**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра звукотехніки та реєстрації інформації
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК ______________

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_________ Г. Г. Власюк
(підпис) (ініціали, прізвище)
"___"_____________2019 р.

# Магістерська дисертація

зі спеціальності 171 Електроніка
(код і назва спеціальності)

на тему: "Використання технології DSRC для контролю транспортної мережі smart-міста"

Виконав: студент 6 курсу, групи ДВ-82мп
(шифр групи)

Павлюченко Владислав Андрійович _________
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н., с.н.с., Макаренко В.В. _________
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант ____________ ______________________ _________
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент проф. каф. ААЕ, д.т.н., проф., Коржик В.О. _________
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____________
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Факультет електроніки**

**Кафедра звукотехніки та реєстрації документів**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 171 «Електроніка» («Електричні та інформаційні технології кінематографа та аудіовізуальних систем»)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

______________ Г.Г. Власюк

«___»______________2019 р.

## ЗАВДАННЯ
## на магістерську дисертацію студенту
## Павлюченку Владиславу Андрійовичу

1. Тема дисертації «Використання технології DSRC для контролю транспортної мережі smart-міста», науковий керівник дисертації Макаренко Володимир Васильович, доцент, к.т.н., с.н.с., затверджені наказом по університету від «07» листопада 2019р. №3859-с

2. Термін подання студентом дисертації 03.12.2019р.

3. Об'єкт дослідження: безпроводова технологія DSRC, що дозволяє будувати транспортну телекомунікаційну мережу

4. Вихідні дані: телекомунікаційні технології та модулі, які можна застосувати для побудови систем моніторингу та контролю транспортної мережі

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Провести огляд літератури, пов'язаної з безпроводовими мережевими технологіями для побудови транспортної мережі. Дослідити технологію DSRC та провести порівняльний аналіз. 2) Змоделювати систему DSRC у програмі-симуляторі та провести аналіз передавання сигналів.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 11 табл., 57 рис.,1 презентація, 14 слайдів

7. Орієнтовний перелік публікацій: «Розумні світлофори», «Відмінність технології DSRC від технології Wi-Fi», «Технологія DSRC та її особливості»

8. Консультанти розділів дисертації*

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

9. Дата видачі завдання 10.09.2018

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації | Термін виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|---|---|---|---|
| 1 | Розробка детального плану дисертаційної роботи, пошук необхідної інформації | 12.12.18 | |
| 2 | Дослідження існуючих систем моніторингу за транспортною мережею | 29.02.19 | |
| 3 | Опис методів отримання та передачі даних з пристрою | 13.04.19 | |
| 4 | Підготовка електронної версії чорнового варіанту першого розділу | 25.05.19 | |
| 5 | Опис та дослідження побудови транспортних систем | 15.09.19 | |
| 6 | Узагальнення результатів теоретичних досліджень та моделювання | 15.10.19 | |
| 7 | Підготовка електронної версії остаточного варіанту дисертаційної роботи | 15.11.19 | |
| 8 | Оформлення дисертаційної роботи. Підготовка до захисту | 02.12.19 | |

Студент ____________ В.А. Павлюченко

Науковий керівник дисертації ____________ В.В. Макаренко

THE SUMMARY

This paper provides a comparative analysis of existing data transfer technology that is widely used for building information and multimedia systems in cars, the advantages and disadvantages of their using and the information about the new systems, which can significantly reduce the accidents on the road, thereby increasing the safety level of the vehicle which is used. Due to the technology DSRC, will be possible to monitor traffic and improve safety on the road.

Presented the schemes of organization monitoring which based on technology DSRC. The equipment of the DSRC is considered, the scheme of organization of broadband communication is calculated. Perspectives of development of the DSRC technology are considered.

УДК 534.2

## РЕФЕРАТ


Магістерська дисертація: 90 с., 11 табл., 57 рис., 1 дод., 28 джерел.

АВТОМОБІЛЬ, АНТЕНА, БЕЗПЕКА, БЕЗПРОВОДОВА МЕРЕЖА, БОРТОВИЙ ПРИСТРІЙ, ДОРОЖНІЙ ПРИСТРІЙ, КОМУНІКАЦІЯ, МОДУЛЬ, ТОПОЛОГІЯ, ТРАНСПОНДЕР, ТРАНСПОРТ, DSRC, OSI, RFID, VEHICLE-TO-VEHICLE, WI-FI.

Об’єктом дослідження є безпроводова мережа на основі технології DSRC, яка призначена для побудови системи комунікації між автомобілями.

Метою роботи є проведення порівняльного аналізу технології спеціального безпроводового зв’язку на короткій відстані з іншими безпроводовими технологіями при побудові транспортної мережі міста.

Методом дослідження є теоретичний аналіз можливості побудови транспортної мережі на основі технології DSRC, для використання даної технології в майбутньому з метою здійснення контролю за безпекою руху на дорогах.

В результаті виконання дипломної роботи були розглянуті переваги і недоліки технології DSRC. Було проведено порівняльний аналіз технології DSRC з іншими технологіями безпроводової передачі даних.

Галузь застосування: мережа може використовуватись при створенні системи безконтактної сплати за проїзд, побудови систем моніторингу за трафіком, комунікації між автомобілями та інших.

## ЗМІСТ


Скорочення та умовні познаки ........ 7
Вступ ........ 9
1 Аналітичний огляд ........ 10
1.1 Особливості технології DSRC ........ 10
1.2 Принцип роботи системи DSRC ........ 13
1.3 Модель OSI в технології DSRC ........ 19
1.4 Безпека передавання даних в системі DSRC ........ 27
1.5 Порівняння технології DSRC з технологією RFID ........ 29
1.5.1 Особливості технології RFID ........ 29
1.5.2 Порівняння технології DSRC та RFID ........ 32
1.6 Порівняння технології DSRC з технологіями родини Wi-Fi ........ 35
2 Моніторинг дорожнього руху у smart-місті за допомогою технології DSRC ........ 39
2.1 Пристрої для реалізації системи DSRC ........ 39
2.2 Алгоритм VTL ........ 45
3. Моделювання системи DSRC у smart-місті ........ 52
3.1 Розрахунок параметрів каналу зв'язку DSRC-VVDT ........ 52
3.2 Моделювання сліпого кута ........ 57
3.3 Моделювання каналу зв'язку 802.11p в програмі SystemVue ........ 71
4 Розроблення стартап-проекту ........ 75
4.1 Опис ідеї проекту ........ 75
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту ........ 77
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту ........ 78
Висновки ........ 82
Перелік джерел посилання ........ 84
Додаток А ........ 87

# СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

| | | |
|---|---|---|
| Інф | – | інфраструктура; |
| ПЗ | – | програмне забезпечення; |
| ТЗ | – | транспортний засіб; |
| APDU | – | application protocol data unit; |
| ASDU | – | application service data unit; |
| C2C | – | Car-to-Car; |
| CCC | – | compliance checking communication; |
| CCMP | – | counter mode with cipher block chaining message authentication code protocol; |
| CRL | – | certificate revocation list; |
| DNS | – | domain name system; |
| DSA | – | digital signature algorithm; |
| DSRC | – | dedicated short range communication; |
| ECDSA | – | elliptic curve digital signature algorithm; |
| EDCA | – | enhanced distributed channel access; |
| FCC | – | federal communications commission; |
| IEEE | – | institute of electrical and electronics engineers; |
| LBS | – | location-based service; |
| LPDU | – | LLC protocol data unit; |
| LSDU | – | link layer service data unit; |
| NOW | – | network on wheels; |
| OBU | – | on board unit; |
| OSI | – | open systems interconnection basic reference model; |
| PPDU | – | physical layer protocol data unit; |
| PSC | – | provider service context; |
| PSDU | – | physical layer service data unit; |
| PSID | – | provider service identifier; |

| | | |
|---|---|---|
| RCPI | – | received channel power indicator; |
| RSU | – | roadside unit; |
| TCP | – | transmission control protocol; |
| TKIP | – | temporal key integrity protocol; |
| UDP | – | user datagram protocol; |
| V2R | – | Vehicle-to-Roadside; |
| V2V | – | Vehicle-to-Vehicle; |
| WSA | – | windows sockets API; |
| WSMP | – | Wave short message protocol. |

# ВСТУП

Аварії та катастрофи на високошвидкісних автомагістралях – одна з найбільш серйозних проблем, що стоїть перед світовим суспільством сьогодні, так як це пов’язано з великою кількістю смертей під час аварій та фінансовими втратами, що викликані цими аваріями. Згідно з даними міністерства транспорту США, щорічно близько 165 мільярдів доларів втрачаються в аваріях на автомагістралях. Ще приблизно 50 мільярдів доларів втрачаються людьми в даремно втраченому часі на переповнених автомагістралях. Технології, такі як DSRC можуть вирішити проблеми з якими ми зіштовхуємось на транспортній мережі міста.

**Актуальність** роботи полягає в аналізі можливостей застосування технології DSRC у транспортній мережі міста.

**Метою** роботи є аналіз існуючої інформації про використання технології DSRC для передачі інформації між автомобілями та об’єктами транспортної інфраструктури, а також подальшої можливості розвитку систем передачі інформації з більшою надійністю та швидкодією.

**Методом дослідження** є теоретичний аналіз можливості побудови транспортної мережі на основі технології DSRC, для використання даної технології в майбутньому для здійснення контролю за безпекою на дорозі.

**Об’єктом дослідження** є телекомунікаційні системи на основі технології DSRC, що будуть застосовуватись у сучасних легкових автомобілях.

**Новизна** роботи полягає у аналізі перспективи використання технології DSRC при побудові транспортної мережі smart-міста.

**Практична цінність** полягає у систематизації існуючої інформації про технологію безпроводової мережі малого радіусу дії, порівнянні DSRC з технологіями, які використовуються при побудові транспортних мереж.

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

## 1.1 Особливості технології DSRC

Проблеми, які постали сьогодні перед людством є аварії та затори на автомобільних дорогах. Це є одними з найбільш серйозних проблем, так як це пов’язано з великою кількістю смертей та травм під час аварій. Фінансові втрати є невід’ємною частиною у цих подіях.

Нові методи та системи, що можуть вирішити дані проблеми заслуговують невід’ємної уваги та пріоритету. Тому багато передових країн світу вкладають значні фінансові кошти, що направляються на дослідження щодо підвищення безпеки руху автомобілів на високошвидкісних автобанах. Збільшення населення планети та супутнє цьому зростання використання у всьому світі різноманітних автомобілів, зі збільшенням їх скупчення на автобанах, вимагають створення автоматизованих систем безпеки руху, і, отже, розробляють засоби попередження та запобігання зіткнень на основі радарних і зв'язкових систем ще більш актуальною і негайною.

Досить велика кількість науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, що ведуться як в Україні, так і за кордоном (наприклад, європейський проект CarTALK 2000) протягом минулого десятиліття, спрямовані на вирішення проблем безпеки дорожнього руху на високошвидкісних автомагістралях. В кінці 2004 року німецький уряд виділив фінансування на проект по впровадженню технології безпроводової передачі даних Wi-Fi для забезпечення зв'язку між автомобілями на дорогах.

Новий проект отримав назву "Мережа на колесах" (Network on Wheels – NOW). Ідея проекту NOW ґрунтується на використанні стандарту IEEE 802.11. відомого також як безпроводова локальна мережа. Як тільки два транспортних засоби виявляються в межах дальності радіозв'язку, вони автоматично з'єднуються, і між ними встановлюється спеціальна локальна мережа. Однак діапазон дії такої безпроводової локальної мережі обмежений 70…100 метрами [1].

У 1999 році Федеральна комісія із зв'язку США (Federal Communications Commission, FCC) виділила ділянку спектра 5850…5925 МГц в діапазоні безпроводових мереж малого радіусу дії (Dedicated Short Range Communication, DSRC) для забезпечення безпеки дорожнього руху, які будуть використовуватися виключно для з'єднань транспортний засіб – транспортний засіб (ТЗ-ТЗ) і інфраструктура – транспортний засіб (Інф-ТЗ) на дальність до 1 кілометру.

Системи комунікації між автомобілями мають кілька назв: в Європі це Car-to-Car (Car2Car, C2C), в США – Vehicle-to-Vehicle (V2V). Зв'язок автомобіля з об'єктами інфраструктури позначається як Car-to-Infrastructure (C2I), Vehicle-to-Roadside (V2R). Останнім часом поширене інша назва – Car-to-X (C2X). Під "X" розуміються транспортні засоби та об'єкти інфраструктури [2].

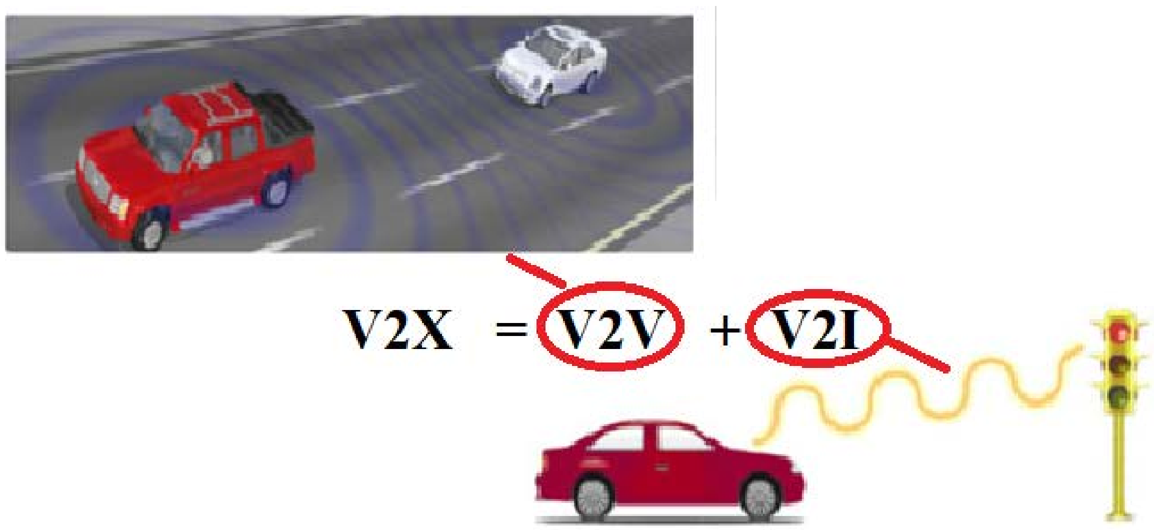


Рисунок 1.1 – Схематичне зображення системи V2X

Основною метою створення технології DSRC є надання додатків для громадської безпеки, шляхом об’єднання усіх транспортних об’єктів у єдину мережу, що дасть змогу рятувати людські життя і покращувати рух транспортного потоку. Розробка і впровадження приватних додатків допускається з метою зниження витрат і стимулювання розвитку DSRC.

Іншою важливою причиною виникнення системи DSRC стала потреба в ефективному засобі безконтактного автоматичного збору платежів за проїзд платних ділянок доріг, послуги паркування та інші сервіси. Використання приймачів ГЛОНАСС/GPS на дорожніх пристроях (Roadside Unit, RSU), за умови наявності їх точної геодезичної прив'язки, дозволяє передавати на транспондери (On Board Unit, OBU) зміну в визначенні координат ТЗ [3].

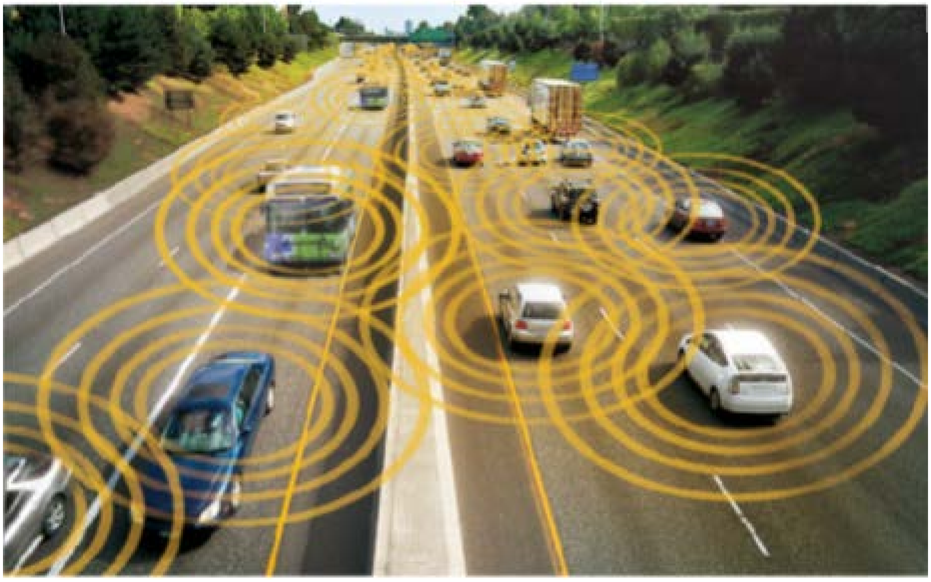

Рисунок 1.2 – Візуальне відображення об’єднання усіх транспортних об’єктів у єдину мережу за допомогою технології DSRC

Основне призначення технології DSRC:

- контроль дорожнього руху;
- автоматизація процесу стягування сплати за проїзд на спеціальних дорогах;
- надання оперативної інформації щодо щільності та швидкості транспортних потоків міста;
- оптимізація маршрутів міського транспорту.

Технологія DSRC забезпечує:

- дуже швидке (менш ніж 0.25 секунд) з’єднання;
- передавання даних зі швидкістю до 27 Мбіт/с на відстань до 1.5 км;
- стійку роботу при швидкості руху транспорту до 250 км/год.

Технологія DSRC представляє подальшу істотну віху у напрямку до розуміння і практичної реалізації системи "технічного бачення і безаварійного керування автомобілем". Згідно з дослідженнями, проведеними американською адміністрацією з безпеки руху на автобанах, 88 відсотків усіх аварій і нещасних випадків, коли один автомобіль врізається в інший автомобіль ззаду, – результат або неуваги водія або знаходження одного транспортного засобу занадто близько до іншого транспортного засобу спереду [1].

### 1.2 Принцип роботи системи DSRC

На транспортні засоби встановлюються бортові пристрої або транспондери, а вздовж доріг, на перехрестях і об'єктах транспортної інфраструктури – дорожні пристрої. Пристрої, що підтримують стандарт DSRC, працюють в особливому режимі, що дозволяє їм обмінюватися повідомленнями миттєво, без попередньої організації мережі.

Всі пристрої DSRC з періодичністю 100 мс посилають в ефір короткі повідомлення і приймають такі ж від інших бортових пристроїв і дорожніх пристроїв. OBU постійно надсилають в ефір повідомлення, що містять дані про їх координати, швидкість і прискорення, в той же час вони приймають аналогічні повідомлення від інших OBU та RSU. Шляхом порівняння отриманих параметрів інших транспортних засобів та власних значень швидкості та координат, OBU вираховує траєкторію руху транспортного засобу і вірогідність його зіткнення з іншими учасниками дорожнього руху. Про це OBU повідомляє водія, а у випадку наближення цієї вірогідності до критичного порогу – активує екстрене гальмування. RSU, що стоїть на перехресті, може, наприклад, інформувати транспортний засіб про режим роботи світлофора і оптимальної швидкості руху для проїзду перехрестя без зупинки. RSU, що встановлене вздовж дороги, здатне повідомити OBU про рекомендовану безпечну швидкість проїзду небезпечної ділянки [4].

Звичайні повідомлення безпеки – це регулярні статусні повідомлення про стан автомобіля, його швидкості. Повідомлення підвищеної важливості – при зміні поведінки водія (або стану інфраструктури), які порушують цілісність ситуації, що склалася. На рис. 1.3 показано приклад роботи системи автомобільної безпеки на основі технології DSRC.

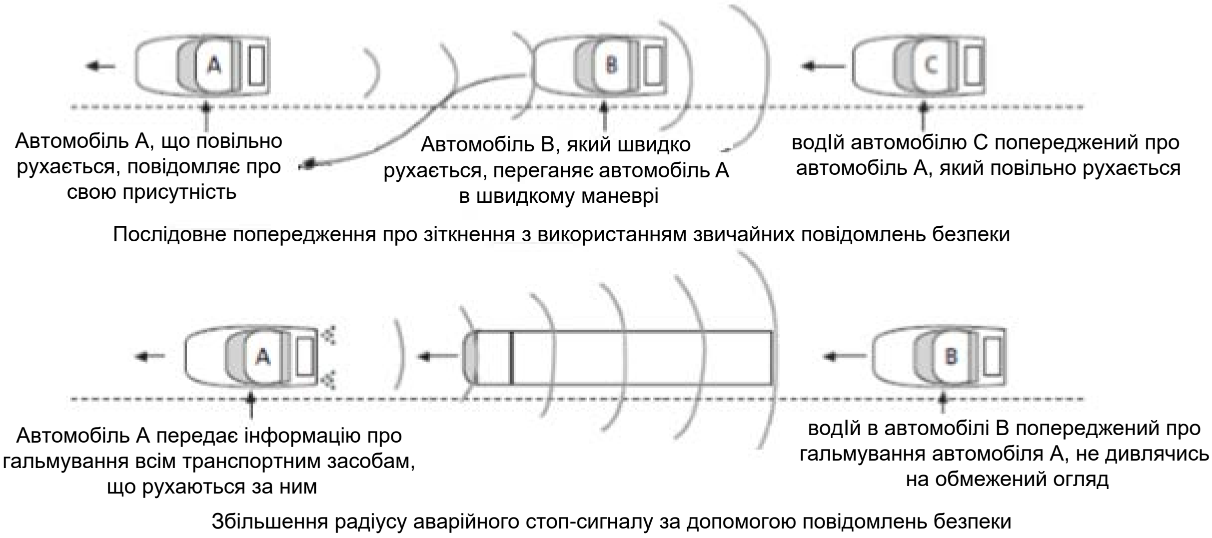


Рисунок 1.3 – Приклад роботи системи автомобільної безпеки на основі технології DSRC

Аварії з великою кількістю автомобілів найчастіше викликані різкими змінами в поведінці (наприклад, різке гальмування), щонайменше, одного автомобіля або більшого їх числа, що знаходяться в безпосередній близькості. На рис.1.4 показаний сценарій, в якому звичайні повідомлення безпеки сприяють підвищенню безпеки навіть при скоєнні звичайних маневрів.

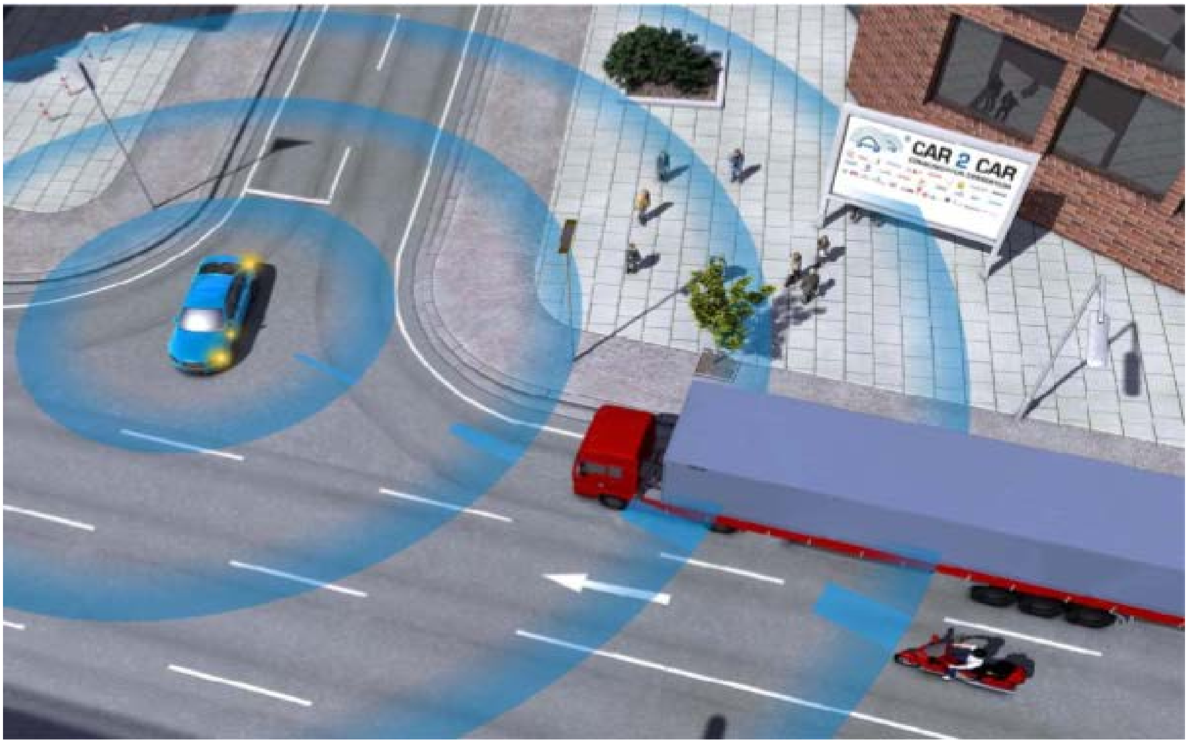


Рисунок 1.4 – Приклад роботи системи DSRC

Порядок з’єднання транспондера з антеною RSU поділяється на 4 етапи:

1. Транспондер отримує сигнал маяка і "прокидається". Сигнал маяка містить структуру даних BST до переліку наданих сервісів (додатків), які підтримуються на даній точці. Час між отриманням першого сигналу антени (будь-якого, не обов'язково містить BST) і готовністю транспондера до роботи становить 5 мс.

2. Антена і транспондер визначають канал, по якому буде здійснюватися обмін. По дорозі їде безліч автомобілів, і поділ каналу необхідно.

3. Транспондер за допомогою структури даних VST повідомляє про програму (або додатках), яке йому необхідно. Наприклад, EFC – електронна оплата проїзду.

4. Антена і транспондер встановлюють захищене з'єднання і обмінюються даними в рамках обраної програми [5].

Схематичне зображення взаємодії антени з транспондером показано на рис 1.5.

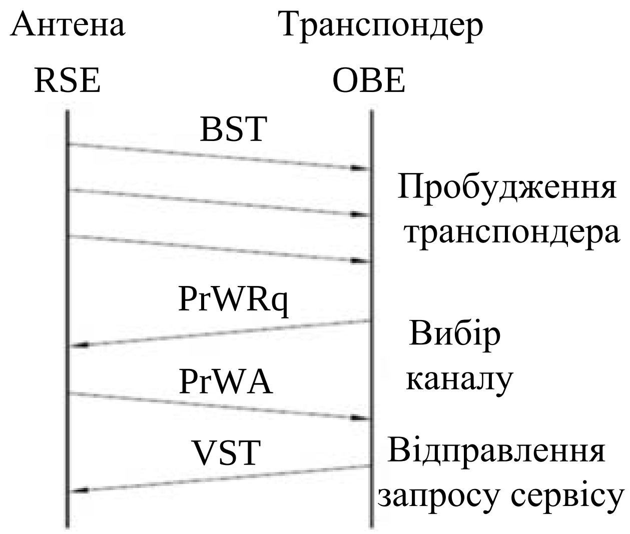


Рисунок 1.5 – Схематичне зображення взаємодії антени з транспондером

Технологія DSRC використовується в безконтактній сплаті проїзду. Схема безконтактної сплати проїзду працює наступним чином. В ході продажу транспондера, відбувається зіставлення номера транспондера і контракту користувача. В обліковій системі оператора ведеться баланс коштів на електронний рахунок транспондера. Транспондери з сумою балансу нижче певної позначки потрапляють в зону попередження – "помаранчевий список". Якщо суми не вистачає на оплату проїзду, такі транспондери потрапляють в "червоний" або "чорний" список.

| | |
|---|---|
| Зелений | Проїзд по транспондеру дозволено. Баланс Особистого рахунку вище за Порогове значення попередження |
| Помаранчевий | Проїзд по транспондеру дозволено. Баланс Особистого рахунку наближається за Порогового значення попередження. Рекомендовано поповнити особистий рахунок |
| Сірий | Проїзд по транспондеру заборонено. Баланс Особистого рахунку нижче за Порогове значення блокування. Необхідно поповнити особистий рахунок. |
| Червоний | Проїзд по транспондеру заборонено. Транспондер тимчасово заблоковано за заявою користувача. Плата за користування транспондером не стягується. |

Рисунок 1.6 – Відповідність кольорів транспондера на пунктах безконтактної сплати проїзду

"Кольорові" списки транспондерів поширюються по всіх пунктах стягування сплати і завантажуються в контролери смуг проїзду (або відразу в пам'ять антен деяких виробників).

Коли автомобіль наближається до пункту справляння плати за спеціальною смузі, він потрапляє в зони дії антени даної смуги, яка зчитує ідентифікатор транспондера. Контролер смуги (або ПЗ антени) виробляє звірку з "кольоровим" списком. Якщо транзакція сформувалася нормально і номер транспондера в списку відсутній, ПЗ контролера смуги дає сигнал на відкриття шлагбаума. При цьому автомобіль проїжджає пункт оплати зі швидкістю близько 30 км/год без зупинки. Якщо транспондер знаходиться в "помаранчевій" зоні, водій отримує попередження, наприклад запалюється спеціальний знак "Низький баланс" і шлагбаум відкривається. Якщо ж коштів недостатньо, то шлагбаум не відкривається, і користувачу доводиться оплачувати проїзд готівкою.

Для зручності користувачів режим проїзду пропускний пункт і спосіб оплати проїзду вказується комбінацією з дорожніх знаків і інформаційних щитів, розміщених над кожним пропускний пунктом [6].


Рисунок 1.7 – Приклад зображення комбінацій з дорожніх знаків та інформаційних щитів


Рисунок 1.8 – Приклад реалізації пропускних пунктів “NON-STOP та "STOP AND GO" у транспортній мережі міста

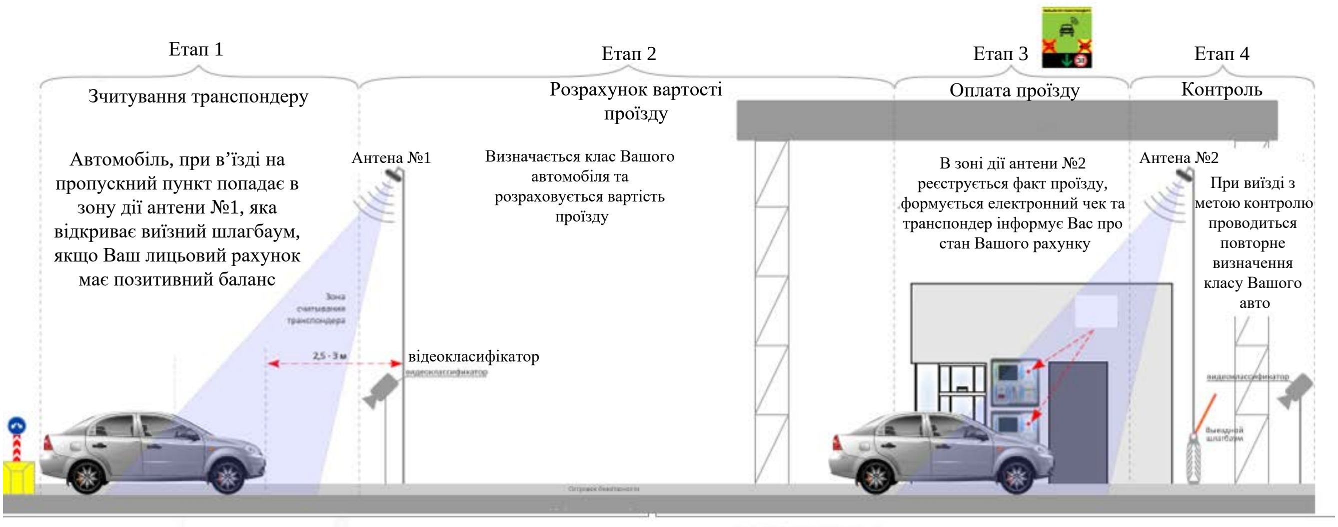


Рисунок 1.9 – Етапи проїзду пропускного пункту "NON-STOP"

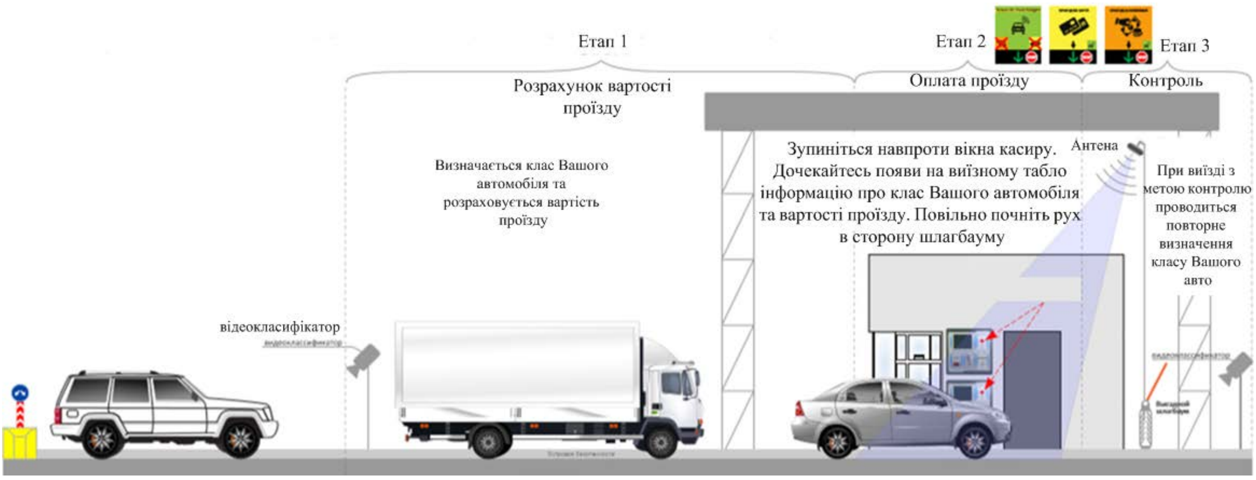


Рисунок 1.10 – Етапи проїзду пропускного пункту "STOP AND GO"

### 1.3 Модель OSI в технології DSRC

На рис.1.11 представлений стек протоколів, що застосовуються на різних рівнях моделі OSI. На фізичному і MAC рівні DSRC використовує протокол, який є зміненою версією стандарту IEEE 802.11 – IEEE 802.11p.

Верхні рівні, стеку DSRC включають набір стандартів, запропонований робочою групою IEEE 1609 (WAVE):

1. Забезпечення безпеки переданої інформації IEEE 1609.2.

2. IEEE 1609.3 описує функції на мережевому і транспортному рівнях, включаючи протокол коротких повідомлень WSMP (WAVE Short Message Protocol) який забезпечує малий час затримки при передачі повідомлення. Протокол WSMP дозволяє вибрати номер каналу, Потужність та швидкість передачі для кожного додатка більш високого рівня окремо, для чого використовується Ідентифікатор PSID (provider service identifier);

3. IEEE 1609.4 описує комутацію каналів. Технологія DSRC підтримує відомі протоколи мережевого і транспортного рівнів IPv6, призначений для користувача протокол дейтаграм (UDP) і протокол управління пре дачею (TCP). Вибір між WSMP або IPv6 + UDP/TCP залежить від вимог конкретного додатку [7].

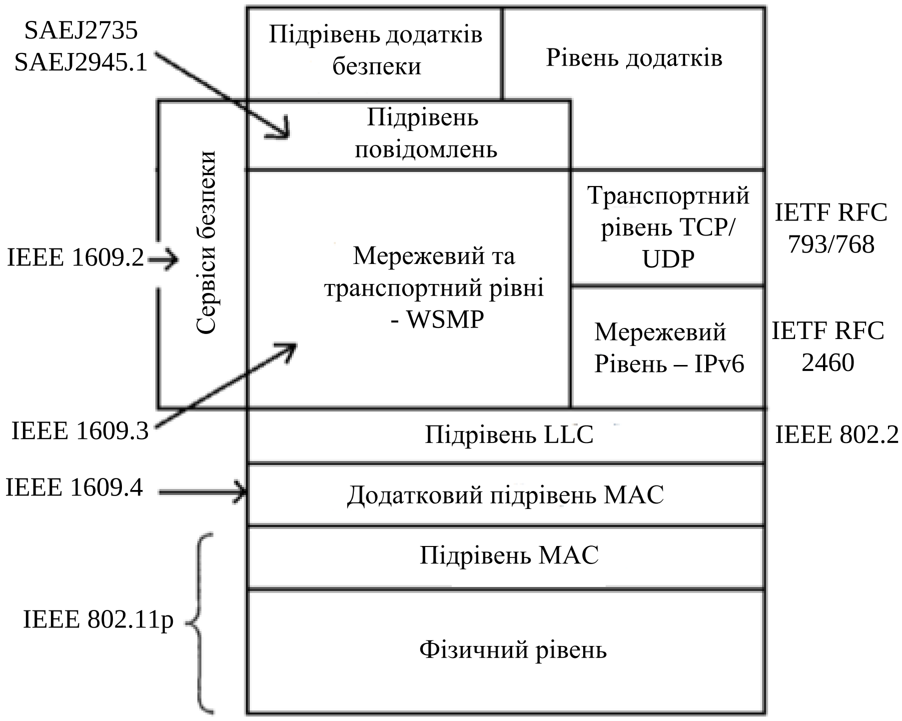


Рисунок 1.11 – Стек протоколів моделі OSI

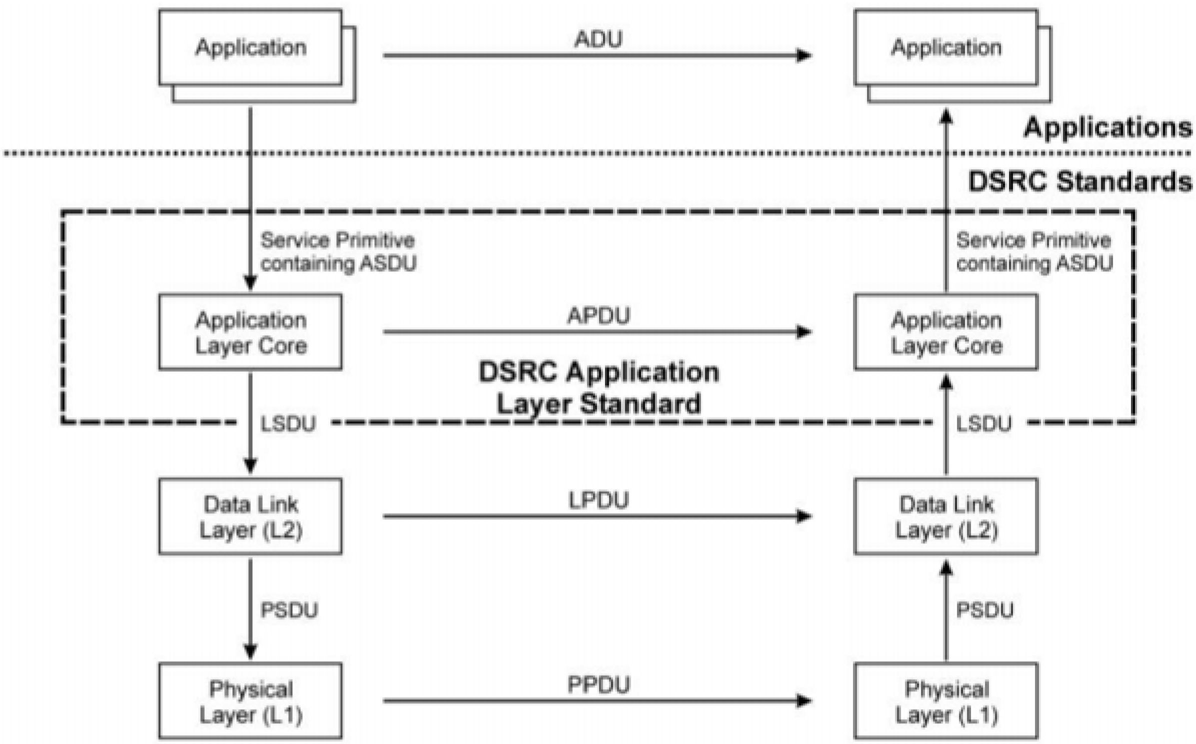


Рисунок 1.12 – Архітектура DSRC

На рис. 1.12 прийняті наступні позначення:

- ADU – блок даних програми (Application Data Unit);

- APDU – протокольний блок даних прикладного рівня (Application Protocol Data Unit);
- ASDU – блок даних прикладних послуг (Application Service Data Unit);
- LSDU – сервісний блок даних канального рівня (Link Layer Service Data Unit);
- LPDU – протокольний блок даних сервісного рівня (LLC Protocol Data Unit);
- PSDU – блок службових даних фізичного рівня (Physical Layer Service Data Unit);
- PPDU – протокольний блок даних фізичного рівня (Physical Layer Protocol Data Unit).

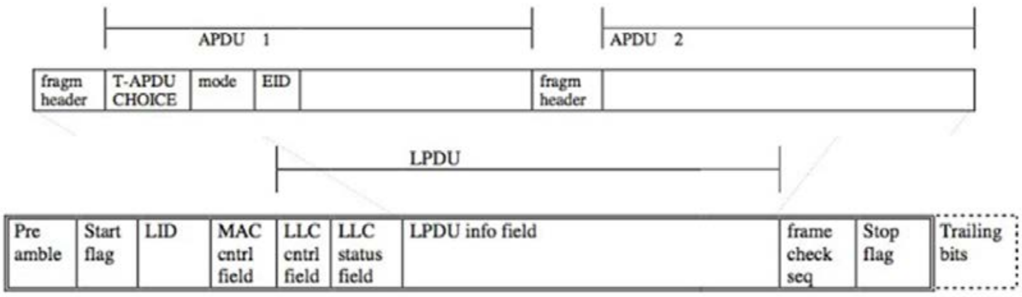


Рисунок 1.13 – Формат фрейму DSRC

Пояснення до рис. 1.13:

- преамбула (preamble) потрібна для синхронізації транспондера і антени;
- Start flag - 0111 1110;
- LID – ідентифікатор з’єднання для широкомовного повідомлення 11111111, для інших випадків – чотири октету випадково обраних під час встановлення з'єднання чисел для ідентифікації каналу обміну з конкретним транспондером;
- MAC controlfield містить інформацію про вміст пакету – висхідній лінії зв'язку або низхідній лінії зв'язку, команда або відповідь на команду і т.п.;

- LLC control містить тип команди або відповіді на команду, LLC status, відповідно, містить результат виконання команди;
- завершується фрейм CRC контрольної сумою і стоп-бітами аналогічними стартовому прапору.

Стандарт IEEE 1609.3 регламентує управління даними на мережевому і транспортному рівні в мережах DSRC, включаючи багатоканальне взаємодія між пристроями, а також адресацію і доставку даних для сервісів вищих рівнів.

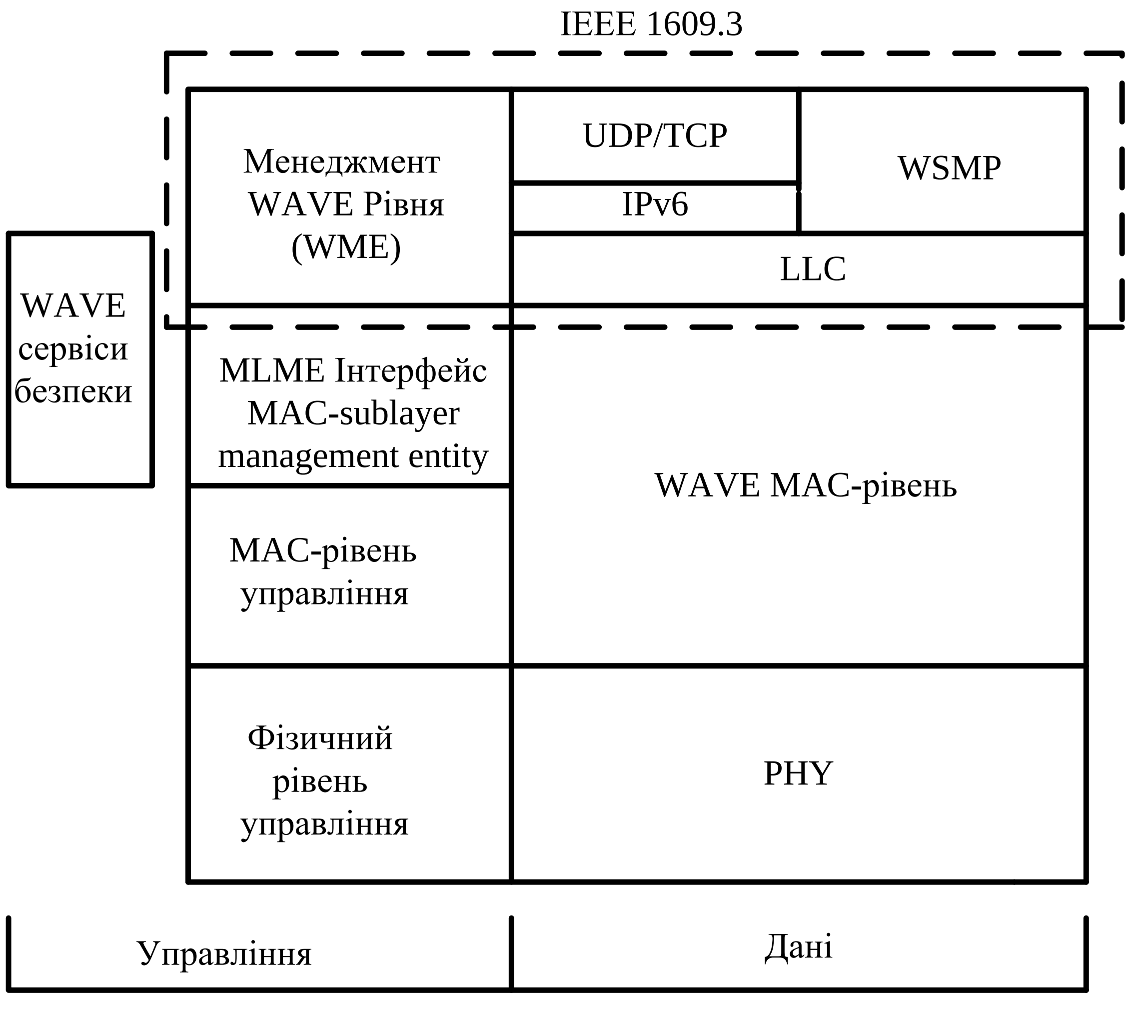


Рисунок 1.14 – Місце стандарту IEEE 1609.3 в стеку протоколів DSRC

У системах DSRC управління трафіком на мережевому і транспортному рівнях відбувається головним чином з використанням протоколу WSMP (WAVE short Message Protocol), який забезпечує малий час затримки на передавання повідомлення. Він дозволяє вибирати номер каналу, потужність і швидкість передачі для кожної програми більш високого рівня окремо, для чого використовується ідентифікатор (Provider Service Identifier, PSID).

Структура кадру повідомлення WAVE представлена на рис. 1.15. У першому полі вказується версія протоколу, в поле "ID елемента WSMP WAVE", задається тип WSM-повідомлення, за безпеку відповідає тип WSMP-S (WSMP safety supplement), а за ідентифікацію – тип WSMP-I (WSMP identity supplement).

В полі "Довжина" 12 біт використовуються для вказівки довжини поля даних в октетах і 4 біта зарезервовано для майбутніх потреб. Додатковими можуть бути поля з зазначенням номера каналу, швидкості передачі даних, потужності передавача – всі ці параметри визначаються в специфікації до стандарту IEEE 802.11.

В рамках архітектури побудови мережі (стандарт IEEE 1609.0, на даний момент в розробці) типи пристроїв можуть розглядатися також згідно тих функцій: споживач і постачальник послуг.

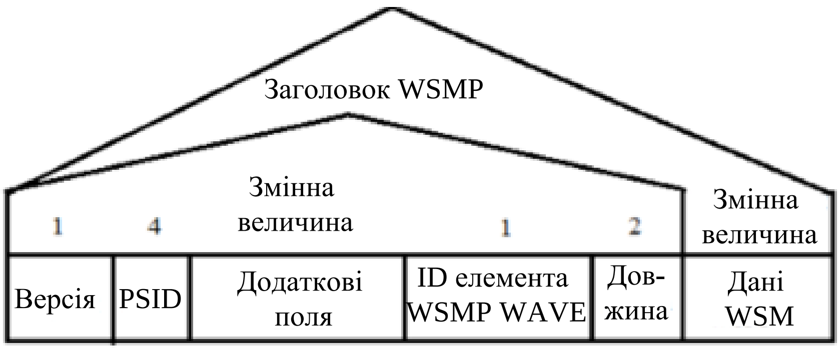


Рисунок 1.15 – Структура кадру повідомлення WAVE

Постачальник послуг визначає тип сервісних повідомлень WSA, використовуючи канал управління, в тому числі інформацію про сервіси та каналах, конфігурації ГР, розподілі часу передачі, а також пересилає дані по сервісним каналам для забезпечення роботи сервісів. Споживач послуг відстежує повідомлення WSA, що передаються по CCH, на предмет цікавих йому послуг і сервісів, доступних на SCH, і, знаходячи потрібну послугу, налаштовується на потрібне SCH. Структура повідомлення WSA зображена на рис. 1.16.

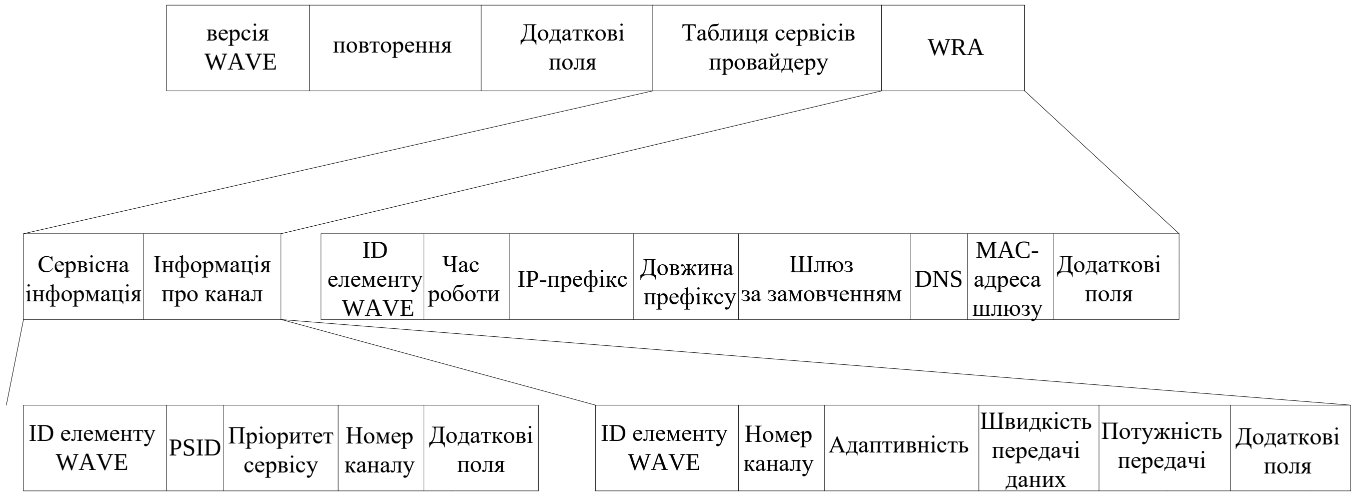


Рисунок 1.16 – Структура повідомлення WSA

У заголовку WSA вказуються версія WAVE-протоколу і значення лічильника, яке збільшується за модулем 4 щоразу, коли змінюється WSA.

Довжина додаткових полів може змінюватися, але не перевищує 225 октетів. Тут вказується інформація про період повторення повідомлень, потужності передавача, ідентифікатор постачальника послуг і територіальному положенні.

Кадр повідомлення WSA складається з наступних полів:

1. Поле "Сервісна інформація". Крім розглянутих двох перших полів, в поле "Пріоритет сервісу" визначається пріоритет пакета (всього є 64 види пріоритетів), в поле "Індекс каналу" є 32 набору параметрів каналу, а в додаткових полях може вказуватися інформація про контекст сервісного провайдера (provider service context, PSC), адреса IPv6, номер сервісного порту, MAC адрес провайдера, поріг RCPI (received channel power indicator), поріг лічильника WSA і поріг інтервалу лічильника WSA (діапазон від 1 до 255 в одиницях 100 мс).

2. Поле інформації про канал (рисунок 1.17, б), Поля "Робочий клас" і "Номер каналу" регламентуються в стандарті IEEE 802.11. Тут вказуються швидкість і

потужність передачі, параметри доступу до каналу і алгоритми поліпшеного розподіленого доступу до каналу EDCA (Enhanced Distributed Channel Access).

3. Поле WRA (Wave Routing Advertisement). В поле "Час роботи" вказується час з'єднання з роутером за замовчуванням в секундах; максимальне значення може становити 18.2 год.

4. В поле IP-префіксу задається префікс підмережі IPv6, в поле WRA – довжина префіксу, шлюз за замовчуванням, основний DNS і додаткові поля WRA, а в додаткових полях – додатковий DNS і MAC-адреса шлюзу.

| 1 | Змінна величина | 1 | 1 | Змінна величина |
|---|---|---|---|---|
| WAVE-елемент ID=1 | PSID | Пріоритет сервісу | Індекс каналу | Додаткові поля |

а)

| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Змінна величина |
|---|---|---|---|---|---|---|
| WAVE-елемент ID=2 | Робочий клас | Номер каналу | адаптивність | Швидкість передачі даних | Потужність передачі | Додаткові поля |

б)

| 1 | 2 | 16 | 1 | 16 | 16 | Змінна величина |
|---|---|---|---|---|---|---|
| WAVE-елемент ID=3 | Час роботи | IP-префікс | Довжина префіксу | Шлюз за замовчуванням | Основний DNS | Додаткові поля |

в)

Рисунок 1.17 – Поля сервісної інформації (а), інформації про канал (б) та WRA у кадрі повідомлення WSA

На прикладному рівні відбувається обмін інформацією в рамках відповідних програм. На поточний момент найбільш поширені такі програми:

• EFC – електронне стягування плати, AID = 1 (ідентифікатор додатки в таблиці VST). Прикладний рівень докладно розглянуто в стандарті ISO 14906-2011;

• LAC (Localisation Augmentation Communication) – протокол записи в пам'ять БО даних про місцезнаходження антени, AID = 21, стандарт ISO 13141-2010;

• CCC (Compliance Checking Communication) – обмін контрольної інформацією про ТЗ з метою перевірки дотримання правил справляння плати, ISO 12813-2009.

На пунктах оплати для організації невпинного проїзду використовується додаток EFC.

В ході взаємодії антени і транспондера формується транзакція проїзду, яка може доповнюватися даними вимірювання автомобіля. Залежно від введених тарифів і правил справляння плати, на пункті оплати може здійснюватися класифікація автомобіля, фотографування, розпізнавання номерного знаку і навіть ваговий контроль. Кожен транспондер перед виданням клієнтові проходить через етап ініціалізації, в ході якого в його пам'ять записується блок інформації EFC, який транспондер зобов'язаний передавати в ході інформаційного обміну.

Інформаційний блок в "максимальній комплектації" являє собою близько 50-ти стандартизованих атрибутів, які можна розділити на наступні групи:

- інформація про контракт користувача. Ці атрибути заповнюються завжди, так як без них неможливо сформувати транзакцію і списати кошти з рахунку користувача;
- інформація для чека (фінансова частина, супровідна інформація за вимогами локального законодавства і т.п.);
- інформація про автомобіль – заповнюються тільки необхідні для тарифікації та контролю атрибути;
- інформація про транспондери: заводський номер, номер смарт-карти (для БО, в які вставляється смарт-карта – в основному така схема застосовується в Японії), статус БО;
- інформація про водія і пасажирів (якщо кількість пасажирів враховується в тарифі);
- інформація про засоби платежу, якщо транспондер є одночасно засобом оплати (як в Японії і в деяких азіатських країнах) [8].

### 1.4 Безпека передавання даних в системі DSRC

Специфіка телекомунікаційних транспортних мереж не дозволяє використовувати засоби забезпечення безпеки, регламентовані стандартом IEEE 802.11, що призвело до створення протоколу IEEE 1609.2, де головним інструментом захисту даних виступає технологія електронних сертифікатів.

Широкомовні повідомлення не мають конкретного адресата і зазвичай використовуються додатками, що забезпечують безпеку дорожнього руху. Даний вид повідомлень підтримує WSM, які, з огляду на відсутність конфіденційної інформації, не шифруються і ідентифікуються тільки підписом сертифіката відправника. Кожне підписане повідомлення містить мітку часу, синхронізовану з часом GPS. Мітки часу всіх вхідних повідомлень звіряються одержувачем в кеші недавніх повідомлень, щоб уникнути повторення атак [9].

У мережах DSRC застосовується алгоритм підпису ECDSA (Elliptic Curve Digital Signature Algorithm). Алгоритм ECDSA (Elliptic Curve DSA) є аналогом алгоритму цифрового підпису DSA (Digital Signature Algorithm), реалізованим за допомогою еліптичних груп. Особлива перевага криптосистем на еліптичних кривих полягає в тому, що в порівнянні з системами на основі алгоритму RSA вони забезпечують більш високу стійкість при рівній трудомісткості або, навпаки, істотно меншу трудомісткість при рівній стійкості. В результаті той рівень стійкості, який досягається в RSA при використанні 1024-бітних модулів, в системах на еліптичних кривих реалізується при розмірі модуля 160 біт, що забезпечує більш просту як програмну, так і апаратну реалізацію [10].

Прикладом програми, що підтримує широкомовні розсилання, є сервіс Platooning ("караван"), затребуваний при організації автоколон. У цьому випадку ведучий OBU передає дані про зміну швидкості свого руху іншим ТЗ в колоні, що дозволяє синхронізувати параметр, сприяючи тим самим збільшенню пропускної спроможності автомагістралей, зниженню затрат палива та сприяє підвищенню безпеки на дорозі [11].


Рисунок 1.18 – Схематичне зображення системи "Караван"

Повідомлення про транзакції зазвичай є єдино адресними, для їх передачі застосовується стек IP. Оскільки даний вид повідомлень використовується для доступу до служби, заснованої на місцезнаходженні користувача (Location-Based Service, LBS), в них містяться персональні дані, зашифровані одним з симетричних алгоритмів шифрування, наприклад AES-CCMP. AES-CCMP (Counter Mode with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol – протокол блочного шифрування з кодом автентичності повідомлення (MAC) і режим зчеплення блоків і лічильника) – протокол шифрування 802.11 i, створений для заміни TKIP, обов'язкового протоколу шифрування WPA і WEP, як більш надійний варіант. CCMP є обов'язковою частиною стандарту WPA2 і необов'язковою частиною стандарту WPA.

CCMP, будучи частиною стандарту 802.11 i, використовує алгоритм Advanced Encryption Standard (AES). На відміну від TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) – протокол цілісності тимчасового ключа в протоколі захищеного доступу Wi-Fi Protected Access, управління ключами і цілісністю повідомлень здійснюється одним компонентом, побудованим навколо AES з використанням 128-бітного ключа, 128-бітного блоку, у відповідності зі стандартом шифрування FIPS-197 [12].

Для того щоб відправляти повідомлення, кожен пристрій в мережі має отримати цифровий сертифікат. Стандарт IEEE 1609.2 рекомендує включати в сертифікати для OBU громадської безпеки (public safety OBU, PSOBU) і RSU неавтоматизовану (ручну) частину. Підписуючи повідомлення, транспортний засіб може додати в нього ланцюжок сертифікатів, тобто сертифікат, авторизуйтесь сертифікат автомобіля, сертифікат, авторизуйтесь цей сертифікат, і так далі аж до кореневого сертифіката, що видається вищим органом виконавчої влади або акредитованою організацією. Отримавши підписане повідомлення, пристрій проводить впізнання кореневого сертифіката, використаного для авторизації сертифіката відправника, і перевіряє його за списком відкликаних сертифікатів (Certificate revocation list, CRL). CRL і набір діючих кореневих сертифікатів зберігаються локально на кожному вузлі і повинні підлягати періодичному оновленню [10].

## 1.5 Порівняння технології DSRC з технологією RFID

### 1.5.1 Особливості технології RFID

Описуючи технологію DSRC необхідно згадати і технологію RFID, яка є найближчою родичкою технології DSRC і також може бути використана в побудові транспортної мережі міста. Радіочастотна ідентифікація (RFID – Radio Frequency IDentification) – це метод автоматичної ідентифікації об'єктів, в якому за допомогою радіосигналів зчитуються або записуються дані, що зберігаються в так званих транспондерах або RFID-мітках.

Мітки містять електронну інформацію про власника і можуть бути, як активними, так і пасивними. Активні мітки використовують локальний джерело живлення (акумулятор, батарею), а пасивні харчуються від електромагнітних полів. Пасивні мітки зчитуються на відстані до 1 метра, активні – на відстані до 10 метрів. У системах RFID інформація з пристроїв зчитується за допомогою рідера , тому технологія RFID застосовуються у випадках, коли потрібно оперативний і точний контроль, відстеження та облік численних переміщень різних об'єктів. Радіочастотні засоби ідентифікації застосовуються в основному для обліку одиниць товару в комерції, контролю переміщення і контролю безпеки. А саме – електронний контроль доступу та переміщеннями персоналу на території підприємств, управління виробництвом, товарними і митними складами, для побудови дисконтних і логістичних систем, для захисту товарів та документів від підробок.

Системи радіочастотної ідентифікації зазвичай складаються з трьох основних компонентів: зчитувача, транспондера (мітки) і комп'ютерної системи обробки даних. Закріплені за об'єктом спеціальні мітки несуть ідентифікаційну та іншу інформацію. Для збору інформації, яку несуть в собі мітки, служать зчитувачі (сканери) RFID. Антени сканерів випромінюють електромагнітні хвилі, що активізують RFID-мітку і дозволяють проводити запис і зчитування даних з цієї мітки. Антена контролює весь процес отримання та передачі даних. Вони можуть бути вбудовані в спеціальні портативні пристрої, а також у ворота, турнікети, одвірки і т.п. для отримання інформації від предметів або людей, що проходять через зону дії антени. У разі безперервного зчитування великої кількості міток електромагнітне поле випромінюється антеною постійно. Якщо постійне опитування не потрібне, то поле може активуватися по команді оператора. Конструктивно антена і приймач з декодером можуть перебувати в одному корпусі. Сигнал, що надходить з антени, демодулюється, розшифровується і передається через стандартний інтерфейс в комп'ютер для подальшої обробки.

Типова структура найпростішої RFID-системи показана на рис. 1.19. В якості виконавчого пристрою часто використовується комп'ютер. Радіочастотна мітка називається транспондером або тегом [13].

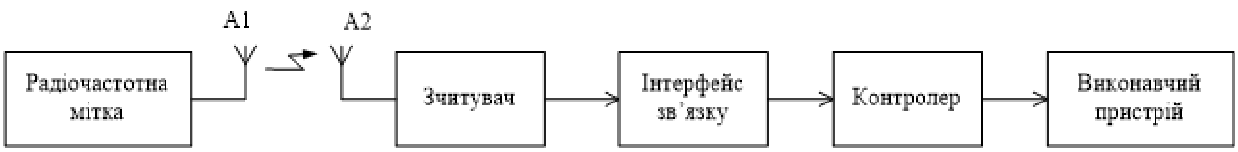


Рисунок 1.19 – Схема найпростішої системи радіочастотної ідентифікації

Технологія RFID також використовується в інтелектуальних транспортних мережах. Працює дана технологія за принципом "кодування" знаків.

Дорожні знаки кодуються тільки одного разу, тобто дію знаку закінчується тільки тоді, коли з'являється наступний. Для кожного типу транспортних засобів можна встановити різні знаки, користувач на кінцевому пристрої сам вибирає для якого транспортного засобу (легковий транспорт, вантажні машини або інше) зчитуються дорожні покажчики. На одній з ділянок дороги різні типи техніки можуть рухатися з різними максимальними швидкостями. Передбачається, що знаки обмеження швидкості дуже важливі і забезпечується постійна інформація про максимально допустимої на всій протяжності дороги.

Для коректної роботи система не вимагає ніяких додаткових пристроїв, таких як камери або GPS приймачів.

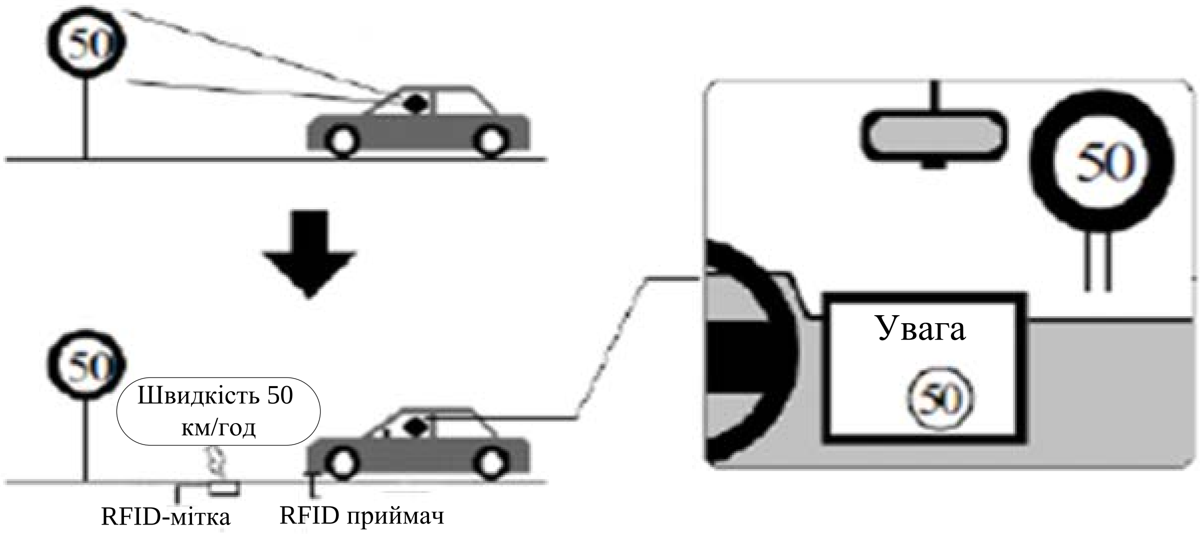


Рисунок 1.20 – Загальна концепція використання RFID-міток в процесі розпізнавання дорожніх знаків

Архітектура зчитування дорожніх знаків зображена на рис 1.21

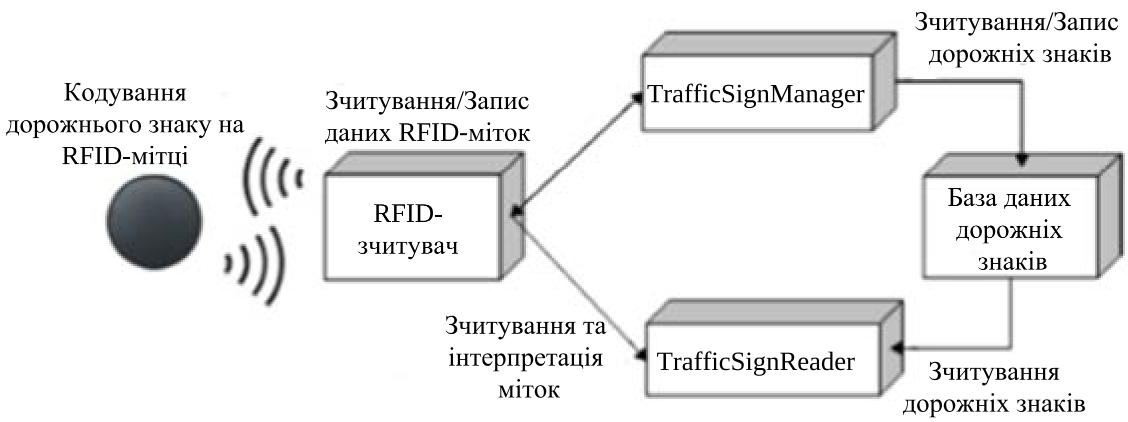


Рисунок 1.21 – Архітектура зчитування дорожніх знаків

Traffic Sign Manager дозволяє додавати нові знаки, видаляти існуючі і модифікувати відповідні метадані.

Traffic Sign Reader. Завданням цієї програми є виявлення мітки, розташованої в зоні зчитувача, зчитування збережених даних і їх відповідну інтерпретацію.

Програма пропонує додаткові функції:

1. Угруповання знаків (за категоріями: забороняють, обов'язкові, що попереджають, інформаційні). Це вносить певну конвенцію, яка дозволяє користувачеві швидко перевірити категорію, яку він шукає, замість того щоб шукати певний знак у всій робочій області програми. Існує також можливість вибрати кількість відображуваних ознак категорії і шукати ознаки обраного типу якщо є більше з них, ніж число, задане в параметрах.

2. Включення/вимикання звуку – в разі зчитування знаку, при первинному його появі, звукове сповіщення дається (чи ні). Ця функція спрямована на підвищення безпеки і комфорту за допомогою програми і зниження необхідність підтримувати зоровий контакт з пристроєм.

3. Структуризація дорожніх знаків – відображення тільки ознак, заданих користувачем.

Існує три стартових набору на вибір: автомобіль, вантажівка, інший. Завдяки цьому, тільки знаки для обраної категорії відображаються на екрані. Це дозволяє оптимізувати розміру необхідного робочого простору і зводить до мінімуму кількість інформації марною для користувача. Проект графічного інтерфейсу передбачається ясним і інтуїтивно зрозумілим. Основною метою було створити умови для водія, що б витрачати якомога менше уваги і не відволікатися від дороги, щоб пристрій відображало знаки і все необхідну інформацію [5].

### 1.5.2 Порівняння технології DSRC та RFID

В технології RFID мітки розрізняються за типом: активні, пасивні та напівактивні або напівпасивні мітки. Активні мітки працюють від приєднаного або вбудованого джерела живлення, вони вимагають меншої потужності зчитувача і, як правило, мають велику дальність зчитування. Пасивна мітка функціонує без джерела живлення, отримуючи енергію від електромагнітного поля зчитувача. Пасивні мітки менше і легше активних, менш дорогі, мають фактично необмежений термін служби. Напівактивна або напівпасивна RFID-мітка представляє з себе мітку з джерелом живлення, що активує свою роботу при отриманні сигналу від зчитувача. Так як їх енергія залежить не тільки від зчитувача, вони можуть бути прочитані на більшій відстані і володіють кращими характеристиками. Дальність дії такої системи може бути збільшена за рахунок внесення до неї додаткового каскаду посилення сигналу запиту [13].

У той же час технологія DSRC працює лише на основі активних пристроїв ідентифікації об'єктів, так як бортові пристрої постійно обмінюються між собою інформацією. Всі пристрої DSRC з періодичністю 100 мс посилають в ефір короткі повідомлення  і приймають такі ж від інших бортових пристроїв, що дозволяє транспортним засобам, обладнаних OBU “спілкуватись” між собою для уникнення аварійних випадків.

Основною відмінністю технології RFID від технології DSRC є відсутність можливості об’єднання у єдину мережу усіх об’єктів транспортної інфраструктури. Для організації мережі на основі технології RFID на кожному транспорті повинні бути встановлені RFID-мітка та RFID-приймач, так як мітки не мають можливості обмінюватися між собою інформацією. Така мережа може слугувати для організації транспортної інфраструктури лише для ідентифікації знаків або об’єктів транспортної мережі. Дальність комунікації між об’єктами, що обладнані пристроями RFID обмежена 10 метрами, в той час, як дальність об’єктів обладнаних пристроєм DSRC обмежена 1 кілометром.

У мережах DSRC використовується mesh-топологія. Mesh-топологія (або сітчаста топологія) – мережева топологія, побудована на принципі осередків, в якій робочі станції мережі з'єднуються один з одним і здатні приймати на себе роль комутатора для інших учасників. Дана організація мережі є досить складною в налаштуванні, проте при такій топології реалізується висока надійність. Як правило, вузли з'єднуються за принципом "кожен з кожним". Таким чином, велика кількість зв'язків забезпечує широкий вибір маршруту слідування трафіку всередині мережі – отже, обрив одного з'єднання не порушить функціонування мережі в цілому [14].

Такі мережі функціонують без базових станцій шляхом передачі сигналу безпосередньо з одного об'єкта на інший, тому вони не вимагають виділеної інфраструктури і повністю автономні. Крім того, mesh-мережі володіють підвищеною надійністю, тому що забезпечують дублювання маршрутів слідування інформації від вузла до вузла мережі. Приклад побудови mesh-мережі, основаної на взаємодії між собою транспортних засобів, обладнаних пристроями DSRC зображено на рис. 1.22.

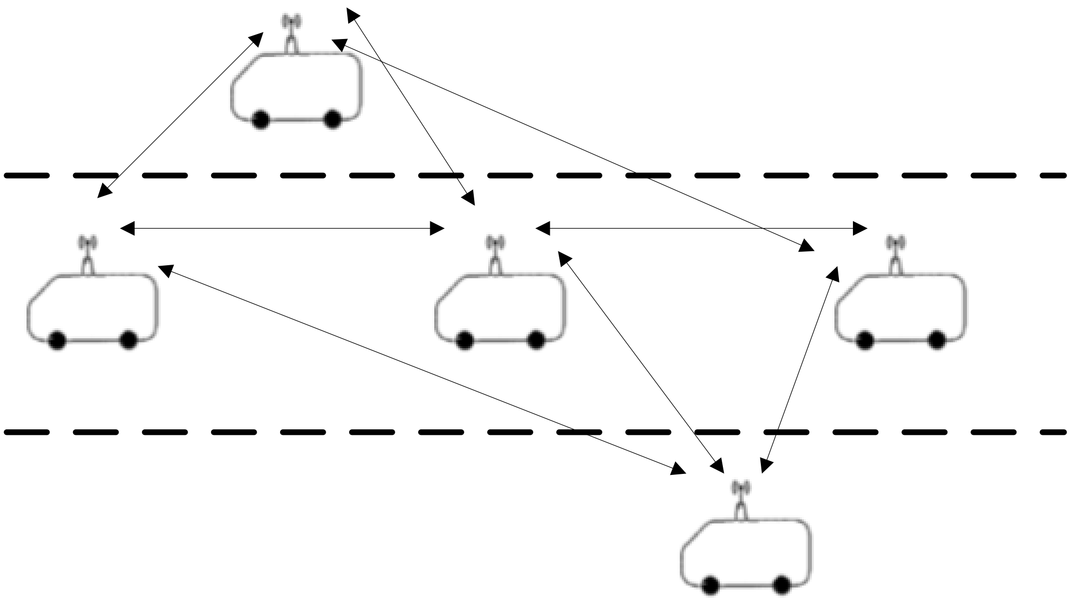

Рисунок 1.22 – Приклад побудови mesh-мережі між транспортними засобами, обладнаних пристроями DSRC

Мережу, яку будують між собою пристрої DSRC можна об’єднати з пристроями дорожньої інфраструктури і з магістральною мережею.

Об’єднавши між собою транспортні засоби, дорожню інфраструктуру і магістральну мережу можна здійснювати моніторинг і контроль над дорожнім трафіком. Отримавши контроль над дорожнім трафіком люди зможуть швидко отримати інформацію про аварії та затори на дорозі. Це дасть змогу підвищити безпеку на дорозі та зекономити час. Приклад побудови об’єднаної мережі на основі технології DSRC зображено на рис. 1.23.

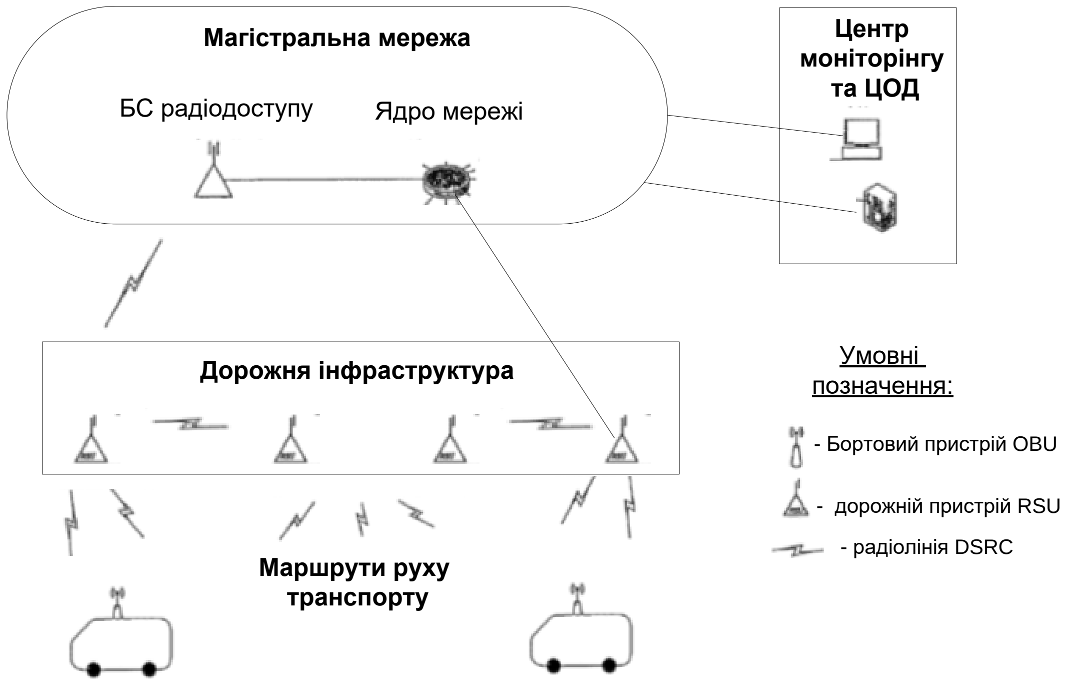


Рисунок 1.23 – Приклад побудови об’єднаної мережі на основі технології DSRC

## 1.6 Порівняння технології DSRC з технологіями родини Wi-Fi

Технологія DSRC базується на добре технології Wi-Fi, яка, в свою чергу, підтримується сімейством стандартів IEEE 802.11. У стандартах 802.11 регламентується архітектура мережі і самих пристроїв, описуються основні сім рівнів моделі OSI і протоколи їх взаємодії. Стандарт задає базову частоту, а також методи модуляції і розширення спектра на фізичному рівні.

Таким чином, в стандарті 802.11 задані центральна частота 2.4 ГГц. Крім того, початковий варіант стандарту 802.11 описував передавання даних в інфрачервоному діапазоні. Смуга частот і підносійної частоти для пристроїв стандарту 802.11 виділяються і регламентуються в кожній конкретній країні уповноваженим на те урядовим органом. Також місцевим законодавством регламентуються правила експлуатації самих пристроїв, їх потужність, розбиття частотного діапазону, потужності передавача і інші характерні особливості [15].

Конфігурація подібних мереж постійно варіюється, і, щоб швидко змінювати маршрути проходження інформаційного потоку, застосовуються mesh-технології.

Швидкість передачі в каналі DSRC – 27 Мбіт/с. Для більшості додатків ІТС це значення цілком задовільне, тим більше що 27 Мбіт / с забезпечується в смузі 10 МГц. Загальний частотний ресурс, виділений для обладнання DSRC, становить сім несучих по 10 МГц в діапазоні 5855...5925 МГц. Таким чином, пропускна здатність однієї базової станції придорожнього пристрою може досягати 189 Мбіт/с [5].

Порівняльні характеристики технологій родини Wi-Fi, DSRC та рухомого радіотелефонного зв’язку зображено в табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльні характеристики технологій для організації зв’язку з рухомими об’єктами

| Характеристики | Рухомий радіотелефонний зв’язок | Сімейство Wi-Fi | DSRC |
|---|---|---|---|
| Стандарт | DPRS, EDGE, UMTS, HSPA, LTE | IEEE 802.11a/b/g/n/ac | IEEE 802.11p IEEE 1609 |
| Робочі частоти | 900/1800 МГц | 2.4 ГГц, 5 ГГц | 5,9 ГГц |
| Швидкість передачі даних | 150 Мбіт/с (LTE) | До 1300 Мбіт/с ( IEEE 802.11ac) | 27 МБіт/с |
| Час встановлення з’єднання | 2 с | 2 с | 250 мс |
| Затримка | Від 500мс до 2с | Від 500мс до 2с | до 50 мс |
| Ширина каналу | Від 200 кГц до 100 МГц | Від 20 до 160 МГц | 10 МГц |
| Максимальна швидкість руху об’єкту | 120 км/год (для LTE) | 8 км/год | 500 км/год |
| Дальність зв’язку | 35 км (для 900 МГц) | 300 м (на відкритій місцевості) | 1 км |

Принцип роботи системи DSRC – в постійному обміні інформацією, такою як місце розташування, швидкість, прискорення транспортних засобів між собою, а також між транспортними засобами і об'єктами дорожньої інфраструктури. Параметри, які має технологія DSRC задовольняють потребам технології, яка має обслуговувати транспортну мережу. В порівнянні з технологією Wi-Fi технологія DSRC діє на відстані до 1 км, в той час, коли технологія Wi-Fi діє лише до 300 м на відкритій місцевості. Максимальна швидкість руху пристрою DSRC 500 км/год, що дає суттєву перевагу над технологією Wi-Fi, яка може працювати лише при швидкості 8 км/год.

Поступаючись в швидкості найбільш передовим технологіям, такі як рухомий радіотелефонний зв’язок та Wi-Fi, технологія DSRC має кращі параметри часу встановлення з'єднання і затримки передачі пакетів, що стало можливо завдяки спрощенню деяких процедур ідентифікації і безпеки в системі.

**Висновки до розділу**

Під терміном DSRC розуміють спеціальний безпроводовий зв’язок на малій відстані. Основне призначення цієї технології:

• контроль дорожнього руху;

• автоматизація процесу стягування сплати за проїзд на спеціальних дорогах;

• надання оперативної інформації щодо щільності та швидкості транспортних потоків міста;

• оптимізація маршрутів міського транспорту.

Технологія DSRC забезпечує:

• дуже швидке (менш ніж 0.25 секунд) з’єднання;

• передавання даних зі швидкістю до 27 Мбіт/с на відстань до 1.5 км;

• стійку роботу при швидкості руху транспорту до 250 км/год.

За допомогою технології DSRC можна здійснювати контроль над дорожнім рухом та отримувати оперативну інформацію про його стан. Це дає змогу підвищити безпеку та ритмічність руху транспортної мережі міста.

DSRC-технологія має й інші переваги:

• не завантажує мобільні мережі локальних трафіком;

• легко інтегрується з іншими мережами зв'язку (провідні мережі, інтернет, GSM, ГЛОНАСС / GPS і ін.);

• мінімізує витрати на будівництво інфраструктури;

• надійніше інших технологій при роботі на транспорті, що рухається.

Пристрої, що підтримують стандарт DSRC, працюють в особливому режимі, що дозволяє їм обмінюватися повідомленнями миттєво, без попередньої організації мережі.

За допомогою технології DSRC можна здійснювати контроль над дорожнім рухом та отримувати оперативну інформацію про його стан. Це дає змогу підвищити безпеку та ритмічність руху транспортної мережі міста.

Основною відмінністю технології RFID від технології DSRC є відсутність можливості об’єднання у єдину мережу усіх автомобілів. Для організації мережі на основі технології RFID на кожному транспорті повинні бути встановлені RFID-мітка та RFID-приймач, так як мітки не мають можливості обмінюватися між собою інформацією. Така мережа може слугувати для організації транспортної інфраструктури лише для ідентифікації знаків або об’єктів транспортної мережі. Дальність комунікації між об’єктами, що обладнані пристроями RFID обмежена 10 метрами, в той час, як дальність об’єктів обладнаних пристроєм DSRC обмежена 1 кілометром.

Для забезпечення роботи технологій DSRC та RFID не потрібно ні контакту зі зчитувачем, ні прямої видимості зчитувача, на відміну від систем з використанням штрих-кодування, магнітних і smart-карт. Надійна робота гарантована при роботі в агресивних середовищах і несприятливих кліматичних умовах.

Поступаючись в швидкості найбільш передовим технологіям, такі як рухомий радіотелефонний зв’язок та Wi-Fi, технологія DSRC має кращі параметри часу встановлення з'єднання і затримки передачі пакетів, що стало можливо завдяки спрощенню деяких процедур ідентифікації і безпеки в системі.

# 2 МОНІТОРИНГ ДОРОЖНЬОГО РУХУ У SMART-МІСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ DSRC

## 2.1 Пристрої для реалізації системи DSRC

До пристроїв, що забезпечують побудову системи DSRC висувають дуже суворі умови, так як будь-яка помилка на дорозі може призвести до втрати життя. Пристрої DSRC повинні бути встановлені правильно і на зазначеній відстані.

Висота установки базових станцій повинна бути не нижче 5 м, оскільки антени абонентських станцій бортових пристроїв OBU (On Board Unit), розміщені на громадському транспорті, розташовані на висоті 2…3 м від рівня землі. Надмірне піднесення дорожніх пристроїв RSU (Roadside Unit) над рівнем землі (наприклад, на дахах висотних будівель) не дає належного ефекту, оскільки із збільшенням зони охоплення в міському середовищі виникає затінення ділянок. Отже, найбільш зручним місцем установки RSU є об'єкти дорожньої інфраструктури: світлофори, стовпи освітлення, опори контактної мережі, рекламні щити. Саме тому для пристроїв DSRC важливо забезпечити продуктивність антени – ці пристрої повинні працювати завжди, навіть у суворих погодних умовах, таких як низька або дуже висока температура, надмірна вологість, сильний вітер.

Для міста, розташованого в передгірській місцевості, радіус охоплення базової станції, встановленої на висоті 7 м, становить 500-700 м (усереднена оцінка). Зона охоплення багато в чому залежить від висоти підйому антени, кривизни вулиць, наявності рослинності, що відбивають властивостей будинків і дорожніх покриттів. Наприклад, ефект багатопроменевого поширення і відображення хвиль між будинками довгих вулиць з щільною забудовою може забезпечити впевнений прийом сигналу на видаленні декількох кілометрів від RSU. Розмір зони обслуговування базових станцій до 1,0…1,4 км в діаметрі гарантує задовільну пропускну здатність. Приклади установки дорожніх пристроїв зображено на рис. 2.1 та 2.2 [16].

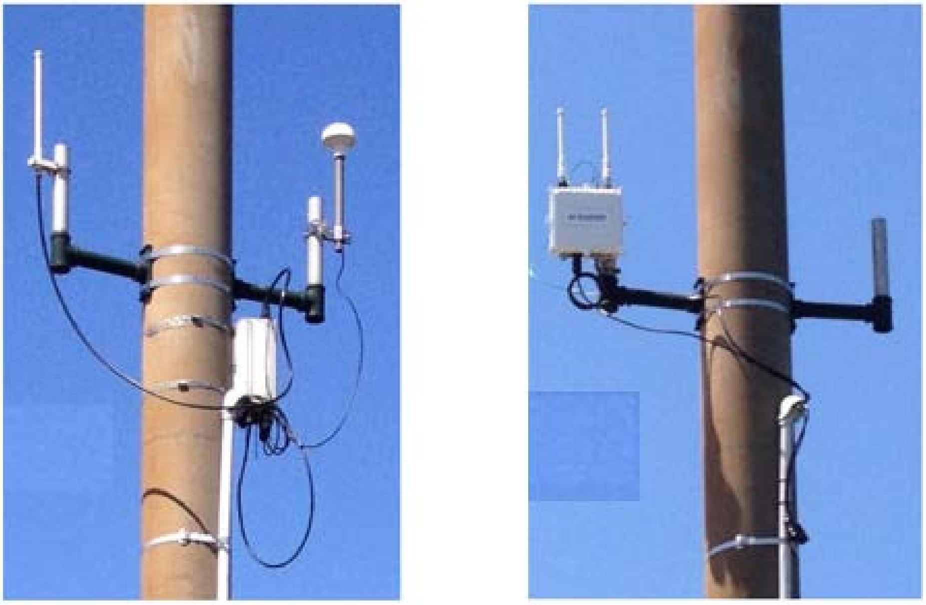

Рисунок 2.1 – Приклад установки антени RSU

Рисунок 2.2 – Антени DSRC в зоні пункту збору сплати за проїзд

Прикладом RSU може слугувати дорожня станція RIS-9160. RIS-9160 – це дорожня станція від виробника “Kapsch” останнього покоління. Станція RIS-9160 слугує для забезпечення зв'язку між транспортними засобами та дорожньою інфраструктурою за технологією DSRC. Також даний пристрій створено для підтримання додатків в середовищі спільної транспортної інфраструктури, яке базується на технологіях зв'язку в цілому. Різні варіанти конфігурації та відкриті інтерфейси сприяють масштабованій експлуатації платформи RIS-9160. RIS-9160 забезпечує швидкий обмін даними між транспортними засобами та дорожньою інфраструктурою, центром управління трафіком або контролером сигналів для забезпечення повних можливостей дорожніх систем. Дорожня стація RIS-9160 зображена на рис. 2.3 [17].

Рисунок 2.3 – Дорожня станція RIS-9160

Характеристики дорожньої станції RIS-9160 наведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Характеристики дорожньої станції RIS-9160

| Параметр | Значення |
|---|---|
| Стандарти, що підтримує RIS-9160 | 802.11p, SAE J2735, ETSI ITS-G5, IEEE WAVE |
| Ширина частотного спектру | 5.850…5.925 ГГц |
| Ширина каналу | 10 МГц та 20 МГц |
| Максимальна вихідна потужність | 21 дБм |
| Чутливість | -95 дБм |
| Живлення | PoE 802.3at-2009 |
| Діапазон робочих температур | -40...85 °С |
| Час безвідмовної роботи | 100000 годин |

Прикладом OBU може служити модуль VTM721 виробництва Norbit (Норвегія). Модуль представляє собою приймально-передавальний пристрій, розроблений для використання в мережах DSRC відповідно до стандартів CEN/TC278 і ETSI. Модуль VTM721 кріпиться на лобовому склі автомобіля і може бути інтегрований в ГЛОНАСС/GPS блок визначення місцезнаходження транспортного засобу. Модуль побудований на унікальному чіпсеті власної розробки, який поєднує в собі високочастотний трансивер, мікропроцесор, блок криптографії та захисту призначених для користувача налаштувань. До складу модуля входить спрямована антена, тонко розрахована для найбільш стабільної роботи [2]. Дане рішення забезпечує максимальну надійність, гнучкість і безпеку. Модуль використовується в системах електронної оплати за проїзд та в системах попередження про аварійну ситуацію на дорозі [18].

На рис. 2.5 показано зовнішній вигляд модуля VTM721. Технічні характеристики модуля VTM721 наведено у таблиці 2.2


Рисунок 2.4 – Модуль VTM721

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики модуля VTM721

| Параметр | Значення |
|---|---|
| Частотний діапазон | 5,8 МГц |
| Посилення | + 7 dBi |
| Чутливість | -48 dBm |
| Напруга живлення | 3,3 В |
| Розміри | 60×42×4 мм |
| Маса | 5 г |
| Робоча температура | -25...70 °C |
| Споживання струму під час роботи | до 6 мА |
| Споживання струму під час режиму “сну” | 10 мкА |

Ще одним прикладом OBU є антена Taoglas DCP.5900. Це керамічна патч-антена, призначена для нових програм систем V2V та V2X. DCP.5900 підтримує новітні комунікаційні технології для транспортних засобів DSRC. Антена працює від 5850 МГц до 5925 МГц, повністю охоплюючи спектр, виділений для DSRC Федеральною комісією зв'язку США (FCC) та Європейським інститутом телекомунікаційних стандартів (ETSI). Використовуючи ці частоти, DSRC дозволить автомобілям спілкуватися один з одним та попереджати водіїв про небезпеку на дорогах.

Ця антена підтримує високу швидкість і низьку затримку з безпроводовим зв'язком на малих відстанях. DCP.5900 має ефективність 75% і працює в надійних умовах, забезпечуючи постійне підключення навіть в суворих погодних умовах, таких як низька або дуже висока температура.

Навіть незважаючи на те, що розміри мініатюрної антени лише 12×12 мм, вона демонструє піковий коефіцієнт 5,89 дБі і більше 75% ефективності. Антена має кругову поляризацію, що означає, що виробникам пристроїв не потрібно турбуватися про відсутність зв'язку з іншими пристроями, такими як автомобілі та світлофорні системи, таким чином патч-антена SDCP.5900 забезпечує більш стабільну силу сигналу системи, яка зазвичай потрібна для рухомих транспортних засобів. Кругова поляризація обмежує будь-яке потенційне ухилення в сигналі від зміни орієнтації до 3 дБ у порівнянні з потенційною ухиленням в 40дБ і більше для лінійних аналогів. Це дає змогу підтримувати зв'язок набагато надійніше [19].

DCP.5900 дозволяє виробникам OEM передавати і отримувати більш ефективні антени з різною поляризацією та характеристиками, важливі в мобільному середовищі [20].


Рисунок 2.5 – Фото антени SDCP.5900

Ще одним прикладом OBU є транспондер TRP-4010 повністю сумісний з останніми гармонізованими специфікаціями і стандартами для електронного стягування плати за проїзд, такими як A1, CESARE / PISTA, CARDME і EN 15509. Також він підтримує інші додатки, такі як автоматична ідентифікація транспортних засобів, управління доступом, паркуванням і т.д. Зовнішній вигляд транспондера TRP-4010 наведено на рис. 2.6


Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд транспондера TS3203

## 2.2 Алгоритм VTL

Одна з головних проблем людства – затори на дорогах. Одна з причин заторів – неправильно розподілення руху, наприклад, коли ви стоїте на світлофорі, горить червоне світло, а по поперечної дорозі немає руху.

У жителів передмість таких міст, як Мехіко, Нью-Йорк, Рим, Москва, Пекін, Київ і Найробі ранкова дорога на роботу може перевищити дві години. Алгоритм VTL (Virtual Traffic Lights), який працює на основі технології DSRC (Dedicated Short-Range Communications), може вирішити дану проблему.

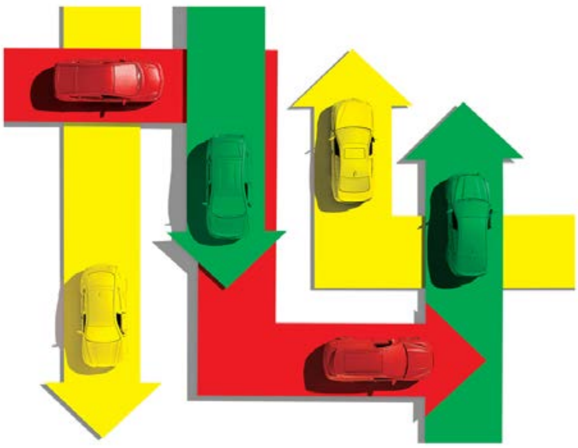

Рисунок 2.7 – Візуальне представлення роботи алгоритму VTL

Принцип роботи світлофора практично не змінився з тих пір, як цей пристрій винайшли в 1912 році і впровадили в Солт-Лейк-Сіті. Було багато ідей щодо автоматизації контролю трафіку. Наприклад, одна з ранніх ідей полягала в установці магнітних котушок під поверхню асфальту, які визначали б наближення машин до перехрестя і виправляли б тривалість роботи зеленої і червоної фаз. Також для підрахунку наближення машин і обчислення найкращого часу роботи фаз світлофора можна використовувати камери на перехрестях. Але обидві технології дорогі в установці і обслуговуванні, і тому встановлені на небагатьох перехрестях [28].

За допомогою алгоритму VTL можна автоматизувати переключення світлофору, підлаштовуючись під трафік. Якщо кілька автомобілів під'їжджають до перехрестя, обмінюючись даними завдяки технології DSRC, то вони спільно обирають машину-лідер на певний період, в який вона вирішує, у якого напрямку буде зелений сигнал світлофору, і у якого напрямку буде червоний сигнал світлофору.

Принцип роботи алгоритму VTL зображено на рис. 2.8.

Лідер призначає статус червоного світла для свого напрямку руху, і дає зелене світло всім машинам, які їдуть перпендикулярно. Після 30 секунд, інша машина, в перпендикулярному потоці, стає лідером, і робить те ж саме. Лідерство постійно передається, щоб рівномірно ділити відповідальність.

Алгоритм VTL обирає лідерів, опитуючи такі параметри, як відстань до передньої машини з кожного під'їзду до перехрестя, швидкість машин, кількість машин на кожній з доріг, і т.д. За інших рівних алгоритм вибирає машину, розташовану як найдалі від перехрестя, щоб у неї був час на гальмування. Це правило гарантує, що найближчим до перехрестя транспортний засіб отримає право проїзду – тобто, віртуальне зелене світло.


Рисунок 2.8 – Принцип роботи алгоритму VTL

Алгоритм VTL, працюючи на комп'ютері автомобіля, отримує дані координат, додає ті, що він отримує від сусідніх, і накладає результат на такі цифрові карти, як Google Maps, Apple Maps або OpenStreetMap.

В такий спосіб кожна машина може обчислити відстань до перехрестя і до інших машин, що наближаються до нього з інших напрямків. Вона також може обчислити швидкість, прискорення і траєкторію кожної з машин. А це все, що потрібно алгоритму, щоб вирішити, хто проїде через перехрестя, і кому потрібно зупинитися. Після цього на приладовій панелі кожної машини буде показаний колір світлофора, свій для кожного водія. Алгоритм VTL вирішує тільки проблему управління рухом на перехрестях, визначення знаків «стоп» і «поступися дорогою».

Алгоритм дозволяє машинам самим контролювати дорожній рух, як це працює у колоні комах або зграї риб. Зграя риб одночасно змінює напрямок руху, без головного регулювальника, що направляє окремих її членів. Кожна риба отримує інформацію про рухи від сусідніх.

Візуальне зображення вибору машини-лідера зображено на рис. 2.9, 2.10, 2.11.

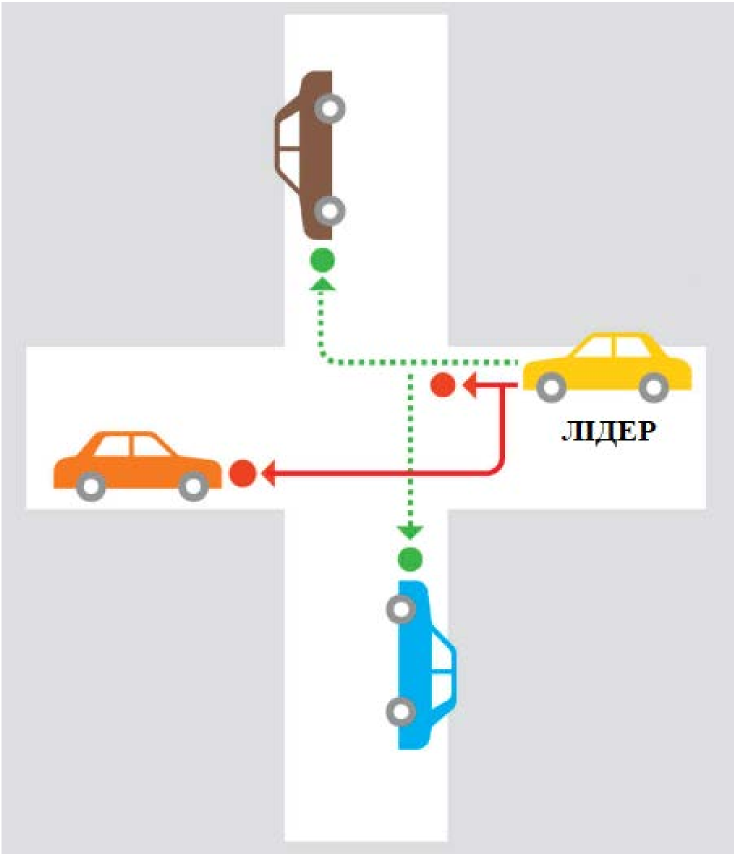


Рисунок 2.9 – Вибір машини-лідера на перехресті

1. Кожен транспортний засіб обчислює своє власне відстань до перехрестя, відстань транспортних засобів, що наближаються до перехрестя з інших напрямків, швидкість, прискорення і траєкторію кожного транспортного засобу. Разом вони вибирають один транспортний засіб, щоб служити лідером протягом певного періоду часу.

2. Автомобіль-лідер вирішує, у якому напрямку має право рухом (еквівалент зеленого світла) та в якому напрямку має червоне світло.

3. Лідер присвоює статус червоного світла своєму напрямку руху, при цьому даючи зелене світло всім автомобілям в перпендикулярному потоці.

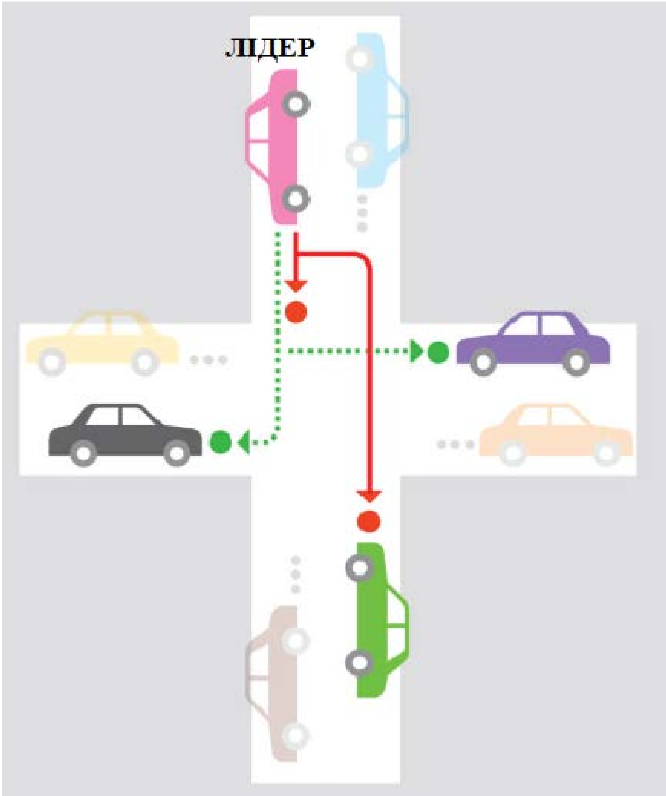


Рисунок 2.10 – Вибір машини-лідера на перехресті

4. Після закінчення часу лідера, машина в перпендикулярному потоці стає лідером і робить те ж саме. Таким чином лідерство передається неодноразово.

VTL-алгоритм був впроваджений у віртуальних моделях двох міст: Пітсбурга в США і Порто в Португалії. При симуляції години пік при двох сценаріях – один використовував існуючі світлофори, інший – алгоритм VTL. Було виявлено, що VTL зменшив середній час поїздок з 35 хвилин до 21,3 хвилин в Порто і з 30,7 хв до 18,3 хв в Пітсбурзі. Зменшення часу поїздок людей, які в'їжджали в місто з передмість, зменшувалися не менше, ніж на 30%, і аж до 60%. Що важливо, варіація тривалості часу в дорозі (відхилення часу в дорозі від середнього значення) також зменшилася. Симуляції руху транспорту на алгоритмі VTL показали, що кількість аварій на дорогах зменшилося на 70% відсотків, особливо на нерегулюючих перехрестях. Також, зменшивши час простою транспорту у пробках, зменшилась кількість викидів чадного газу автомобілями.

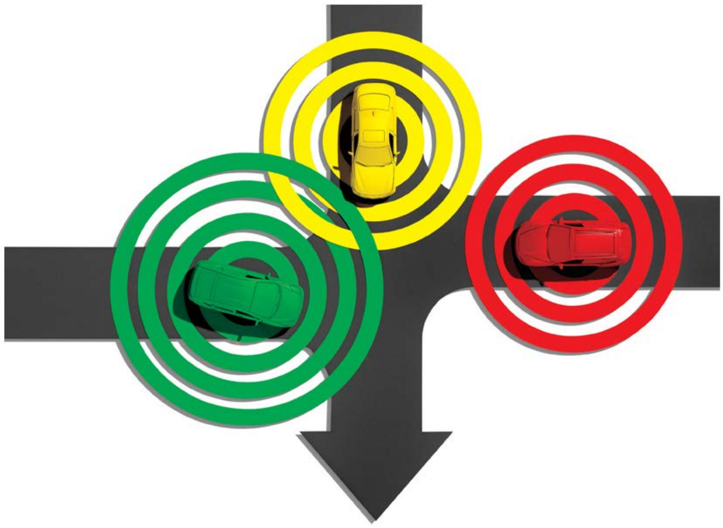

Рисунок 2.11 – Вибір машини-лідера на перехресті (емблема алгоритму VTL)

Економія часу відбувається з двох причин. По-перше, VTL виключає час очікування на червоному світлофорі, коли по перехресній дорозі ніхто не їде. По-друге VTL контролює рух на всіх перехрестях, а не тільки там, де є активні сигнали [28].

**Висновки до розділу**

До пристроїв, що забезпечують побудову системи DSRC висувають дуже суворі умови, так як будь-яка помилка на дорозі може призвести до втрати життя. Пристрої DSRC повинні бути встановлені правильно і на зазначеній відстані.

Пристрої DSRC повинні працювати завжди, навіть у суворих погодних умовах, таких як низька або дуже висока температура, надмірна вологість, си-льний вітер.

Одним з недоліків технології DSRC – відносно низька ступінь надійності системи в визначенні небезпеки. Якщо водій не отримує попередження від системи, то це не означає, що попереду немає небезпеки. Навіть якщо всі автомобілі і мотоцикли будуть оснащені системою C2C, залишаються інші учасники руху (велосипедисти, пішоходи), у яких даної системи ніколи не буде.

За допомогою алгоритму VTL можна створити самостійну транспортну мережу, яка буде регулювати рух, навіть на неконтрольованих перехрестях, що дає змогу зменшити кількість аварій на дорогах.

# 3. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ DSRC У SMART-МІСТІ

## 3.1 Розрахунок параметрів каналу зв'язку DSRC-VVDT

Метод побудови системи мультиплексного широкосмугового зв'язку DSRC-VVDT розроблений з урахуванням вимог стандарту DSRC. Концепція методу побудови системи DSRC-VVDT розроблена в рамках діючих стандартів передачі інформації з множинним доступом мультичастотну носійну і просторово-кодове розділення каналів (MCS-SDMA), і заснована на застосуванні методів генерації широкосмугових хаотичних сигналів, що мають досить низьку спектральну щільність потужності (СПМ) випромінювання і дуже малі бічні пелюстки їх авто- і взаємно кореляційних функцій.

Кожна конкретна смуга руху автомобілів по автобану асоціюється з певним спеціально виділеним частотним каналом, в той час як транспортні засоби, що рухаються усередині однієї і тієї ж смуги автобану, поділяються один від одного за допомогою CDMA-кодів, які привласнюються автомобілю згідно займаної ним позиції на автобані. Таким чином, кожному виділеного інтервалу відстаней в напрямку руху автомобілів на автобані пропонується індивідуальний хаотичний код. Тим самим реалізується передача інформації за допомогою тільки цього коду кожним транспортним засобом, що знаходяться в межах цього інтервалу.

Один з можливих варіантів взаємного розташування частотних і просторово-кодових каналів в апаратурі мультиплексного широкосмугового зв'язку DSRC-VVDT при покритті простору всередині будь-яка 1-кілометрової зони автобану в разі, коли кількість смуг руху n = 10, наведено на рис. 3.1 [1].

Наявна в розпорядженні смуга частот 75 МГц повинна бути розділена на 10, що не перекривають один одного частотних каналів. Для кожного з 10 частотних каналів застосовуються принципи CDMA при передачі даних між транспортними засобами. В цьому випадку, максимальна кількість автомобілів, що рухаються по одній смузі автобану в одному напрямку, при покритті відстані до 1 км, дорівнюватиме:

$$N_{\max} = R_0/\Delta R,$$

$$N_{\max} = 1000/8 = 125.$$

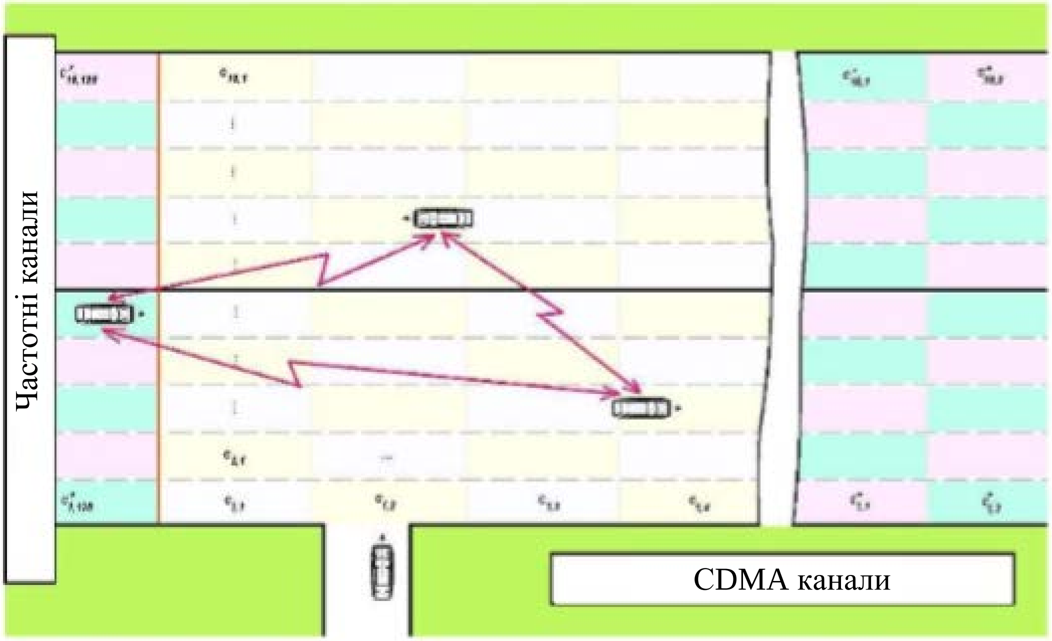


Рисунок 3.1 – Взаємне розташування частотних і просторово-кодових каналів в апаратурі мультиплексного широкосмугового зв'язку DSRC-VVDT

При розрахунку було прийнято допущення, що в кожної 8-ми метрової осередку по дальності може знаходиться тільки один транспортний засіб.

Для поділу 125-й каналів CDMA всередині кожного з 10-и частотних каналів пропонується використовувати хаотичні, випадкові кодові послідовності (ХВП коди).

Таким чином, максимальна кількість ХСП кодів (рис.3.2), яким необхідно забезпечити максимально можливе число автомобілів на автобані, має дорівнювати:

$$N_{code} = N_{\max} = 125.$$

Існують два основних обмежують фактору, які необхідно враховувати при розробці системи DSRC-VVDT:

1. Наявна в розпорядженні ширина смуги.
2. Необхідність в забезпеченні досить точної просторово-часової

синхронізації системи для декодування інформації.

З першого пункту випливає, що найкоротший імпульс в системі повинен перевищувати 13.33 нс, що випливає з формули 3.3:

$$t_c = 1/\Delta F, \qquad (3.3)$$

$$tc = 1/75 \cdot 106 = 13.33 \text{ нс}$$

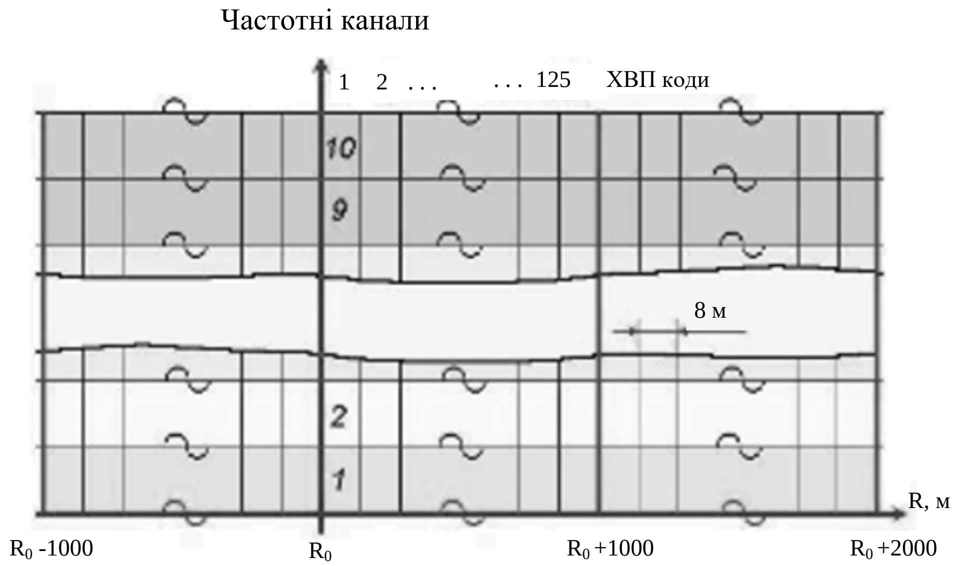


Рисунок 3.2 – Фрагмент прив'язки частотних каналів і ХВП кодів системи DSRC-VVDT до просторовим координатам автобану

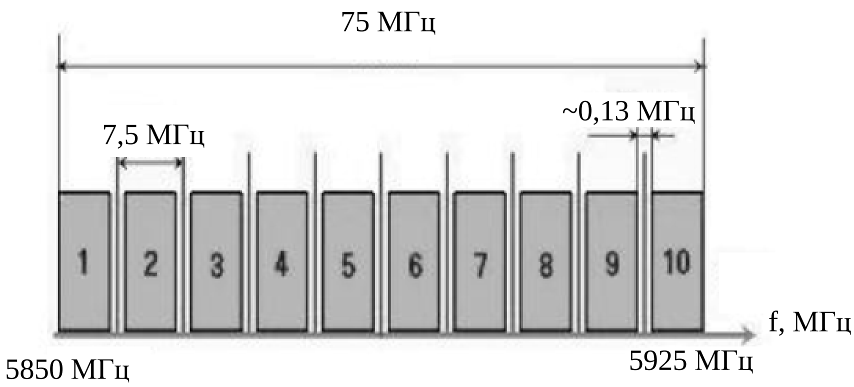

Рисунок 3.3 – Розташування частотних каналів в системі DSRC-VVDT

Одночасно, для повної декореляції сигналу і декодування інформації з необхідною достовірністю потрібно точність взаємної синхронізації кодів.

Отже, в нашому випадку, точність взаємної синхронізації кодів ХСП кодів буде дорівнює:

$$X = \frac{\sigma R}{c \cdot t} \cdot 100\%,$$

де $\sigma R$ = 1м – похибка вимірювання DGPS координати;

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість світла;

$t \approx 10t_c$ = 135 нс – довжина елементарного імпульсу хаотичного коду.

$$X = \frac{1}{3 \cdot 10^8 \cdot 135 \cdot 10^{-9}} \cdot 100\% = 2.5\%.$$

Прийнята величина тривалості елементарного імпульсу хаотичного коду накладає обмеження на швидкість передачі інформації, а саме: ширина смуги частот кожного з 125 каналів CDMA не може бути ширше 7,5 МГц:

$$f_p = \frac{\Delta F}{n}.$$

$$f_p = \frac{75 \cdot 10^6}{10} = 7.5 \cdot 10^6 = 7.5 \text{ МГц}.$$

При цьому потенційна похибка часу синхронізації σt, нс буде дорівнювати:

$$\sigma t = \frac{\sigma R}{c},$$

$$\sigma t = \frac{1}{3 \cdot 10^8} = 3.3 \text{ нс}.$$

Для швидкої передачі інформації необхідно забезпечити достатньо високу швидкість передачі даних. Для того що б забезпечення прийнятну надійну передавання інформації, дані повинні передаватися не безперервно, а пакетами (кадрами) відповідної тривалості, використовуючи при цьому повторення даних і чергування в кадрі. Передбачається застосовувати пакети (кадри), тривалість яких дорівнює 20 мс.

Досяжна швидкість передачі інформації може бути отримана з урахуванням наявної в розташуванні смуги частот одного CDMA каналу і тривалості використовуваних кадрів. Попередні оцінки, показують, що для надійної передачі 2 кбіт інформації протягом 100 мс між CDMA каналами повинна бути забезпечена чіпова швидкість рівна 7,3728 Мчіп/с, що задовольняє заданій ширині смуги частот CDMA [1].

Таким чином, всередині кожної заданої зони автомагістралі може бути досягнута повна ідентифікація будь-якого знаходиться на автобані автомобіля за допомогою спеціально виділених інтервалів по дальності. У той же час, нова процедура розпорядження CDMA-коду кожному автомобілю всередині повторюваних 1-кілометрових зон автомагістралі робить можливим використання уніфікованої приймально-передавальної апаратури на всіх транспортних засобах, які перебувають на автобані. Ця обставина робить простим використання пропонованої системи зв'язку на практиці, тому що не потребують вирішення технічних і правових питань, пов'язаних з розподілом зв'язкових ресурсів.

Запропонований метод – це метод системи рухомого зв'язку, що сама зорганізується, яка може здійснювати передавання потрібної інформації між транспортними засобами в реальному часі. Цей метод також може служити основою для створення повністю автономної роботи транспортного засобу, обладнаного такою апаратурою, за відсутності наземних базових станцій зв'язку, як правило, керуючих системами рухомого зв'язку.

Запропонований метод передбачає використання диференціальної системи GPS (DGPS) з WAAS (система панорамного спостереження) або системи DGPS, який дає можливість кожному транспортному засобу на автобані ідентифікувати своє місцезнаходження з точністю від кількох метрів до кількох дециметрів.

Нові принципи передачі інформації з використанням сигналів з розширеним спектром (Spread-Spectrum Communication), а також поєднання частотного і просторово-кодового (S-CDMA) розділення абонентських каналів і хаотичного сигнального кодування при реалізації CDMA стандарту - ось основні відмінні (інноваційні) особливості пропонованого методу.

Застосування в апаратурі DSRC-VVDT широкосмугових хаотичних кодових сигналів уможливлює створення необхідного числа незалежних каналів зв'язку в межах виділеного частотного діапазону. Крім того, ці кодові сигнали надають потенційну можливість організації системи для прийому передачі даних без виділення частотного або тимчасового каналу для кожного транспортного засобу, і виконання прийому даних на “безпошуковій” основі. Взаємна синхронізація всіх хаотичних, випадкових кодів при здійсненні синхронного режиму передачі інформації забезпечується за допомогою сигналів GPS. Отже, стандартний GPS приймач повинен бути складовою частиною пропонованої апаратури [1].

### 3.2 Моделювання сліпого кута

Всесвітня організація охорони здоров’я (ВООЗ) повідомляє, що близько 1 мільйона людей з усього світу помирають, а 40 мільйонів людей зазнають травм через ДТП щороку. Більшість даних аварій відбувається на перехрестях. Сліпий кут – це один з видів перехресть, де аварії відбуваються найчастіше. Це тому, що один транспортний засіб з одного боку кута не може бачити іншого транспортного засобу з іншого боку кута. Сліпі кути розглядаються, як кути з перешкодами, і вони не часто мають простір для тротуару. Сліпі кути зазвичай можна зустріти у багатьох місцях, наприклад, у містах азіатських країн, на невеликій алеї, на місцевому рівні та всередині організації. Ці місця оточені будівлями, що перешкоджають зору водія, як показано на рис. 3.4. Не тільки будівлі можуть спричинити сліпий кут, але й стіни, дерева та будівельні майданчики також можуть спричинити сліпий кут. Крім того, в таких місцях світлофори майже не зустрічаються. Ось чому аварії могли легко статися в сліпих кутах.

Рисунок 3.4 – Приклад сліпого кута

Навіть незважаючи на те, що лінія зору водія у сліпих кутах перекрита перешкодами, бездротове спілкування може частково пройти через перешкоди. В результаті транспортні засоби можуть «відчути» інші транспортні засоби. Мережа бездротового зв'язку серед транспортних засобів представлена як спеціальна мережа Vehicle (VANET). VANET був розроблений для підвищення якості автомобільних перевезень та інтелектуальної транспортної системи (ITS). VANET складається з двох типів комунікацій: від автомобіля до транспортного засобу (V2V) та від транспортного засобу до інфраструктури (V2I). Одне з головних застосувань ІТС - це програма безпеки, в якій деякі попереджувальні сигнали можуть надсилатися іншим транспортним засобам у випадку, якщо поблизу є транспортні засоби чи пішоходи. Приймаючи сигнали, розумний транспортний засіб може вирішити, чи може він рухатися далі чи потрібно гальмувати. Це може зменшити кількість ДТП.

Оскільки сліпий кут є одним з найважливіших місць, де аварії можуть статися легко, зв’язок VANET може допомогти сповістити водія. Тим не менш, перешкоди на сліпому куті не тільки перешкоджають зору водія, але й перешкоджають сигналу поширення хвилі. Отже, зв’язок міг легко вийти з ладу. Іншими словами, продуктивність IEEE 802.11p може погіршуватися, коли спілкування відбувається в сліпому куті. Це одна з уразливих комунікацій IEEE 802.11p для застосувань безпеки.

Ефект обструкції призводить до зменшення діапазону зв'язку IEEE 802.11p та погіршення продуктивності протоколів та додатків, які покладаються на VANET. Для розгляду цього питання дослідники та розробники оцінюють свою роботу, використовуючи як реальний експеримент, так і моделювання. Експеримент у реальному світі - це метод оцінювання, який використовує реальне обладнання, що працює в реальних сценаріях. Незважаючи на те, що цей метод забезпечує точність результатів тестування, він забирає багато часу, дорого коштує і важко відтворити тестові приклади, і важко масштабувати великі сценарії. Таким чином, моделювання є альтернативним методом оцінки ефективності.

Останнім часом проводилися дослідження щодо моделей поширення для кожного виду перешкод, таких як обструкція транспортних засобів та обструкція будівлі. Ці моделі були оцінені порівнянням з результатами реальних експериментів. У міру застосування моделей результати моделювання можуть стати більш реалістичними для кожного конкретного сценарію. Однак, існуючі моделі не підходять для застосування у сценарії з глухими кутами.

Проведено експеримент у реальному світі, щоб вивчити ефективність IEEE 802.11p за сценарієм “глухий кут”. Експеримент проводився за допомогою безпроводового блоку безпеки Denso (WSU), який є IEEE 802.11p комунікаційним модулем. Кожен транспортний засіб був обладнаний модулем WSU. Результати показали, що два транспортні засоби з різних боків кута можуть спілкуватися один з одним, коли мінімальна відстань між транспортним засобом та кутом менше 60 м. Результати підкреслювали, що під час розробки будь-яких застосувань щодо безпеки слід серйозно враховувати продуктивність у сліпому куті.

Існує два способи побудови нової моделі: це метод відстеження променів та метод плоского розповсюдження. Метод відстеження променів має складні обчислення, вимагає багато ресурсів і часу, і його важко параметризувати. Метод плоского поширення зазвичай швидко обчислює деякі значення та використовує деякі ймовірнісні функції для відображення втрат поширення сигналу. У побудові моделі використовувався метод плоского розповсюдження, оскільки він має більш просту модель. Модель може бути реалізована як розширення двопроменевої наземної моделі та моделі Накагамі, добре відомих моделей поширення, тому її легко застосувати до будь-яких мережевих симуляторів. Мережевий симулятор, який використовується в даній роботі – NS-3, який є програмним забезпеченням з відкритим кодом для моделювання мережі та користується великою популярністю, як мережева платформа в наукових дослідженнях та освіті.

Закритий кут є критичним сценарієм для застосувань безпеки, тому слід враховувати ефективність застосування безпеки. В даній моделі не буде встановлено дорожнього пристрою (RSU), яка може покращити ефективність зв'язку. RSU вимагає великих витрат на розгортання. Більше того, розгортати RSU в усіх куточках міста не вигідно, оскільки в більшості країн, особливо в країнах Азії, є занадто багато сліпих кутів. Тому слід враховувати сценарій, коли спілкування відбувається в сліпих кутах без додаткової інфраструктури. Такий сценарій можна вважати корисним для застосувань безпеки, оскільки він може допомогти зменшити аварії в будь-яких куточках.

В основному дослідники використовують метод плоского розповсюдження замість методу відстеження променів. Метод плоского розповсюдження використовує значення, які можна легко отримати з топології як вхідні дані для формули. Формула дає результат, як послаблена сила сигналу. Найбільш поширене значення, яке використовується як вхід, - відстань. Цей метод вимагає менше ресурсів та часу на моделювання. Прикладами моделей, що використовують цей метод, є двопроменева наземна модель та модель Накагамі. Ці дві моделі вбудовані в більшість мережевих симуляторах. Однак багато дослідників все ще впроваджують нові моделі, засновані на методі плоского розповсюдження для більш реалістичного моделювання в деяких конкретних сценаріях.

Модель перешкод використовує кількість стінок, куди сигнал повинен проникати як основну змінну для розрахунку формули. В результаті кількість перешкод сигналу залежить від кількості стінок, через який проходить сигнал. Ця модель зосереджена в основному на побудові перешкод, тоді як модель CORNER використовує хвильові характеристики, такі як відбиття та дифракція, як основну змінну для розрахунку формули. Модель CORNER класифікує сценарії на 3 категорії: лінія зору (LOS), не лінія зору з 1 кутом (NLOS1) і не лінія зору з 2 кутами (NLOS2).

У куті, де немає місця для тротуару, сигнал від вузла передачі проникне до стіни, що призведе до більшої перешкоди сигналу. Дана модель відрізняється від моделі перешкод і моделі CORNER тим, що в ній було використано мінімальну відстань між транспортними засобами до кута як основний параметр для розрахунку у нашій формулі.

Дана модель, модель перешкод та модель CORNER порівнюються, як показано в таблиці 1. Усі моделі виконують ослаблення сигналу, коли переданий сигнал проходить через перешкоди. Для обчислення втрат шляху модель перешкод використовує кількість пронизаних стін, модель CORNER використовує хвильові характеристики, такі як ефекти відбиття та дифракції, а наша модель використовує мінімальний відстань як основний параметр. Модель перешкод та наша модель реалізовані в тренажері NS-3, тоді як модель CORNER реалізована в тренажері QualNet. Модель перешкод також вбудована у структуру на основі симулятора Omnet. Для комунікаційного модуля, що використовується в реальних експериментах, в даній моделі та моделі перешкод використовується IEEE 802.11p, тоді як IEEE 802.11b / g використовується для моделі CORNER.

Створено сценарій експерименту, в якому використовується 2 транспортні засоби на різних сторонах сліпого кута. Кожен транспортний засіб оснащений бездротовим блоком безпеки Denso (WSU), який підключений до двох зовнішніх антен. Антени розміщуються на відстані 1,2 м від землі. IEEE 802.11p використовується як комунікаційний модуль у Denso WSU. Оскільки GPS не дає точної інформації про положення, було виміряно та записано місце розташування вручну. В результаті ми можемо отримати точне положення транспортного засобу, що призводить до більш точного результату. – Схема для практичної перевірки сигналу у сліпому куті зображена на рис.3.5.

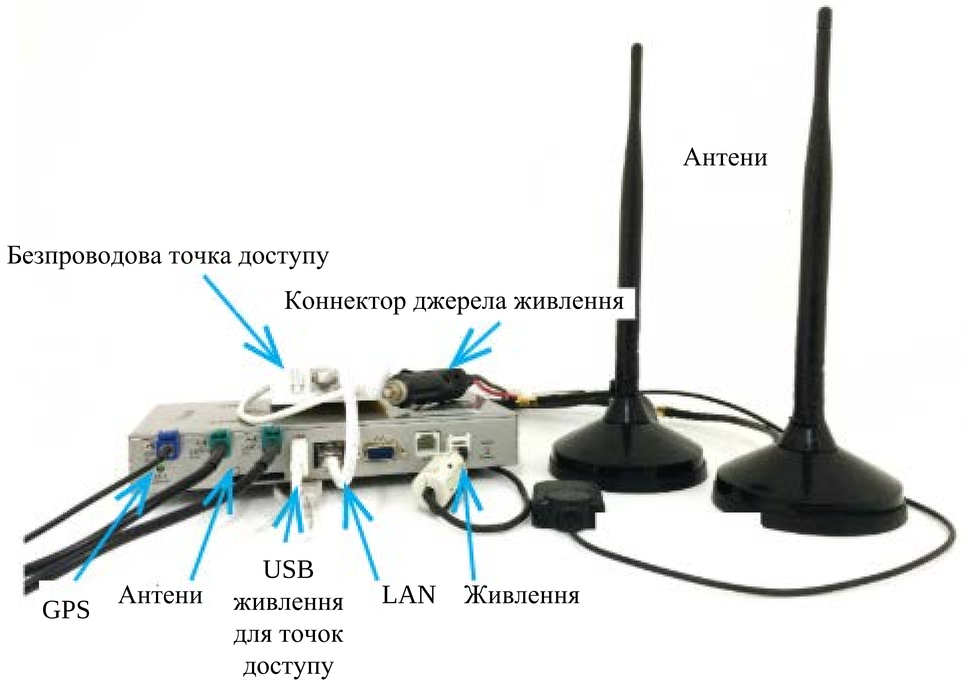


Рисунок 3.5 – Схема для практичної перевірки сигналу у сліпому куті

Мережевий трафік, що генерується в експерименті, становить 10 Гц, що є мінімальною частотою передачі, необхідною для застосувань передачі сигналу. Приєднані антени передають сигнал потужністю 20 дБм. У кожному випадку експерименту один транспортний засіб закріплений на відстані d1 з одного боку сліпого кута. Інший транспортний засіб рухається між d2 - 1 м і d2 + 1 м з іншого боку сліпого кута. Потім було обчислено середнє значення результатів для цієї точки. Було обчислено коефіцієнт доставки пакетів і середній показник рівня приймального сигналу (RSSI). Сценарій експерименту зображений на рис. 3.6 та рис.7, а параметри узагальнені в таблиці 3.1 [27].

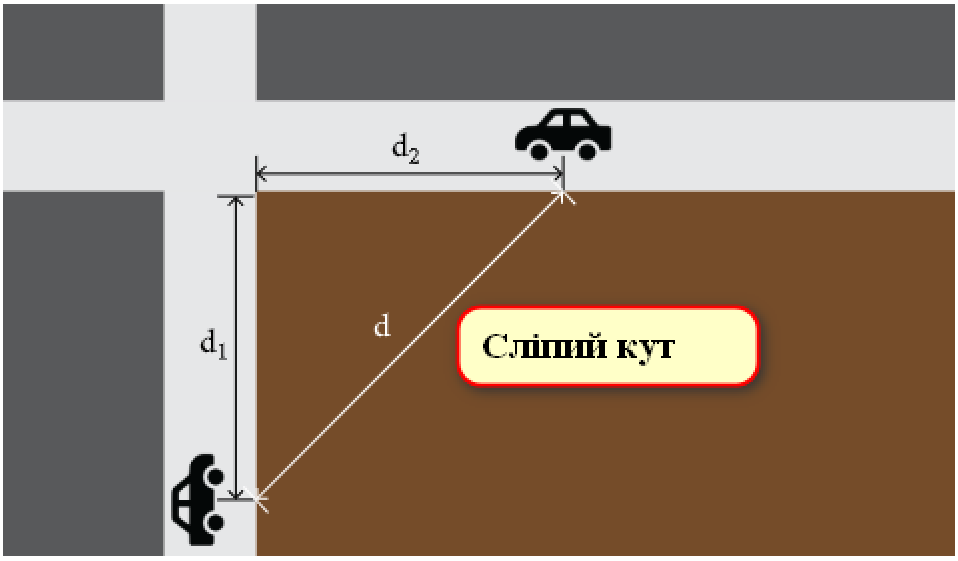


Рисунок 3.6 – Сценарій експерименту зі сліпим кутом

Таблиця 3.1 – Параметри сценарію сліпого кута

| № | Налаштування | Значення |
|---|---|---|
| 1 | Пристрій передавання даних | Denso WSU 5001-T |
| 2 | Антени | 2 зовнішні антени на відстані1,2 м від землі |
| 3 | Потужність передавання | 20 дБм |


Рисунок 3.7 – Сценарій експерименту зі сліпим кутом

Коефіцієнт доставки пакетів (PDR) і середній показник сили отриманого сигналу (RSSI) – це показники оцінки роботи системи DSRC у сліпому куті. PDR обчислюється із співвідношення між кількістю пакетів, отриманих у вузлі призначення, та кількістю пакетів, що надсилаються вихідним вузлом. Середній RSSI обчислюється шляхом усереднення RSSI всіх прийнятих пакетів у вузлі призначення. Результати проведення експерименту сліпого кута показані у вигляді тривимірних графіків на рис.3 та рис.3. Для PDR 3 розміри - це відстань між першим транспортним засобом та кутом, відстань між другим транспортним засобом та кутом та PDR. Для середнього RSSI 3 розміри - це відстань між першим транспортним засобом та кутом, відстань між другим автомобілем та кутом та середнє значення RSSI.

На рис.3.8 та рис.3.9 показані експериментальні результати для сліпого кута. Як видно з результатів, і PDR, і RSSI є зворотною зміною відстані від кута.

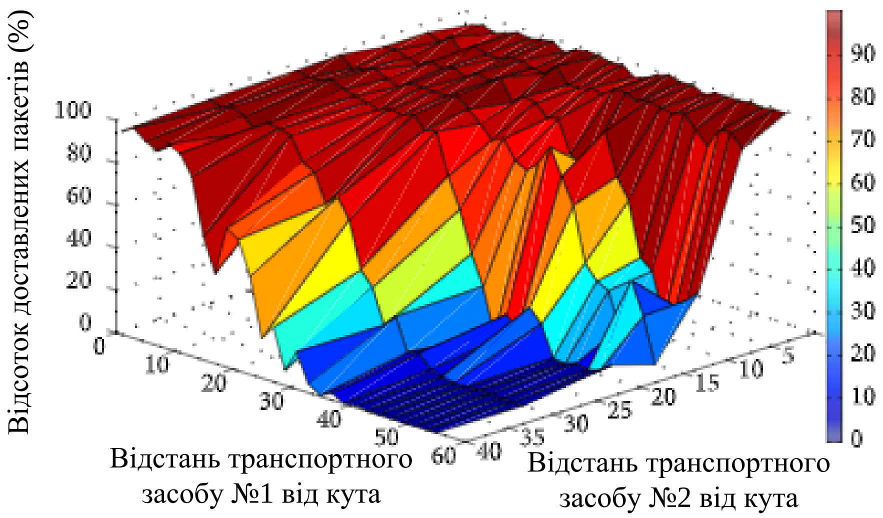


Рисунок 3.8 – Відсоток доставлених пакетів у експерименті зі сліпим кутом

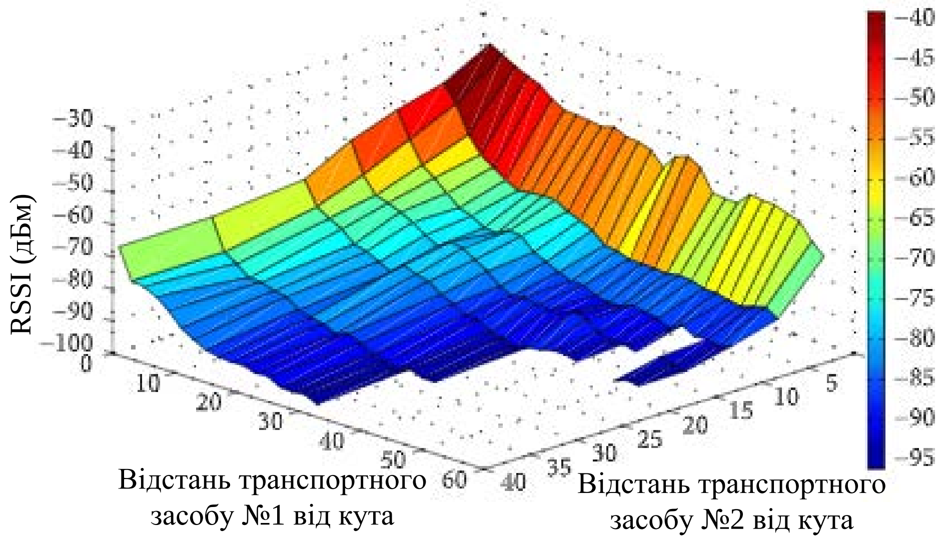


Рисунок 3.9 – RSSI у експерименті зі сліпим кутом

З отриманих результатів можна зробити висновок, що чим ближче транспортний засіб до кута, тим менші втрати у каналі передачі між транспортними засобами від сліпого кута .

Затримка становить близько 89-95 мс для всіх відстаней.

Мережевий симулятор дозволяє дослідникам моделювати різні види мереж та різного роду сценарії, зручні для імітації масштабної мережі. Одним з найпопулярніших мережевих тренажерів є NS-3. NS-3 підтримує моделювання через автомобільну мережу, яка використовує IEEE 802.11p як бездротовий інтерфейс.

Зазвичай для автомобільної мережі відомим параметром моделі поширення є використання двопроменевої наземної моделі в поєднанні з моделлю Nakagami. Ці дві моделі є результатом евклідової відстані між вузлом передачі та вузлом прийому. Використовуючи NS-3, результати PDR та середній показник RSSI при застосуванні цих моделей показані на рис. 3.10 та  3.11. Характеристики графіка результатів моделювання аналогічні результатам реальних експериментів у глухих кутах.

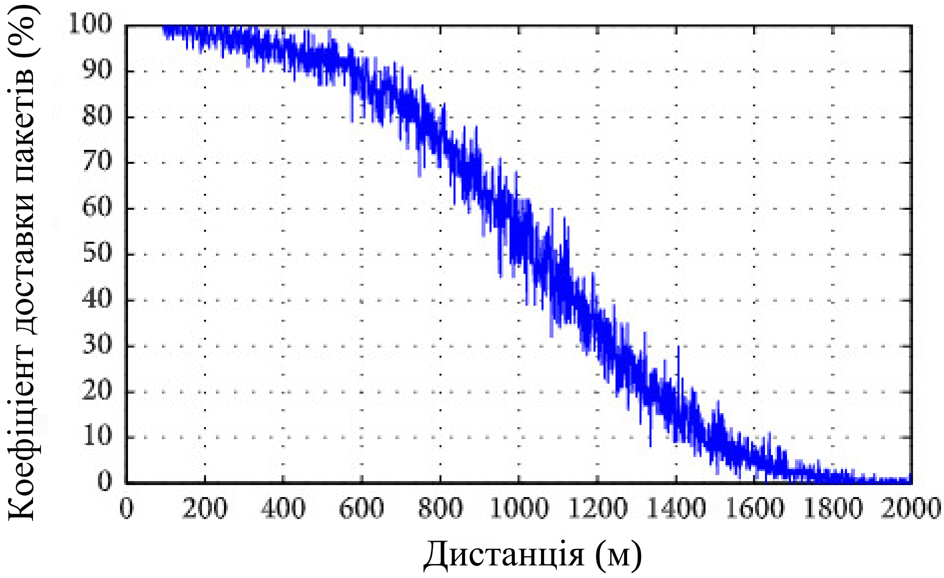


Рисунок 3.10 – Коефіцієнт доставки пакетів у експерименті зі сліпим кутом

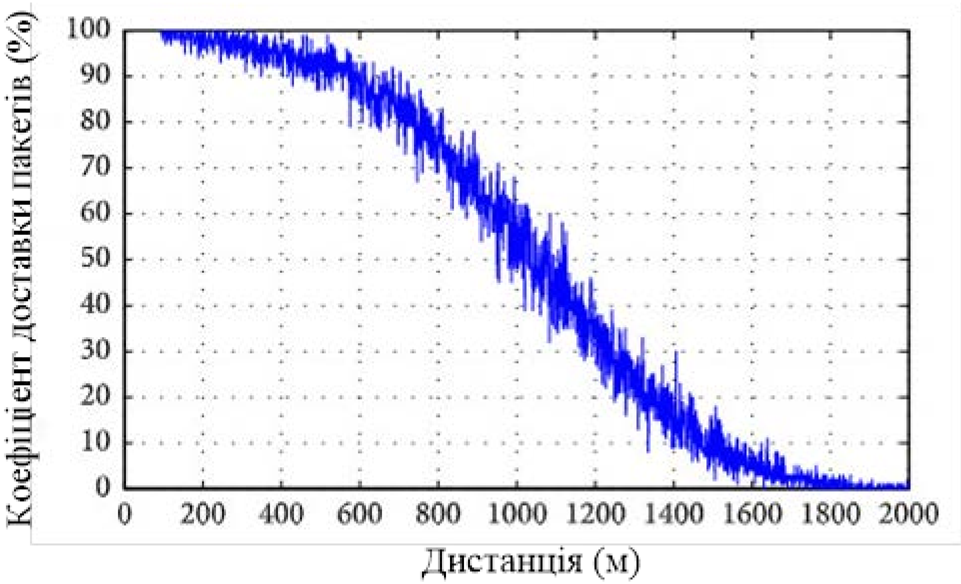


Рисунок 3.11 – RSSI у експерименті зі сліпим кутом

Характеристики сигналу під час подорожі через сліпий кут поводяться так само, як і сигнали, коли транспортні засоби знаходяться в полі зору на більшій відстані. В результаті ми змінюємо обчислення відстані, коли сигнали рухаються через сліпий кут. Оскільки відстань є найважливішим фактором для розрахунку в моделях поширення, модифікація обчислення відстані подібна до зміни характеристик застосовуваних моделей [27].

Посилаючись на змінні, зображені на рис. 3.16 та 3 .17, було введено модифікацію розрахунку відстані та використано підсумовування відстаней між транспортними засобами та кутом замість того, щоб використовувати евклідову відстань. Це тому, що у випадку сліпого кута це підсумовування представляє відстань, по якому сигнал дійсно проходить. Крім того, мінімальна відстань пов'язана з кінцевим результатом, тому було додано коефіцієнт мінімальної відстані до обчислення відстані. Цей фактор означає, що чим ближче автомобіль до кута, тим менший ефект від сліпого кута при передачі інформації. Це призводить до вищої PDR. В результаті розрахункова відстань розраховується так, як показано в наступному рівнянні:

$$D = (d_1 + d_2) \bullet \min(d_1, d_2) \tag{3.7}$$

Для того, щоб дослідити результати PDR та RSSI при застосуванні розрахункового рівняння відстані, ми було створено сценарій моделювання у NS3 такий же, як і реальний сценарій експерименту. Є два транспортних засоби на різних сторонах сліпих кутів. Два транспортні засоби передають і приймають сигнал IEEE 802.11p. Сила сигналу передавання становить 20 дБм.

Результат попереднього моделювання показаний на рис. 3.12 та 3.13. Як видно, характеристики графіків на рис. 3.12 та 3.13 аналогічні результатам реальних експериментів, показаних на рис. 3.8 та 3.9. Відсоток доставки пакетів і середній RSSI мають зворотні зміни до відстані. Тому, можна вважати цей метод вірним.

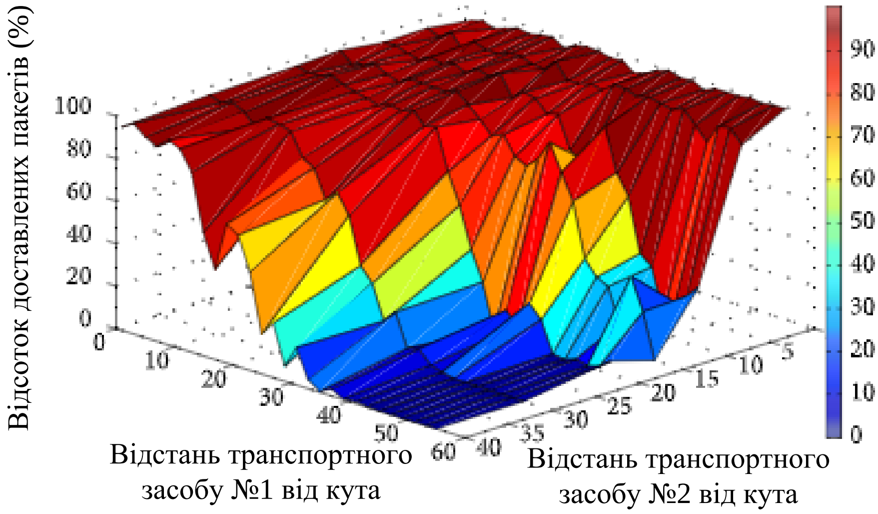


Рисунок 3.12 – Відсоток доставлених пакетів у експерименті зі сліпим кутом (NS-3)

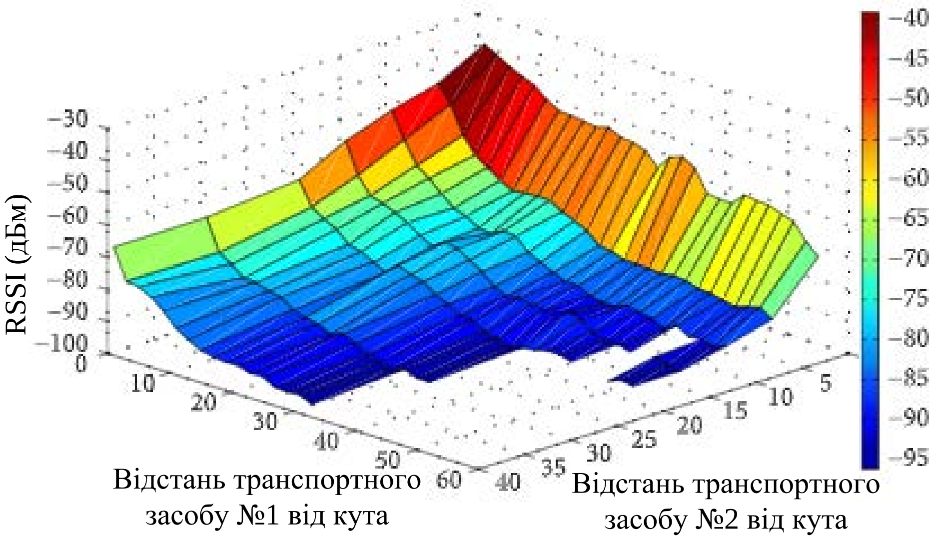


Рисунок 3.13 – RSSI у експерименті зі сліпим кутом (NS-3)

Кожна будівля не перешкоджає переданому сигналу однаково. Коефіцієнт PDR та середній показник RSSI не однакові для всіх сліпих кутів з різними типами будівель. Згідно з цією причиною видно, що для моделі недостатньо лише мінімальної відстані. Тому було додано параметр α, щоб відрегулювати ступінь обструкції. Формула (3.9) розраховує модифіковану версію розрахункової відстані від формули (3.8).

$$D = (d_1 + d_2) \cdot \min(d_1, d_2) \cdot \alpha \quad (3.9)$$

Параметр α використовується для регулювання ступеня обструкції, яка являє собою слабку перешкоду до сильної перешкоди. α має бути більшим або рівним 0,4. Якщо α менше 0,4, його не можна використовувати, оскільки він оцінює відстань нижче реальної евклідової відстані. Це призведе до нереалістичного результату моделювання.

Для сліпих кутів будівлі з великою перешкодою α дорівнює приблизно 1,3. Для будівель з невеликою перешкодою α дорівнює приблизно 0,5. Результати моделювання з використанням рекомендованих значень α 1,3 та 0,5 наведені на рис. 3.14, 3.15, 3.16, 3.17.

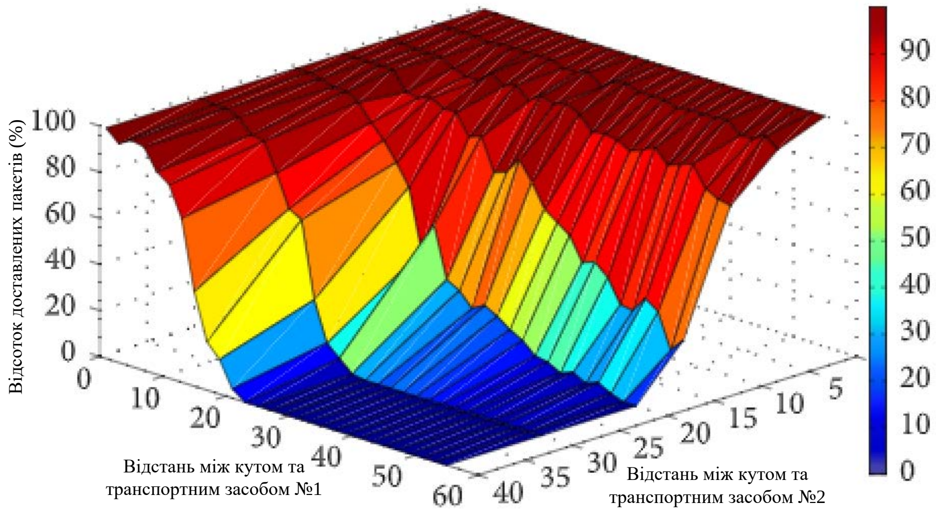


Рисунок 3.14 – Відсоток доставлених пакетів у експерименті зі сліпим кутом при α = 1,3

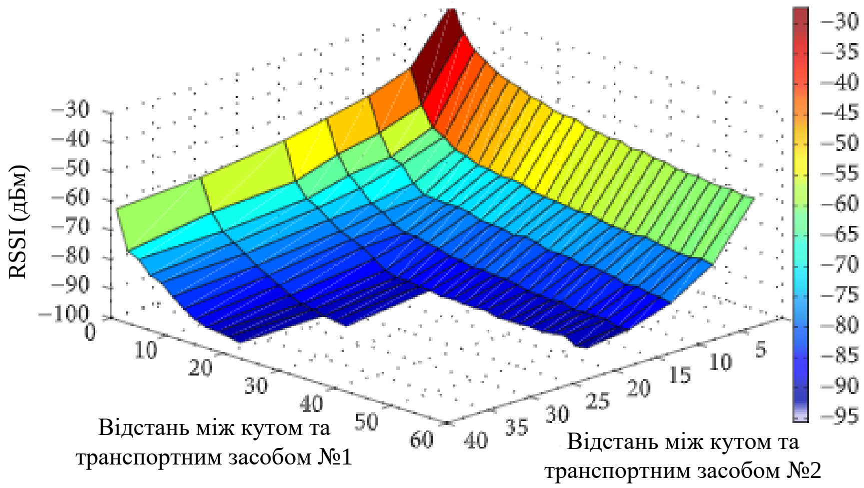


Рисунок 3.15 – RSSI у експерименті зі сліпим кутом при α = 1,3

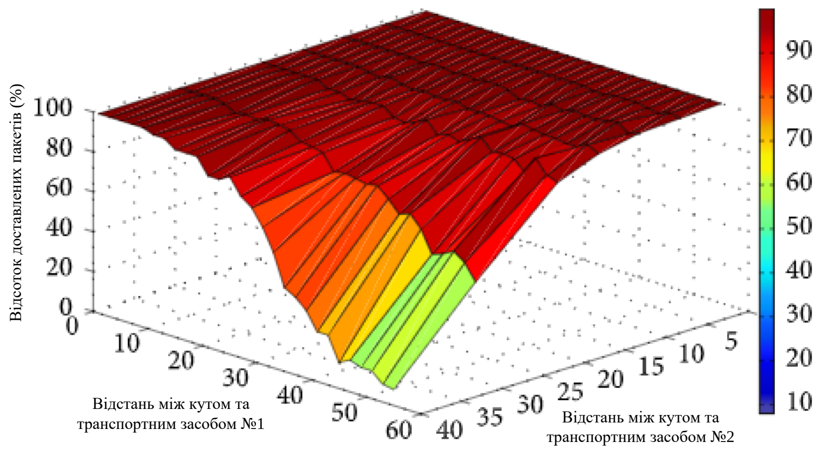


Рисунок 3.16 – Відсоток доставлених пакетів у експерименті зі сліпим кутом при α = 0,5

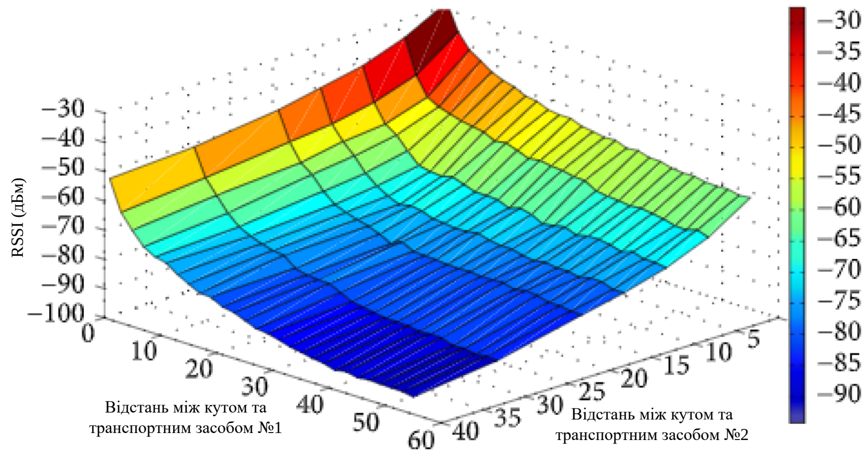


Рисунок 3.17 – RSSI у експерименті зі сліпим кутом при α = 0,5

## 3.3 Моделювання каналу зв'язку 802.11р в програмі SystemVue

Програмне забезпечення SystemVue є спеціалізованим середовищем, призначеним для проектування електронних пристроїв на системному рівні. SystemVue дозволяє системним інженерам і розробникам алгоритмів оптимізувати фізичний рівень безпроводових систем наступного покоління і засобів зв'язку аерокосмічної та оборонної галузей, а також забезпечує унікальні інтегровані можливості для розробників, які застосовують високочастотні компоненти, цифрові сигнальні процесори і спеціалізовані інтегральні схеми. SystemVue є спеціалізованою платформою для проектування на системному рівні обробки сигналів, SystemVue замінює цифрові, аналогові і математичні середовища загального призначення. SystemVue дозволяє вдвічі скоротити час проектування на фізичному рівні і верифікації пристроїв, а також забезпечує можливість імпортування результатів в основний маршрут проектування.

За допомогою програми SystemVue було змодельовано фізичний рівень стандарту 802.11р. За допомогою програми systemVue було побудовано схему для визначення коефіцієнту бітової помилки стандарту 802.11р. Результати зображено на рис.3.18 та рис.3.19.

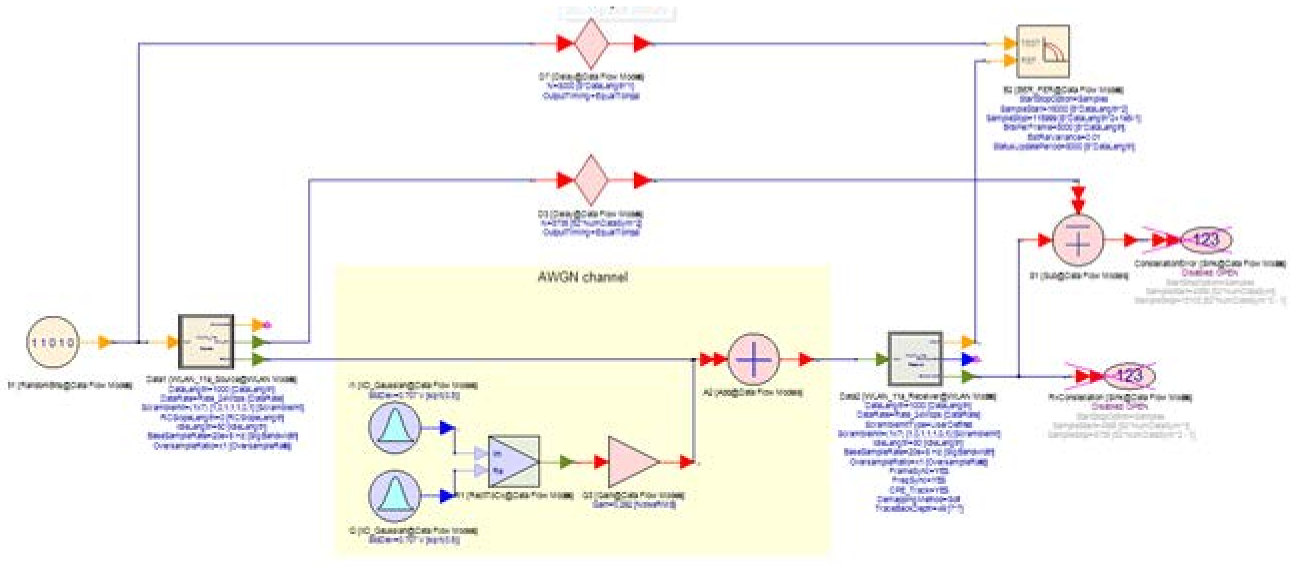


Рисунок 3.18 – Схема для визначення коефіцієнту бітової помилки

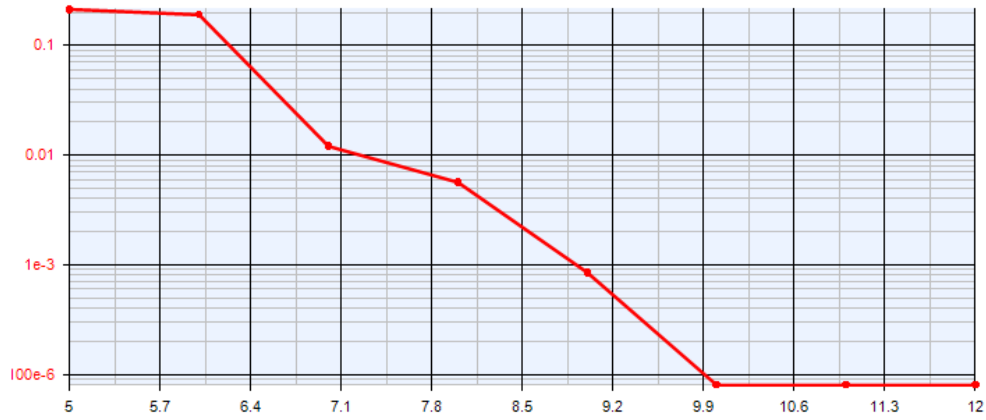


Рисунок 3.19 – Графік коефіцієнту бітової помилки

Наступний приклад демонструє передавання зв'язку 802.11p, який включає: джерело сигналу, згасаючий канал, аддитивний шум, зміщення частоти несучої та приймач. Схема, що побудована на даних елементах зображена на рис. 3.20. Сигнальне сузір'я зображено на рис. 3.21.

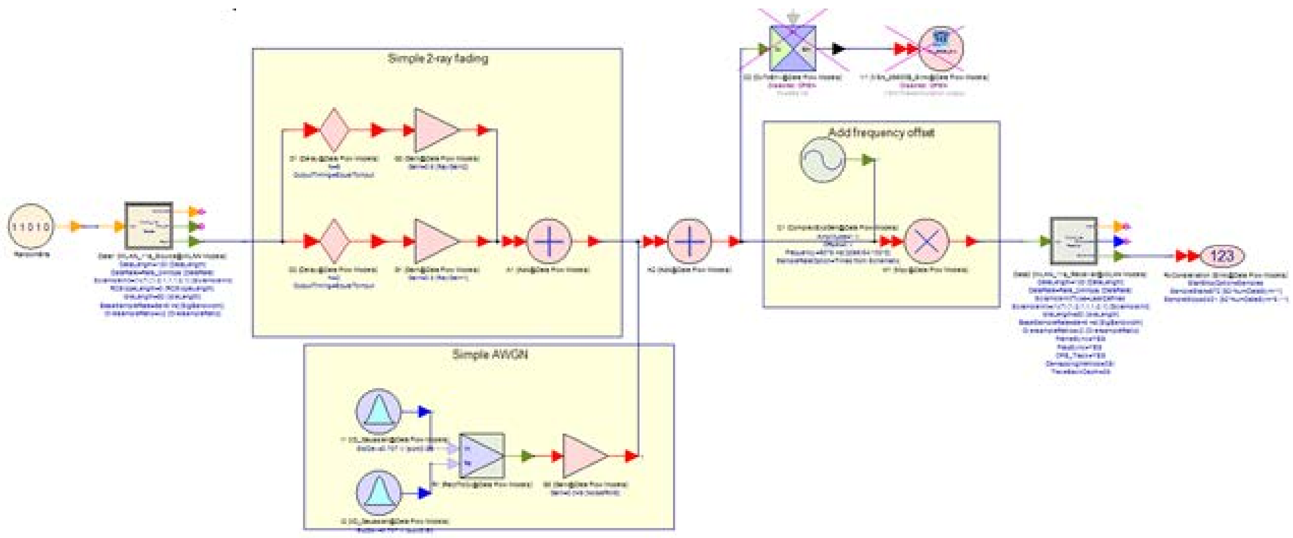


Рисунок 3.20 – Схема приймання та передавання сигналу в системі DSRC

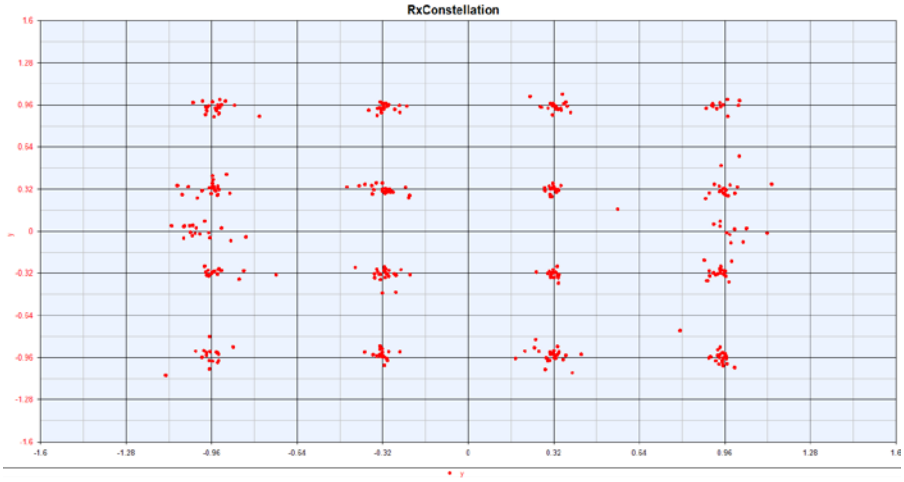


Рисунок 3.21 – Діаграма сузір’я на вході приймача

З рис.3.21 можна зробити висновок, що ймовірність бітової помилки при передачі інформації за допомогою системи DSRC не є великою, що дає змогу побудувати надійну систему транспортного зв’язку.

На рис. 3.22 представлено схему для аналізу спектру DSRC. Спектр DSRC сигналу зображено на рис. 3.23.

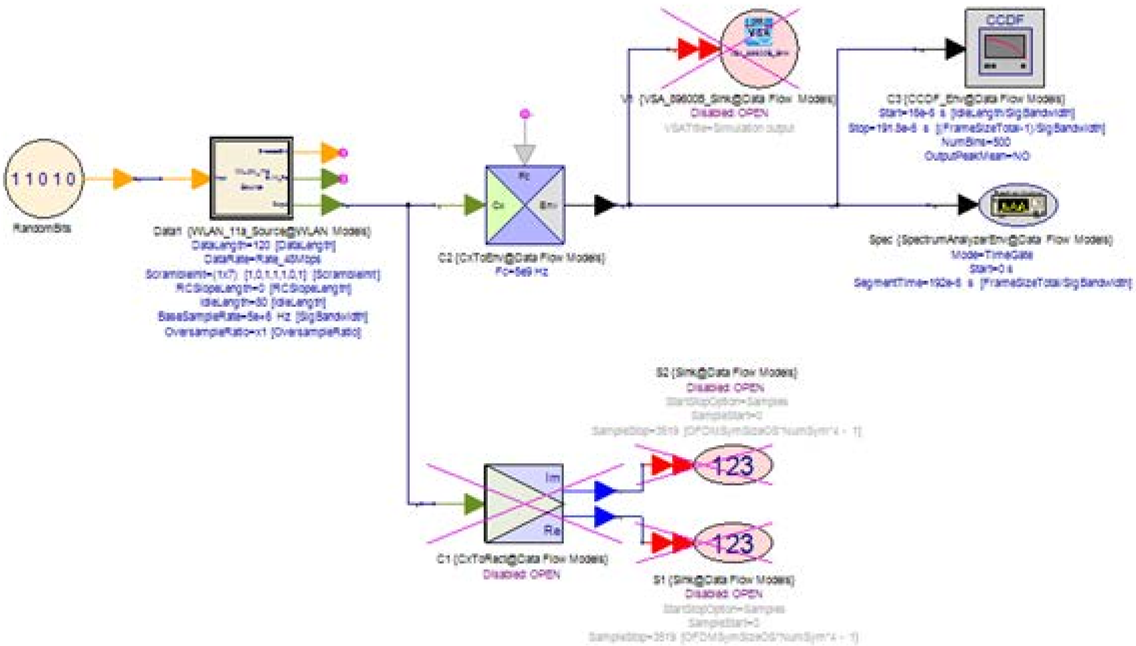


Рисунок 3.22 – Схема для аналізу спектру DSRC

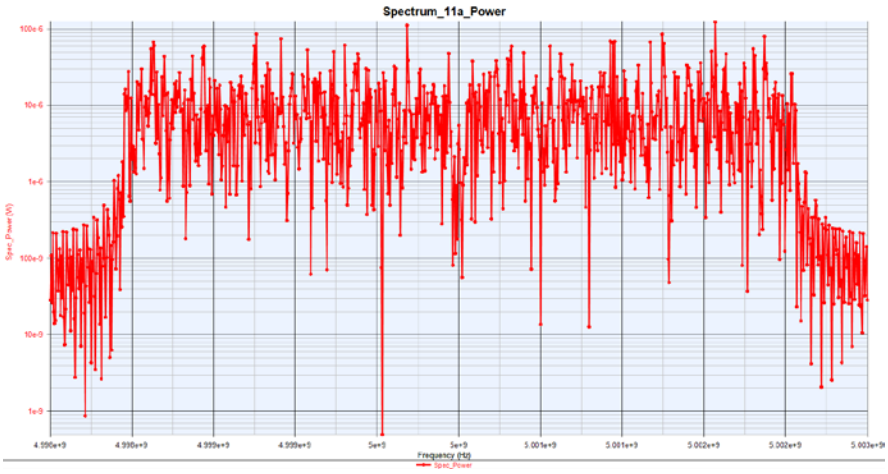


Рисунок 3.23 – Спектр DSRC

З рис. 3.23 можна зробити висновок, що найбільшу потужність сигналу система DSRC має на частоті 5,9 ГГц, що підтверджує теоретичні дані.

**Висновки до розділу**

В результаті моделювання системи DSRC у програмах-симуляторах було отримано дані, які близькі до реальних, що було підтверджено порівняльним аналізом.

Згідно результатів моделювання було зроблено висновок, що найбільшу потужність сигналу система DSRC має на частоті 5,9 ГГц, що підтверджує теоретичні дані. Також, можна зробити висновок, що ймовірність бітової помилки при передачі інформації за допомогою системи DSRC не є великою, що дає змогу побудувати надійну систему транспортного зв’язку.

Також було доведено, що система DSRC може забезпечувати зв’язок у сліпих кутах, що робить її незамінною при побудові транспортної системи комунікацій.

# 4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

## 4.1 Опис ідеї проекту

Опис ідеї проекту проаналізовано та подано у вигляді таблиць:

- зміст ідеї (що пропонується);
- можливі напрямки застосування;
- основні вигоди, що може отримати користувач товару (за кожним напрямком застосування);
- чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

| Зміст ідеї | Напрямки застосування | Вигоди користувача |
|---|---|---|
| Побудова автономної системи безпечного руху транспорту на основі технології DSRC | 1.Розумні світлофори | Побудова автономної системи руху транспортних засобів на перехрестях. |
| | 2. Керування рухом транспорту | Побудова системи моніторингу за транспортним рухом у місті та поза містом. |
| | 3. Автоматизація платного проїзду на спеціальних автобанах | Встановлення зчитуючих пристроїв на спеціальних автобанах, що дасть змогу розширити пропускну здатність контрольного пункту. |

Аналіз техніко-економічних потенційних переваг, порівняно з пропозиціями конкурентів передбачає:

- визначення переліку техніко-економічних властивостей та характеристик;
- визначення попереднього кола конкурентів або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проведення збору інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів конкурентів;
- проведення порівняльного аналізу показників: для власної ідеї визначаються показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Визначення характеристик ідеї проекту

| № п/п | Техніко-економічні характеристики ідеї | Мій проект | Конкурент 1 | Конкурент 2 | W | N | S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Економічні | 100000 у. о. | 200000 у. о. | 200000 у. о. | - | - | + |
| 2 | Призначення | Функціонування лише з сумісним обладнанням | Функціонування лише з сумісним обладнанням | Функціонування лише з сумісним обладнанням | - | + | - |
| 3 | Надійності | надійний | надійний | надійний | - | + | - |
| 4 | Технологічні | Потребує фахівця для налаштування | Потребує фахівця для налаштування | Потребує фахівця для налаштування | - | + | - |
| 5 | Ергономічні | Зручна при використанні | Зручна при використанні | Зручна при використанні | - | + | - |
| 6 | Органолеп. | - | - | - | - | + | - |
| 7 | Естетичні | Зручний та зрозумілий | Зручний та зрозумілий | Зручний та зрозумілий | - | + | - |
| 8 | Транпортабл. | Не транспортаб. | Не транспортаб. | Не транспортаб. | - | + | - |
| 9 | Екологічності | Не шкідливий | Не шкідливий | Не шкідливий | - | + | - |
| 10 | Безпеки | Безпечно | Безпечно | Безпечно | - | + | - |

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкуренто спроможності.

### 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту. Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (табл.4.3):

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту;
- чи існують такі технології чи їх потрібно розробити/допрацювати;
- чи доступні такі технології авторам проекту.

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

| № п/п | Ідея проекту | Технології її реалізації | Наявність технологій | Доступність технологій |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Побудова системи моніторингу дорожнього руху за допомогою технології DSRC | Цифрові блоки затримки | Наявні | Доступно |
| | | Програмні засоби мережного обладнання | Наявні не на всьому мережному обладнанні | Доступно |
| | | Спеціальне програмне забезпечення для ПК | Потребує розробки | Доступно |
| Обрана технологія ідеї проекту: Програмні засоби мережного обладнання | | | | |

### 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів. Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

| № п/п | Показники стану ринку (найменування) | Характеристика |
|---|---|---|
| 1. | Кількість головних гравців, од | 2 |
| 2. | Загальний обсяг продаж, грн/ум.од | 20000 |
| 3. | Динаміка ринку (якісна оцінка) | Зростає |
| 4. | Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень) | Немає |
| 5. | Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації | Немає |
| 6. | Середня норма рентабельності в галузі або по ринку,% | 120% |

Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку) порівнюється із банківським відсотком на вкладення. За результатами попереднього оцінювання ринок є привабливим для входження.

Надалі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Після визначення потенційних груп клієнтів проведений аналіз ринкового середовища: складені таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. №№ 4.6…4.7). Фактори в таблиці подані в порядку зменшення значущості.

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

| № п/п | Потреба, що формує ринок | Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку) | Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів | Вимоги споживачів до товару |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Забезпечення необхідного рівня безпеки на дорогах | Перехрестя, автомобілі та інші учасники руху | Поведінку клієнта формують потреби; особливостей купівлі та експлуатації товару немає | Товар має забезпечувати якісне з'єднання у єдину мережу учасників дорожнього руху |

Таблиця 4.6 – Фактори загроз

| № п/п | Фактор | Зміст загрози | Можлива реакція компанії |
|---|---|---|---|
| 1. | Наявність кваліфікованих кадрів | Продукт є важким для реалізації тому потрібні люди з певними навичками | Пошук персоналу у навчальних закладах даного спрямування |
| 2. | Потреба в ресурсах | Для створення продукту потрібне технічне забезпечення та певні умови для тестування працездатності | Укладання договорів з комерційними структурами для фінансування та надання можливостей для тестування продукту |

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

| № п/п | Фактор | Зміст можливості | Можлива реакція компанії |
|---|---|---|---|
| 1. | Конкуренція | Спонукає розробляти і виробляти нові продукти, знижувати витрати їх виробництва і вартість | Ускладнення структури та функціональної наповненості товару |

Надалі проведений аналіз пропозиції: визначені загальні риси конкуренції на ринку (табл. 4.8).

Таблиця 4.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

| Особливості конкурентного середовища | В чому проявляється дана характеристика | Вплив на діяльність підприємства |
|---|---|---|
| 1. Вказати тип конкуренції олігополія | На ринку присутня невелика кількість фірм, які займаються побудовою технологій транспортної мережі | Підвищувати якість товару за рахунок використання передових технологій |
| 2. За рівнем конкурентної боротьби національний | Наразі в Україні немає фірм, які займаються побудовою систем моніторингу транспортної мережі на основі технології DSRC | - |
| 3. За галузевою ознакою внутрішньогалузева | Економічна боротьба між різними товаровиробниками, які діють в одній галузі економіки, виробляють і реалізують однакові товари, що задовольняють одну й ту саму потребу, але мають відмінності у виробничих затратах, якості, ціні, тощо | Слідкувати за продуктами конкурентів |
| 4. За характером конкурентних переваг цінова | Передбачає продаж продукції за більш низькими цінами, ніж конкуренти. | Продавати товар за низькою ціною. |
| 5. За інтенсивністю марочна | Боротьба носить явно виражений марочний характер, велике значення набуває брендинг | Реклама товару, створення символіки продукту |

Після аналізу конкуренції був проведений більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера) (табл. 4.9).

Таблиця 4.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

| | Прямі конкуренти в галузі | Потенційні конкуренти | Постачальники | Клієнти | Товари-замінники |
|---|---|---|---|---|---|
| Складові аналізу | “Kapsch” | Немає | Постачальники мережних модулів, мережевого обладнання | Вимоги до якості (зручність користування та багатий функціонал) | Замін-ників немає |
| Висновки | Інтенсивність досить висока | Немає | Є певна залежність від постачальників | Товар має бути якісним та дешевим | Обме-жень немає |

Для того, щоб бути конкурентоспроможним на ринку для розробки товару потрібно залучати висококваліфікованих спеціалістів у галузі науки, телекомунікацій та програмування.

На основі аналізу конкуренції, наведеного в табл. 4.9, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 4.2), вимог споживачів до товару (табл. 4.5) та факторів маркетингового середовища (табл. №№ 4.6-4.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності.

# ВИСНОВКИ

Технологія DSRC створена спеціально для забезпечення побудови комунікації між об’єктами транспортної інфраструктури. Основне призначення технології DSRC:

1. Контроль дорожнього руху.

2. Автоматизація процесу стягування сплати за проїзд на спеціальних дорогах.

3. Надання оперативної інформації щодо щільності та швидкості транспортних потоків міста;

4. Оптимізація маршрутів міського транспорту.

За допомогою технології DSRC можна здійснювати контроль над дорож-нім рухом та отримувати оперативну інформацію про його стан. Це дає змогу підвищити безпеку та ритмічність руху транспортної мережі міста.

Принцип роботи системи DSRC – в постійному обміні інформацією, такою як місце розташування, швидкість, прискорення транспортних засобів між собою, а також між транспортними засобами і об'єктами дорожньої інфраструктури. Параметри, які має технологія DSRC задовольняють потребам технології, яка має обслуговувати транспортну мережу.

В підсумку було проведено порівняльний аналіз технології DSRC з безпроводовими технологіями сімейства Wi-Fi та отримано такі висновки:

1. В порівнянні з технологією Wi-Fi технологія DSRC діє на відстані до 1 км, в той час, коли технологія Wi-Fi діє лише до 300 м на відкритій місцевості.

2. Максимальна швидкість руху пристрою DSRC до 500 км/год, що дає суттєву перевагу над технологією Wi-Fi, яка може працювати лише при швидко-сті пристрою до 8 км/год.

3. Час встановлення з’єднання пристроїв DSRC складає 250 мс, в той час, як пристрої сімейства Wi-Fi встановлюють з’єднання в межах 1-2 с.

4. Низька затримка до 50 мс при передачі даних в технології DSRC забезпечує високу надійність при передачі даних, в порівнянні з затримкою від 500мс до 2с в технологіях Wi-Fi.

5. Швидкість передачі даних в системі DSRC 27 МБіт/с, що дає родині Wi-Fi суттєву перевагу в швидкості передачі даних. Але для обміну даними між об’єктами транспортної інфраструктури не потрібно передавати великий об’єм даних, тому швидкості передачі даних в системі DSRC цілком достатньо для забезпечення комунікації на дорозі.

Поступаючись в швидкості технологіям, такі як Wi-Fi, система DSRC має кращі параметри часу встановлення з'єднання, затримки передачі пакетів, швидкості руху пристрою і дальності дії, що дає право системі DSRC займати передове місце при побудові транспортної мережі міста.

# ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ


1. К.А. Лукин, В.Е. Щербаков, В.М. Коновалов, Д.С. Брид – Метод построения самоорганизующейся системы связи между транспортными средствами на автобане, 2007. [Електронний ресурс] Режим доступу: http://www.irbisnbuv.gov.ua/cgibin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=recs_2007_6_47.
2. Н.Ю. Лахтина, К.Г. Манушакян – Техническое обеспечение телематических систем. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://docplayer.ru/31698910-Tehnicheskoe-obespechenie-telematicheskih-sistem-radiokanaly-svyazi.html.
3. Транспортная телематика в дорожной отрасли. [Електронний ресурс] Режим доступу: http://lib.madi.ru/fel/fel1/fel13E148.pdf.
4. Sato, Y., Makane, K.: Development and Evaluation of In-Vechicle Signing System Utilizing RFID Tags as Digital Traffic Signals. [Електронний ресурс] Режим доступу: http://www.its-jp.org/journal/papers/39.pdf .
5. Исследование режимов работы телематики. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://proteh.org/articles/09042015-transportnaja-telematika-i-sputnikov/
6. Руководство пользователя транспондера. [Електронний ресурс] Режим доступу:http://www.mroad.ru/upload/files/pdf/rukovodstvo_polzovatelya_transpondera_Web.pdf.
7. WLAN 802.11p Measurements for Vehicle to Vehicle (V2V) DSRC. [Електронний ресурс] Режим доступу: http://projets-ceri.univ-avignon.fr/projets/proj1112/M2/p05/p.pdf.
8. Системы оплаты проезда на основе DSRC снаружи и внутри. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://habr.com/post/240047/.
9. IEEE 1609.2-2006 – Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Security Services for Applications and Management Messages

[Електронний ресурс] Режим доступу: https://standards.ieee.org/standard/1609_12-2019.html.

10. Алгоритм ЭЦП на основе эллиптических кривых (ECDSA). [Електронний ресурс] Режим доступу: http://life-prog.ru/view_teorinfo.php?id=13.

11. Partial Automation for Truck Platooning. [Електронний ресурс] Режим доступу: http://itscalifornia.org/Content/AnnualMeetings/2017/Presentations/S3P4.pdf.

12. Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/CCMP.

13. Макаренко В.В. – Проектирование и системная интеграция в области телекоммуникаций, 2014. – с. 123

14. Mesh – топология. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Ячеичистая_топология.

15. DSRC-радиосвязь ближнего действия в интеллектуальной транспортной среде. [Електронний ресурс] Режим доступу: http://vestnikglonass.ru/stati/dsrc_radiosvyaz_blizhnego_deystviya_v_intellektualnoy_transportnoy_srede/.

16. 5.9 GHZ DSRC VEHICLE-BASED ROAD AND WEATHER CONDITION APPLICATION. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.its.dot.gov/presentations/Road_Weather2014/6A%20Garrett_CTS_PFS_DSRC_RdWx_20140813.pdf.

17. V2X Beyond the Horizon. [Електронний ресурс] Режим доступу: http://www.lti.psu.edu/assets/docs/TESC-presentations/2E-Communications-Infrastructure/V2X-Beyond-the-Horizon-Final.pdf.

18. VTM721 OEM DSRC МОДУЛЬ. [Електронний ресурс] Режим доступу: http://www.auroramobile.ru/product_623.html

19. SDCP.5900 5.9GHz 12*12*4mm Circular Polarized Embedded DSRC SMD Patch. [Електронний ресурс] Режим доступу: http://www.taoglas.com/product/12124mm-sdcp-5900-5-9ghz-circular-polarized-embedded-dsrc-smd-patch/.

20. Launch of innovative DSRC antenna. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.taoglas.com/2015/12/taoglas-brings-antenna-innovation-to-the-vehicle-to-vehicle-market-with-unique-dsrc-antenna/.

21. TRP-4010-1хA. Транспондер премиум-класса. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.kapsch.net/ktc/downloads/datasheets/in-vehicle/5-8/Kapsch -KTC-DS-OBU-TRP-4010-1xA-Premium_Transponder.pdf?lang=ru-RU.

22. Toyota speak. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://itc.ua/news/toyota-tozhe-nauchit-avtomobili-obshhatsya-mezhdu-soboy-dlya-povyisheniya-bezopasnosti-dvizheniya-modeli-s-tehnologiey-dsrc-vyiydut-v-2021-godu/.

23. Launch of innovative DSRC antenna. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.taoglas.com/2015/12/taoglas-brings-antenna-innovation-to-the-vehicle-to-vehicle-market-with-unique-dsrc-antenna/.

24. TRP-4010-1хA. Транспондер премиум-класса. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.kapsch.net/ktc/downloads/datasheets/in-vehicle/5-8/Kapsch-KTC-DS-OBU-TRP-4010-1xA-Premium_Transponder.pdf?lang=ru-RU.

25. Toyota тоже научит автомобили “общаться”. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://itc.ua/news/toyota-tozhe-nauchit-avtomobili-obshhatsya-mezhdu-soboy-dlya-povyisheniya-bezopasnosti-dvizheniya-modeli-s-tehnologiey-dsrc-vyiydut-v-2021-godu/.

26. Система коммуникации между автомобилями. [Електронний ресурс] Режим доступу: http://systemsauto.ru/active/car-to-car.html.

27. Blind Corner Propagation Model for IEEE 802.11p Communication in Network Simulators. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.hindawi.com/journals/jat/2018/9482325/.

28. Как межтранспортная связь может заменить светофоры и укоротить дорогу на работу. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://habr.com/ru/post/425915/.

# ДОДАТОК А

Abstract

# ABSTRACT

The primary competition to C-V2X from a technological perspective is IEEE 802.11p/DSRC. IEEE 802.11p/DSRC is a short range wireless technology that developed from standard Wi-Fi and is now its own standard (i.e. “IEEE 802.11p”). IEEE 802.11p/DSRC operates in dedicated 5.9 GHz “Intelligent Transportation System” bandwidth in the US, and similar spectrum in the EU, although it operates in the 5.8 GHz spectrum in Japan.

IEEE 802.11p/DSRC is primarily focused on V2V safety applications. IEEE 802.11p/DSRC offers the benefits of extended range and non-line of site awareness over and above current advanced driver assistance systems (ADAS). IEEE 802.11p/DSRC also offers a very fast 2 millisecond over the air latency. Furthermore, unlike standalone ADAS technology, IEEE 802.11p/DSRC offers the possibility for V2I and vehicle-to-pedestrian (V2P) connectivity. This provides for added situational awareness for the vehicle.

IEEE 802.11p/DSRC is likely to become mandated in the US for all light vehicles starting in the 2020 model year. However, based on research by IHS Technology’s automotive analyst team, it appears unlikely that similar mandates will occur elsewhere, either in the EU, Japan, South Korea, or other important emerging car markets, such as China.

V2V promoters focus on vehicle-to-vehicle and vehicle-to-infrastructure communication. Dedicated applications include toll collection, red light duration broadcast at traffic lights or hot spots for transferring maps, routing information or traffic jams. But also active accident warnings should be transferred from cars in a traffic jam to the oncoming cars.

The 802.11p amendment (currently in draft) modifies the 802.11 standard to add support for wireless local area networks (WLANs) in a vehicular environment.

The main application of 802.11p is car-to-car (C2C) or vehicle-to-vehicle (V2V) communication. V2V is also a synonym for dedicated short range communication

(DSRC); both are based on RFID and 802.11p standards. The main challenges for the 802.11p standard are frequency spectrum availability and fading.

The 802.11-2007 standard defined three different PHY Layer modes. The 20 MHz, 10 MHz and 5 MHz modes. The different modes can be achieved by using a reduced clock / sampling rates. 802.11a usually uses the full clocked mode with 20 MHz bandwidth. 802.11p usually uses the half clocked mode with 10 MHz bandwidth. The 802.11j standard also uses the half clocked mode.

The media access control (MAC) layer of the 802.11p amendment is also part of the 802.11-2007 standard. The 802.11 MAC is designed to be PHY independent. Both MAC and PHY layers conceptually include management entities, called MAC sublayer management and PHY layer management entities (MLME and PLME).

Additionally all Stations belong a priori to one pre-defined “C2C” Independent Basic Service Set (IBSS). This can be achieved by reserved channels. They are also used for safety and traffic efficiency applications. So, no channel scanning is necessary, because dedicated predefined channels broadcast different categories.

802.11p is part of the 802.11-2007 standard, as 802.11a. The 802.11p amendments use the 5 MHz, 10 MHz and 20 MHz mode of the 802.11-2007 standard. The physical Layer of the 802.11p standard is the same as the physical Layer of the 802.11a standard, except for the used sample rate. This application note explains how the sample rate in the test equipment can be changed and the how to load the according SEM according the 802.11p standard. As 802.11p is used in C2C applications, security issues with higher reliability are requested. Rohde & Schwarz supports you by measuring 802.11p with high reliability.

IHS regards the opportunity for C-V2X principally as:

Offering enhanced V2V communications relative to IEEE 802.11p/DSRC. C-V2X should nearly double the alert/reaction time relative to IEE802.11p/DSRC technology.

Facilitating more robust V2I and V2N communications relative to IEEE 802.11p/DSRC. C-V2X will leverage existing cellular infrastructure, obviating the need for a build-out of new, fit-for-purpose IEEE 802.11p/DSRC infrastructure in roadways. This ability to leverage existing infrastructure reduces overall deployment costs.

Leveraging the investment made in cellular technology development and deployment by the mobile industry. Cellular infrastructure is deployed for, and amortized across, the vast vase of smartphone and mobile broadband users.

Leveraging the potential for cellular operators to play a positive role in developing and promoting C-V2X services. Cellular operators have extensive experience and capabilities in managing complex telecommunications services over wide areas.

Leveraging the potential for unified C-V2X/telematics offerings. C-V2X safety technology could potentially be integrated into overall vehicle telematics systems, creating further efficiencies, cost reductions, and networkeffect benefits.

Key considerations that still need to be addressed for widespread C-V2X market adoption include:

Stakeholder acceptance versus IEEE 802.11p/DSRC. IEEE 802.11p/DSRC has over 15 years of developing and testing history in the market and will likely be mandated in the US. In contrast, C-V2X is a relatively recent introduction of technology.

Optimal role for operators to play in facilitating C-V2X applications. Some stakeholders are leery of an operator role if this entails fees being paid to the operators.

Need for access to common spectrum for V2V use cases. Out-of-coverage, direct V2V connectivity will require common spectrum. Enabling C-V2X connectivity in some portion of the 5.9 GHz ITS band (and its related bands internationally), would be an easy way to facilitate adoption, but is controversial in the industry, particularly among IEEE 802.11p/DSRC proponents.