередження водія через Інтернет 5G і V2X (щоб знизити ризик зіткнення з найменш захищеними учасниками дорожнього руху). Але тим не менше неможливо приховати невеликий скептицизм. Частота повідомлень і попереджень водія через 5G і V2X залишається відкритим питанням. Адже якщо під час міської поїздки автомобіль підключений до мережі будуть засипати сигналами тривоги, то це призведе до очікуваної поведінки – водій такого автомобіля поступово почне ігнорувати попередження (якщо їх неможливо відключити). Тому у інженерів стоїть завдання реалізації допомоги водієві в тому, щоб не тільки підвищити безпеку руху, але і уникнути дратування через занадто часті попередження.

### **Висновки до розділу**

З проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

1. Завдяки комбінації різних взаємодій V2X між транспортними засобами, інфраструктурою та іншими учасниками дорожнього руху (такими як пішоходи та велосипедисти) результати випробувань показали, що у C-V2X достатньо

потенціалу для забезпечення безпеки дорожнього руху (Road safety), підвищення ефективності дорожнього руху (Traffic management & efficiency) і забезпечення інформаційно-розважальних (Infotainment) сервісів. Крім того, тести також показали сильні сторони технології в частині забезпечення надійності передачі даних і забезпечення низьких затримок зв'язку, що дуже важливо для критично важливих повідомлень.

2. За результатами тесту C-V2X значно перевершив DSRC в різних тестах. Надійність і висока спектральна ефективність зв'язку V2X це те, що в першу чергу вимагають виробники транспортних засобів, власники дорожньої інфраструктури, органи стандартизації і регулюючі органи. Це важливо для критичних додатків безпеки автомобіля.

3. Результати тестування вказують на вигреш у діапазоні ВЧ для C-V2X порівняно з DSRC. Лабораторні тести показали значний приріст бюджету зв'язку для C-V2X порівняно з DSRC. За різних умов радіосередовища (LOS, NLOS та перешкоди) польові випробування показали, що C-V2X має перевагу в діапазоні 1,3х-2,9х перед DSRC. Перевага LOS становила 1,7 рази, однак покращення зростає до 2,2 рази в більш реалістичних умовах NLOS, що включають перешкоду сигналу. З перешкодами в безпосередній близькості покращення дальності з перешкодою U-NII-3 становило 1,7 рази, тоді як покращення з сусідньою перешкодою DSRC становило 2,9х.

4. Частота повідомлень і попереджень водія через 5G і V2X залишається відкритим питанням. Адже якщо під час міської поїздки автомобіль підключений до мережі будуть засипати сигналами тривоги, то це призведе до очікуваної поведінки – водій такого автомобіля поступово почне ігнорувати попередження (якщо їх неможливо відключити).

## ВИСНОВКИ

1. Технологія V2X – це технологія майбутнього, що швидко розвивається. На даний момент часу дана технологія тільки починає своє впровадження. Застосування V2X буде визначається різними факторами, від одного прийняття нормативів і стандартів, до реалізації і контролю використання.

2. Проведено багато тестів даної технології за допомогою різних сценаріїв в різних частинах світу. І хоча технологія V2X може працювати за допомогою DSRC або C-V2X, більшість виробників обирають технологію C-V2X для використання V2X з причини наявності в неї ряду переваг, які були визначені під час порівняльного тесту цих систем за однакових умов.

3. Хоча ця технологія ще геть нова і маловідома, її впровадженням займаються відомі гіганти розробки в технологічній сфері, та машинобудівній. Крім всього технологія проявила себе доволі ефективною, корисною та взагалі вдалою під час попередніх тестів, а це означає, що компанії виробники транспортних засобів продовжать роботу над глобальним впровадженням V2X.

4. Очікується, що вже в найближчому майбутньому даною системою буде користуватися, велика кількість людей по всьому світі. Але поки світ не готовий масово перейти на "розумний транспорт" через ряд причин:

- недовіра користувачів до даної технології;
- жахливий стан доріг, особливо в країнах, що розвиваються;
- висока вартість встановлення даної системи;
- страх ризику стати жертвою злодіїв, що можуть втручатись в ІТ-залежну систему;
- багато інших причин.

5. Поступово звичайно користувачі приймуть дану технологію і через 5-7 років вже відсоток користувачів даною технологією зросте в рази. Це буде можливо не половина, але, на мою думку не менш ніж 15-20%.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Интеллектуальные транспортные системы. URL:  
<https://center2m.ru/intellektualnye-transportnye-sistemy>
2. Технология V2X в автомобилях. Мировые тенденции. Что такое V2X? URL:  
<https://2g3g4g5g.ru/tehnologija-v2x-v-automotive/>
3. V2X Wiki. URL:  
<https://www.auto-talks.com/technology/v2x-wiki/>
4. V2G – розумна двонапрявлена зарядка для електромобілів, яка допомагає заробляти. URL: <https://ecofactor.ua/blog/v2g-zaryadka-electromobiley>
5. Проблемы и требования для реализации технологии V2X. М. А. М. Аль-Свейти, А. Н. Волков, А. С. А. Мутханна. URL:  
[https://www.sut.ru/doci/nauka/1AEA/ITT/2020\\_3/20-26.pdf](https://www.sut.ru/doci/nauka/1AEA/ITT/2020_3/20-26.pdf)
6. What Is Vehicle To Vehicle OR V2V Communication Technology? URL:  
<https://carbiketech.com/vehicle-to-vehicle-v2v-communication/>
7. What is Vehicle to Infrastructure V2I Technology? URL:  
<https://blog.rgbsi.com/what-is-v2i-technology>
8. Sewalkar P., Krug S., Seitz J. Towards 802.11p-based Vehicle-to-Pedestrian Communication for Crash Prevention Systems; Proceedings of the 9th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems; Munich, Germany. 6–8 November 2017.
9. Making the connection with Vehicle to Network(V2N). URL:  
<https://blog.rgbsi.com/connection-with-vehicle-to-network-v2n>
10. V2X Wiki. URL: <https://www.auto-talks.com/technology/v2x-wiki/>
11. Journal of Physics: Conference Series. URL:  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1502/1/012012/pdf>
- Everything You Need to Know about V2X Technology. URL:  
<https://www.autoweek.com/news/technology/a36190311/v2x-technology/>
12. An overview of 3GPP cellular vehicle-to-everything standards. URL:  
[https://www.sigmobile.org/pubs/getmobile/articles/Vol21Issue3\\_2.pdf](https://www.sigmobile.org/pubs/getmobile/articles/Vol21Issue3_2.pdf)

13. V2X Cellular Solution. URL: [https://www.5gamericas.org/wp-content/uploads/2019/07/5GA\\_V2X\\_Report\\_FINAL\\_for\\_upload.pdf](https://www.5gamericas.org/wp-content/uploads/2019/07/5GA_V2X_Report_FINAL_for_upload.pdf)
14. AALTO Route based Radio Coverage Analysis of Cellular Network Deployments for V2N Communication.pdf. URL: [https://www.5g-mobix.com/assets/files/AALTO\\_Route\\_based\\_Radio\\_Coverage\\_Analysis\\_of\\_Cellular\\_Network\\_Deployments\\_for\\_V2N\\_Communication.pdf](https://www.5g-mobix.com/assets/files/AALTO_Route_based_Radio_Coverage_Analysis_of_Cellular_Network_Deployments_for_V2N_Communication.pdf)
15. Vehicle-to-everything (V2X): V2V, V2I, V2P, V2N & V2H vorgestellt. URL: <http://www.fuehrerschein-blog.de/2019/07/06/vehicle-to-everything-v2x/>
16. Методика дослідження параметрів потоку автотранспорту на перехрестях для оптимізації світлофорного регулювання. URL: <http://atmconf.vntu.edu.ua/materialy2019.pdf>
17. DSRC Technology .URL <https://www.auto-talks.com/technology/dsrc-technology/>
18. Rohde & Schwarz; Wireless communications for automotive applications
19. Steering Clear: Vehicle-To-Everything Designs With Seamless Communication And No Interference
20. Cellular V2X. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Cellular\\_V2X](https://en.wikipedia.org/wiki/Cellular_V2X)
21. Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band. URL: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302600\\_302699/302663/01.02.00\\_20/en\\_302663v010200a.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302663/01.02.00_20/en_302663v010200a.pdf)
22. What is DSRC (Dedicated Short Range Communication)? URL: <https://www.everythingrf.com/community/what-is-dsrc>
23. Dedicated Short-Range Communications (DSRC) Standards in the United States. URL: [https://www.researchgate.net/publication/224242297\\_Dedicated\\_Short-Range\\_Communications\\_DSRC\\_Standards\\_in\\_the\\_United\\_States](https://www.researchgate.net/publication/224242297_Dedicated_Short-Range_Communications_DSRC_Standards_in_the_United_States)
24. Тестирование Cellular V2X в Японии с участием представителей автомобильной и телеком индустрии. URL: <https://2g3g4g5g.ru/sellular-v2x-japan/>

25. Ducati, Audi, Ford и Qualcomm представили технологию v2x на CES 2019.

URL:

<https://2g3g4g5g.ru/ducati-audi-ford-qualcomm-v2x-ses-2019-c-v2x/>

26. Отчет ассоциации 5GAA доказывает превосходство C-V2X над DSRC. URL:

<https://2g3g4g5g.ru/otchet-associacii-5gaa/>

27. V2X Functional and Performance Test Report; Test Procedures and Results.

URL:

[https://5gaa.org/wp-content/uploads/2018/11/5GAA\\_P-190033\\_V2X-Functional-and-Performance-Test-Report\\_final-1.pdf](https://5gaa.org/wp-content/uploads/2018/11/5GAA_P-190033_V2X-Functional-and-Performance-Test-Report_final-1.pdf)

28. В Испании тестируют автомобиль подключенный к сети 5G в рамках V2X.

Интернет быстрее в машине, чем дома. URL:

<https://2g3g4g5g.ru/spain-v2x-connected-car-5g/#more-3349>

29. Vehicle-to-everything. URL:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-everything>

**ДОДАТОК А**  
**ABSTRACT**

## ABSTRACT

Vehicle-to-everything (V2X) is the connection between a vehicle and any object that may be affected. V2X - a transport communication system that combines more specific types of communication, such as V2I (vehicle to infrastructure), V2N (vehicle to network), V2V (vehicle to vehicle), V2P (vehicle to pedestrian). The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) first published the WLAN (IEEE 802.11p) V2X specification in 2010.

Dedicated Short Range Communication (DSRC) is a specialized short-distance communication technology. The developer of this technology is ASTM International based on the 802.11a standard. In 2016, Toyota became the world's first carmaker to introduce cars equipped with the V2X. These vehicles use DSRC technology and are sold only in Japan. In 2017, General Motors (GM) became the second carmaker to support V2X. GM sells the Cadillac model in the United States, which is also equipped with the DSRC V2X [30].

Cellular-V2X (C-V2X) is a communications technology that allows a "smart vehicle" to communicate with a cellular network for cloud services (such as navigation or infotainment). ). The C-V2X uses direct communication to communicate with other vehicles, infrastructure or pedestrians. Cellular V2X is based on the release of 4G LTE (3rd Generation Partnership Project), based on the IEEE 802.11p standard.

In 2016, 3GPP published specifications for V2X based on LTE as a core technology. In addition to direct communication (V2V, V2I), the C-V2X also supports broadband communication over a cellular network (V2N).

Sidelink (direct connection without a router), also known as PC5 allows vehicles and roadside devices (RSUs) communicate reliably and directly with each other without a network. To ensure high reliability, the C-V2X side link uses blind hybrid automatic re-request (HARQ), which transmits the same data packet at least twice, each with a different encoding.

The receiving vehicle recovers the original message using both transmitted messages. The resulting collective perception allows connected traffic participants to

"see through the eyes of others" by exchanging sensor-detected objects through the C-V2X. Information transmitted through collective perception allows vehicles to detect objects in relevant local environmental models (LEMs). quality of traffic, reducing road congestion, as well as increasing the level of comfort while driving. This can be achieved if vehicles will be able to exchange information about their condition (namely, exchange information: location, speed and direction) with each other, as well as with more vulnerable road users (pedestrians, cyclists). By the way, pedestrians will use a special application that will display safety messages, and bicycles will be installed a special V2X-module. The driver of a "smart vehicle" will receive a warning with a description if the system detects that there is a danger somewhere nearby. And if the driver can't handle it on his own and avoid an emergency, the V2X system is implemented by many world-renowned developers of vehicles, electrical and cellular communications. The paper presents the results of tests of the use of V2X technology in their vehicles conducted by these companies, as well as the results of comparison of DSRC and C-V2X technologies.

New, so far its global implementation is impossible due to insufficient user confidence in V2X technology and underdeveloped infrastructure and road quality in developing countries. But over the years, according to some forecasts, by 2025, the number of users of V2X technology in vehicles will increase to 65 million people.