**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут**

**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

(повна назва інституту/факультету)

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(підпис) (ініціали, прізвище)

“\_\_\_”\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20\_\_ р.

**Дипломна дисертація**

на здобуття ступеня магістра

з спеціальності (спеціалізації)

(код та назва спеціальності)

на тему:

Виконав (-ла): студент (-ка) \_\_\_\_ курсу, групи \_\_\_\_\_\_\_\_\_

(шифр групи)

Савчук Дмитро Євгенович

(прізвище, ім’я, по батькові) (підпис)

Керівник

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант

(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

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

Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 20\_\_ року

Анотація

Магістерську дисертацію викладено на 72 сторінках, які містять 8 ілюстрацій 18 таблиць 1 додаток і 25 літературних джерел. програмний код у додатку 1

Метою дисертації є симуляція роботи mesh-мережі та протоколу OLSR з ціллю виявити можливі шляхи покращення алгоритму для сценарію використання, суть якого в необхідності передавання великого об’єму даних рухомими агентами.

Проведено симуляцію, яка показує одразу декілька способів покращення алгоритму. Але на даний момент вони не реалізовані на ринку через нерозвиненість галузі використання технології та відсутності необхідної стандартизації.

Можливі напрямки роботи у майбутньому:

* Уніфікації обладнання
* Удосконалення існуючих алгоритмів маршрутизації, або створення нового, більш універсального

Ключові слова протокол маршрутизації, mesh, бездротова передача даних.

Annotation

The master's thesis is presented on 72 pages, which contain 8 illustrations, 18 tables 1 appendix and 25 literature sources. Program code is in appendix 1

The aim of the dissertation is to simulate the mesh network and OLSR protocol in order to identify possible ways to improve the algorithm for the use scenario, the essence of which is to transmit large amounts of data to and from moving agents.

A simulation has been performed showing several ways to improve the algorithm. But at the moment they are not implemented in the market because of the underdeveloped industry of technology use and lack of necessary standardization.

Possible directions of work in the future:

* Unification of equipment
* Improvement of existing routing algorithms, or creation of a new, more universal one

Keywords routing protocol, mesh, wireless data transmission.

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

**до магістерської дисертації**

на тему: Гарантована передача інформації радіоканалами при відсутності альтернативних способів

Київ — 2019 року

Зміст

[Анотація 2](#_Toc27466628)

[Annotation 3](#_Toc27466629)

[Вступ 2](#_Toc27466630)

[1 Огляд сучасного стану технології 3](#_Toc27466631)

[1.1 Історія виникнення MESH-мереж 3](#_Toc27466632)

[1.2 Сучасні реалізації технології 4](#_Toc27466633)

[1.2.1.1. Bluetooth 4](#_Toc27466634)

[1.2.1.2. Wi-Fi 5](#_Toc27466635)

[1.2.1.3. ZigBee 6](#_Toc27466636)

[1.2.1.4. Guifi 7](#_Toc27466637)

[1.2.2 Області використання 8](#_Toc27466638)

[1.2.3 Недоліки сучасних реалізацій 10](#_Toc27466639)

[2 Основні принципи роботи MESH-мереж 15](#_Toc27466640)

[2.1 Алгоритми побудови 15](#_Toc27466641)

[2.2 Протоколи маршрутизації 18](#_Toc27466642)

[3 Симуляція роботи MESH-мережі у Matlab 25](#_Toc27466643)

[3.1 Оригінальний протокол OLSR 25](#_Toc27466644)

[3.2 Покращення протоколу 28](#_Toc27466645)

[4 Стартап-проект 31](#_Toc27466646)

[4.1 Опис ідеї проекту 31](#_Toc27466647)

[4.2 Технологічний аудит ідеї проекту 32](#_Toc27466648)

[4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту 33](#_Toc27466649)

[4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту 37](#_Toc27466650)

[4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту 39](#_Toc27466651)

[5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях 41](#_Toc27466652)

[5.1 Визначення основних потенційно небезпечних та шкідливих виробничих чинників 41](#_Toc27466653)

[5.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії 42](#_Toc27466654)

[5.2.1 Електробезпека 42](#_Toc27466655)

[5.2.1.1. Розрахунок захисного відключення електромережі при аварійному режимі роботи електрообладнання 43](#_Toc27466656)

[5.2.2 Розрахунок штучного освітлення на робочих місцях 44](#_Toc27466657)

[5.2.3 Мікроклімат робочої зони 46](#_Toc27466658)

[5.2.4 Технічні та організаційні рішення щодо організації робочих місць користувачів ПК 47](#_Toc27466659)

[5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях 49](#_Toc27466660)

[5.3.1 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу при надзвичайних ситуаціях 49](#_Toc27466661)

[5.3.2 Обов’язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайних ситуацій 52](#_Toc27466662)

[5.3.3 Пожежна безпека 53](#_Toc27466663)

[6 Висновки 55](#_Toc27466664)

[Список літератури 56](#_Toc27466665)

[Додаток А 59](#_Toc27466666)

Вступ

На сьогоднішній день бездротові мережі відіграють все більш важливу роль у нашому житті. Потреби у зв’язку постійно збільшуються, але існуюча інфраструктура не встигає задовольняти їх. Крім цього централізована ієрархічна структура Інтернету не завжди відповідає необхідним завданням по організації зв’язку. Тут на сцену виходить відносно нова технологія бездротових мереж передачі даних mesh, або сітчаста топологія. Суть в тому, що кожен вузол бере на себе частину обов’язків по передачі даних, не тільки своїх, а і від та до інших вузлів мережі. На даний момент потреба у такому способі організації зв’язку постійно зростає, так як завдяки технічному розвитку і можливостям електроніки більше немає такої необхідності у дуже спеціалізованих пристроях, коли універсальний може робити все те, що і спеціалізований, іноді навіть краще.

Дана технологія вже використовується у мережах датчиків, у ситуації, коли покрита площа занадто велика та потужності датчиків не вистачає, щоб напряму зв’язатись з агрегатором. Або у ситуації, коли обов’язковою умовою є надмірність мережі, ще із потребою у мобільності користувачів при відсутності існуючої інфраструктури.

 Але на даний момент дана технологія є ще відносно молодою, як результат – відсутність універсальних протоколів, алгоритмів та стандартів, отже кожен виробник використовує свої рішення, яке часто може бути не сумісним із рішеннями інших виробників обладнання.

# Огляд сучасного стану технології

## Історія виникнення MESH-мереж

Історія сучасних мереж, що самоорганізуються починається з 1970-х років з моменту створення PRNET (Packet Radio Networks), що були фінансовані міністерством оборони США. Мета створення самоорганізованих мереж полягала в можливості працювати в мережі, отримувати доступ до мережі Інтернет в будь-якому місці, навіть в русі, не покладаючись на інфраструктуру фіксованої мережі.

З розвитком мереж виникла необхідність у використанні нового типу, без стійкої структури і здатною адаптуватися до мінливих та нестійких характеристик каналу зв'язку. Вони стали називати mesh-мережами. Перші такі мережі були розгорнуті в США і Японії в 2009-2010 роках.

Бездротові сітчасті радіомережі спочатку були розроблені для військових застосувань, таким чином, щоб кожен вузол міг динамічно служити маршрутизатором для кожного іншого вузла. Таким чином, навіть у випадку виходу з ладу деяких вузлів, інші вузли можуть продовжувати зв'язок один з одним і, якщо потрібно, служити в якості посилань для інших вузлів[1].

У ранніх версіях бездротових мереж, вузли мали одне напівдуплексне радіо, яке в будь-який момент могло або передавати або приймати, але не обидва одночасно. Це супроводжувалося розвитком загальних мережевих систем. Згодом такі примітивні пристрої були замінені більш складними радіоапаратами, які могли приймати пакети від верхнього вузла та передавати пакети в низхідний вузол одночасно (на іншій частоті або на іншому каналі CDMA). Це дозволило розвивати комутовані сітчасті мережі. Оскільки вимоги до розміру, вартості та потужності радіостанцій ще більше зменшилися, вузли могли бути економічно оснащені декількома радіостанціями. Це, у свою чергу, дозволяло кожному радіо керувати різними функціями, наприклад, одне радіо для доступу клієнта та інше для віддалених послуг.

Роботу в цій галузі сприяло використання методів теорії ігор для аналізу стратегій розподілу ресурсів та маршрутизації пакетів.

Mesh-мережі в залежності від швидкості самоорганізації, частки участі в ній людей ділять на цільові (ad hoc) і пористі (mesh) мережі. У перекладі з латині «ad hoc» буквально означає «для цього, спеціально для цього випадку». Основна відмінність між ad hoc і mesh мережами полягає в тому, що, як правило, ad hoc відносять до термінальних мереж, a Mesh - до транзитних, хоча цей поділ вельми умовно, але прийнято в даний час[2].

## Сучасні реалізації технології

На даний момент активно ведуться дослідження та застосування mesh-мереж в наступних сферах:

* військовий зв'язок;
* інтелектуальні транспортні системи;
* локальні мережі;
* сенсорні мережі;

В даний час існує декілька «базових» технологій для таких мереж:

* Bluetooth;
* ZigBee;
* WiFi 802.11

Розглянемо ці технології більш детально.

### Bluetooth

Mesh-мережі на основі Bluetooth складаються з центральних та периферійних пристроїв (ці ролі можуть поєднуватися), здатних передавати дані як в синхронному, так і в асинхронному режимах. Синхронний режим передачі передбачає прямий зв'язок між ведучим і веденим пристроями з закріпленим каналом і тимчасовими слотами доступу. Даний режим використовується в разі обмежень за часом передачі. Асинхронний режим передбачає обмін даними між ведучим і декількома веденими пристроями з використанням пакетної передачі даних. Використовується для організації пікомереж. Один пристрій (як провідний, так і ведений) може підтримувати до 3-х синхронних з'єднань.

У синхронному режимі максимальна швидкість передачі даних дорівнює 64 кбіт/с. Максимальна швидкість передачі в асинхронному режимі складає 720 кбіт/с.

Переваги мереж на базі Bluetooth:

* можливість швидкого розгортання;
* порівняно мале енергоспоживання абонентських пристроїв;
* широкий спектр підтримують цю технологію пристроїв.

Недоліки мережі:

* невеликий радіус дії (радіус дії одного абонентського пристрою становить 0.1 - 100 м);
* малі швидкості передачі даних (для порівняння: в мережах WiFi цей показник становить 11 - 108 Мбіт/с);
* нестача частотного ресурсу.

Можливо, остання проблема буде вирішена з виходом пристроїв Bluetooth 3.0, де передбачається можливість використовувати альтернативні протоколи рівнів MAC і фізичного з метою прискореної передачі даних профілів Bluetooth (AMP). Зокрема можуть бути використані протоколи стандарту 802.11 [3].

Виходячи з вищенаведеного, можна зробити висновок, що мережі на основі Bluetooth застосовні лише в місцях великого скупчення людей (наприклад, в центрах міст, невеликих офісах, магазинах). Наприклад подібна мережа може служити для організації відеоспостереження на невеликому об'єкті.

### Wi-Fi

Мережі стандарту 802.11 спочатку були задумані як спосіб заміни дротові мережі. Однак, відносно високі швидкості передачі (до 108 Мбіт/с) роблять перспективним можливе застосування в тих самоорганізованих мережах, в яких необхідно передавати великі обсяги інформації в реальному часі (наприклад, відеосигнал)[4].

2007 році вперше була випущена чорнова версія стандарту 802.11s, визначаючи основні характеристики систем, що самоорганізуються на основі WiFi.

На відміну від традиційних мереж WiFi, в яких існує тільки два типи пристроїв - «точка доступу» і «термінал», стандарт 802.11s передбачає наявність так званих «вузлів мережі» і «порталів мережі». Вузли можуть взаємодіяти один з одним і підтримувати різні служби. Вузли можуть бути суміщені з точками доступу, портали ж служать для з'єднання з зовнішніми мережами, наприклад Інтернет або корпоративна мережа.

На основі вже існуючих стандартів 802.11 можна будувати MANET-мережі (мобільні самоорганізвані мережі), відмінною рисою яких можна назвати велику зону покриття (кілька квадратних кілометрів)[5].

Проблеми, які потребують особливої ​​уваги при подальшому розвитку самоор-самоорганізваних мереж на базі WiFi можна розділити на наступні класи:

* проблеми пропускної спроможності;
* проблеми масштабованості мереж.

### ZigBee

Стандарт 802.15.4 (ZigBee) описує низькошвидкісні мережі зв'язку малого радіусу дії з малопотужними передавальними пристроями. Передбачено використання трьох діапазонів частот: 868-868.6 МГц, 902-928 МГц, 2.4-2.4835 ГГц[6].

В якості методу доступу до каналу використовується DSSS з різними довжина-ми послідовності для діапазонів 868/915 і 2450 МГц.

Швидкості передачі даних варіюються від 20 до 250 кбіт/с.

Відповідно до стандарту мережу ZigBee підтримує роботу з топологіями типу «зірка» та «кожен з кожним».

Існують два варіанти приймально-передавальних пристроїв: повнофункціональні (FFD) і неповнофункціональні (RFD). Корінна відмінність цих пристроїв полягає в тому, що FFD можуть встановлювати прямий зв'язок з будь-якими пристроями, а RFD - тільки з FFD[7].

Мережа ZigBee може складатися з декількох кластерів, утворених пристроями FFD.

Мережі стандарту ZigBee можуть працювати в режимі mesh. При цьому передбачається, що кожен вузол мережі (вузол мережі утворює пристрій FFD, RFD працюють в якості сенсорів) постійно стежить за станом сусідніх вузлів, оновлюючи при необхідності свої маршрутні таблиці.

### Guifi

Найбільша mesh-мережа в світі розгорнута в Каталонії і Валенсії (регіони в Іспанії) і складається з 22 тисяч вузлів. Проект зародився на початку 2000-х, коли місцеві жителі втомилися чекати появи в регіоні нормального інтернет-провайдера. З тих пір мережа розвивається на громадських засадах і підключення до Guifi є абсолютно безкоштовним. Виглядає все так: є умовні одиниці - «острова». Кожен острів - це меш-мережа, яка об'єднує користувачів району, муніципалітету або міста. Для підключення використовуються Wi-Fi-роутери з видозміненим програмним забезпеченням на базі DD-WRT. Зв'язок між островами забезпечується за допомогою VPN-серверів або проксі-серверів на Squid. Ці ж сервери дають користувачам Guifi доступ в Інтернет. Відповідно, якщо сервер падає, мережа всередині острова продовжує працювати, але доступ до інших островів і інтернету припиняється. Конкретна швидкість мережі і стабільність проксі-серверів в кожному випадку різна - у багатьох швидкість не перевищує і одного мегабіта, але в багатьох районах (особливо в горах) це як і раніше кращий спосіб вийти в інтернет [8].

### Області використання

Швидке розгортання сенсорних мереж в надзвичайних ситуаціях: наприклад, для пошуку постраждалих, аналізу масштабу лиха і т.д. У локальних мережах (мережа HANET), наприклад, при створенні системи автоматизації будівель, будинків, систем локального позиціонування (RTLS)[9].

У транспортній сфері для системи розумного транспорту і розумного трафіку - мережі VANET. У місцях масового скупчення людей для розвантаження базових станцій і забезпечення зв'язку мобільних пристроїв безпосередньо без участі базових станцій (MANET).

Самоорганізуються мережі надають користувачам істотно розширений спектр послуг, серед яких можна виділити декілька великих класів таких послуг.

* Послуги з організації побуту

Сюди можна віднести, наприклад, послуги по взаємодії сучасної побутової техніки та людини; послуги із забезпечення безпеки житла, офісів і т.д; послуги з моніторингу стану житлових і робочих приміщень, включаючи моніторинг освітлення, кліматичних умов, водопостачання, загазованості і т.д. До цього ж класу сервісів можна віднести надзвичайно затребувані сьогодні послуги з іншим завданням локального позиціонування в реальному часі RTLS, включаючи моніторинг дорогих предметів вдома та обладнання в офісах. Однією з досить нових послуг є сервіс виду "Push to Buy" (рекомендація покупки), яку поступово впроваджують у великих торгових центрах при створенні мереж SHANET (Shopping Ad Hoc Network)[10].

* Послуги класу телемедицини

Це, в першу чергу, послуги з моніторингу стану здоров'я абонентів мережі. Для літніх людей можуть бути надані послуги з постійного моніторингу здоров'я, а також контролю місцезнаходження і оцінці адекватності поведінки. Для батьків може бути запропонована аналогічна послуга по контролю або оперативного визначення місцезнаходження дітей.

* Послуги фінансового класу

З використанням унікальних можливостей самоорганізованих мереж, створюваних на території окремо взятого мікрорайону або невеликого міста, можуть бути створені спеціальні класи послуг. Це - фінансові сервіси, що дозволяють авторизованому користувачеві мережі не тільки оплатити рахунки, а й навіть отримати кредит або скористатися послугами мережі ломбардів і, наприклад, взяти гроші під заставу автомобіля або оперативно і без зайвих проблем отримати короткострокову позику під заставу майже будь-якого цінного майна - золотих прикрас, столового срібла, якісної побутової техніки та домашньої електроніки. З огляду на те, що стрімкий темп сучасного світу, найчастіше, не залишає жителям вільного часу, а рішення в багатьох ситуаціях необхідно приймати негайно, така можливість може іноді виявитися дуже необхідною.

* Інформаційно-комунікаційні послуги по взаємодії

Цей тип послуг інформаційно-комунікаційних технологій об'єднує сервіси, що забезпечують можливість взаємодії співробітників муніципальних і комунальних служб. Вони може бути організовані при виконанні ними ремонтних і профілактичних робіт не тільки на рівні мікрорайону, а й в масштабах цілого району або міста. На більш локальному рівні в цей клас обслуговування потрапляють вкрай потрібні послуги по взаємодії медичного персоналу, що знаходиться за викликом на дому, в офісі тощо. З персоналом районної поліклініки, міської або районної лікарні, а також оперативного доступу до інформації медичними базами даних[11].

* Роумінгові послуги

Це - можливість для абонентів інших мереж отримати на території мікрорайону звичну послугу 3G за менші гроші, або не втратити обслуговування в разі відсутності на території необхідної інфраструктури мережі. Зокрема, це послуги роумінгу для користувачів мереж 3G при знаходженні цих користувачів в якості гостей мережі HANET, або послуги роумінгу і доступу в Інтернет для користувачів персональних комп'ютерів і багатофункціональних терміналів при знаходженні цих користувачів в якості гостей в мережі HANET.

* Прогноз

Експерти Міжнародного союзу електрозв'язку впевнені, що, завдяки тому, що послуги самоорганізованих мереж можуть надаватися без використання ядра мережі та на основі традиційних уявлень про частку місцевого і міжміського трафіку, можна висловити припущення, що в 2020 році частка послуг самоорганізованих мереж в загальному обсязі послуг складе близько 90%[11].

### Недоліки сучасних реалізацій

Уявіть собі автомобіль, який їде по магістралі і йому необхідно обмінятися інформацією зі світлофором та іншими автомобілями і порівняйте це з часом, який ви витратите на вхід в звичайну WiFi мережу або під'єднання по Bluetooth до нового пристрою. Плюс до всього, з'єднання повинно бути надійним (з підтвердженням доставки), захищеним (шифрування та автентифікація) і швидким (пропускна здатність > 1 Мбіт/с)[12].

Або інший приклад - MANET. Уявіть солдата на полі бою, де ситуація змінюється щомиті, а йому треба в реальному часі доповісти обстановку командуванню, отримати наказ, завантажити тактичну мапу тощо. Таке з'єднання крім надійності і безпеки має бути ще й стійким до змін топології, маршрутизація повинна володіти швидкою збіжністю, тобто гарантувати знаходження маршруту заданої якості за розумний час, гарантувати відсутність зациклення, підтримувати багатоадресатную розсилку. А якщо таких солдатів багато. Скажімо, рота або батальйон?

Так все-таки, чому ж, при всіх вищезгаданих вимогах, не можна створити гібридну або повністю розподілену радіомережа типу MANET на стандарті IEEE 802.11 або ZigBee або Bluetooth?

* МАС рівень

Найбільш важливим для ефективної роботи радіомережі з комутацією пакетів є канальний рівень, точніше його МАС-підрівень через його концептуальну складність і глобального мережевого впливу, тому що нераціональна організація колективного доступу до радіоканалу може значно знизити швидкість передачі пакетів по мережі або навіть зовсім блокувати її роботу незалежно від якості функціонування інших рівнів еталонної моделі OSI.

В WiFi, як і в ZigBee, використовується протокол множинного доступу з контролем несучої і запобіганням колізій - CSMA / CA. Він передбачає, що «один говорить-решта мовчать». При цьому проводиться обмін керуючими фреймами RTS / CTS для вирішення проблеми прихованого абонента і середовище передачі резервується для передавальною станцією. Резервування середовища за методом CSMA / CA вимагає суворої симетричності певних елементів координованого управління, що для MANET - неможливо або небажано.

Разом, маємо деградацію параметрів продуктивності протоколу множинного доступу при високій динаміці зміни топології і інтенсивному трафіку[9].

* Адресація

Адресний простір IPv4 використано.

Зрозуміло, що піднімати DHCP і роздавати адреси всередині мережі MANET - ідея нежиттєздатна хоча б тому, що для цього потрібен час на пошук маршруту до сервера, та й як маршрутизувати початкову адресу типу 0.0.0.0 при багато-хоповій ретрансляції пакету?

Прийнято вважати, що IPv6 є тим протоколом, який ляже в основу мереж майбутнього. Але тоді виникає деякий недорозуміння з приводу відстності підтримки нового протоколу розробниками маршрутизації. Навіть такі основоположні ad hoc документи IETF, як RFC 3561, RFC 4728, не пропонують конкретних механізмів підтримки IPv6. Таким чином, ця проблема віддається на відкуп вендорам обладнання, а ті в свою чергу вирішують завдання як можуть, часто по різному[13].

Ще одним неприємним фактом для WiFi, в контексті самоорганізованих мереж, є обов'язкова адресація на канальному рівні. Це здається дрібницею, але як показує практика - ця дрібниця здатна порушити роботу всієї мережі. Якщо ми працюємо в мережі IPv4, то заголовок канального фрейма формується за допомогою протоколу ARP, який визначає МАС адресу абонента по його IP шляхом періодичного опитування. У протоколі IP версії 6, протоколу ARP немає. Він замінений протоколом ICMP версії 6, який передбачає обмін спеціальними повідомленнями "Neighbor solicitation" - "Neighbor Advertisement" для прив'язки МАС адреси до IPv6. Природньо, що в класичному LAN ці запити не йдуть далі 1 маршрутизатора, тому що там всі користувачі користуються однією загальною шиною. У радіомережах, в силу їх бездротової природи, всі абоненти фізично не можуть «сидіти» на загальному каналі і чути всіх інших, тим більше в MANET. А заповнення мережі ARP або ICMPv6 запросами веде до збільшення неінформативного обміну між абонентами і, як наслідок, до зниження реальної пропускної здатності.

* Маршрутизація

Прийнято ділити протоколи маршрутизації на проактивні (табличні), реактивні (зондові) і їх гібриди. На зорі розвитку mesh-мереж намагалися використовувати стандартний протокол маршрутизації OSPF. З цього нічого не вийшло, звичайно ж, тому що він розроблявся для зовсім інших умов експлуатації. У результаті з'явилася маса наукових робіт, де пропонуються десятки протоколів маршрутизації для самоорганізованих радіомереж[15]. Проблема, однак, полягає в тому, що реально розроблені протоколи маршрутизації мереж MANET або не реалізовані фізично в мові С, або орієнтовані на досягнення оптимального використання мережевих ресурсів при квазістатичних умовах роботи мережі, тобто коли топологія змінюється повільно або взагалі не змінюється. Останнє актуально для таблично-орієнтованих протоколів типу OLSR, DSDV, WRP, BATMAN, Babel і т.п.

Ці протоколи мають на увазі наявність в маршрутних таблицях інформації про всю мережі відразу. Вони постійно будують маршрути до всіх відомих їм вузлів, незалежно від того потрібен нам цей абонент чи ні. Ще одне джерело неінформативного трафіку у мережі.

Зондові протоколи, як AODV, DSR, SSR, TORA, припускають маршрутизацію за запитом, але не до кінця стандартизовані. До того ж через несиметричність каналів маршрутизація повинна підтримувати режим побудови безлічі маршрутів як від адресата до одержувача, так і в зворотному напрямку. А це підтримують тільки протоколи DSR і TORA [14].

* Транспортний рівень

Стандартний протокол TCP, в реалізації RFC 793 і RFC 5681 працює погано при багато-хоповій ретрансляції і випадковому доступі. Мережа або недовантажена або перевантажена, пов'язано це не з відсутністю власне пропускної смуги, а з великими флуктуаціями в параметрах з'єднання між абонентами: затримка, джиттер, відсоток втрат пакетів; і особливо частою зміною власне маршруту передачі. До того ж, виявилося, що ТСР повинен мати доступ до нижчих рівнів - мережевого і канального для більш адекватного реагування на зміни в такій мережі. А практичною реалізацією такої можливості ніхто не займається[10].

Підкреслю, що мова йде не про сенсорні мережі, що генерують 1 пакет на годину, а про високошвидкісні децентралізовані радіомережі з динамічно мінливою топологією, наприклад для передачі голосу.

Тепер про технічні проблеми, які теж заважають швидко розвиватися «Інтернету речей». Проблеми з сенсорами:

* Існуючі речі, як правило, не мають сенсорів;
* Різні інтерфейси взаємодії (ZigBee, 6LoWPAN, PLC, RS-485, Modbus, BACnet, Hart і т. Д.);
* Слабка сумісність між різними рішеннями[16].

Проблеми зі зв'язком:

* Величезна кількість з'єднань від датчиків;
* Багато різних сценаріїв (Video Surveillance, Industrial Control, Autopilot, Smart Metering і т. Д.)
* Застосування з різними вимогами до середовища.

# Основні принципи роботи MESH-мереж

## Алгоритми побудови

Ідея самоорганізованої мережі полягає в тому, що якщо, наприклад, ви живете в багатоповерховому багатоквартирному будинку, і в кожній (або майже в кожній) квартирі є маршрутизатор (бездротова точка доступу з функцією маршрутизації і виходом в Інтернет, які сьогодні дуже поширені), то ці маршрутизатори можна об'єднати в mesh-мережу. Переваги мережі будуть полягати в тому, що якщо в одного з користувачів пропаде Інтернет або «впаде» швидкість, можна буде скористатися Інтернетом сусідів (вибір оптимального маршруту). Або якщо мережа не перевантажена, то великий обсяг інформації можна завантажити одночасно через кілька каналів. Така схема буде працювати, якщо сусіди знаходяться в дружніх відносинах. У реальності це можна організувати через посередника - компанію, що управляє, яка сама розгорне мережу і буде надавати абонентські послуги доступу до обладнання. У випадку з підприємством або невеликою організацією питання власності вже менш принципове, а організацією мережі може зайнятися спеціальний відділ, який відповідає за питання автоматизації і надання доступу до комп'ютерної мережі [17].

Проблем стає більше, коли мережа знаходиться в постійному русі, наприклад, мережа транспортних засобів мандрівників або просто геологи, що переміщаються цільовими групами. У цьому випадку на допомогу приходять компанії зі своїм готовим мережевим обладнанням і пропонують послуги. Самі розробки (реалізація технології) є пропрієтарними і не виставляються на загальний огляд. На сьогоднішній день немає повної і точної інформації про те, як на основі наявних вільних програмних і апаратних засобів створити і розгорнути свою mesh-мережу, готову надати повноцінні сервіси самоорганізованої приватної мережі своїм користувачам.

Теоретично, і навіть практично, питання про налаштування існуючих спеціальних операційних систем комунікаційного обладнання та протоколів в тій чи іншій мірі розкритий. Можна без праці об'єднати в порожнисту топологію Wi-Fi маршрутизатори і навіть підключити до них абонентів. Проблема полягає в тому, що для звичайних користувачів, яким потрібен готовий, надійний функціонал і набір сервісів, вся ця інформація практично ні про що не говорить, за винятком тих, хто якось пов'язаний з областю комп'ютерних мереж та інформаційних технологій. Більш того, сучасний користувач не хоче купувати спеціалізоване обладнання або витрачати гроші на його оренду. Необхідно використовувати те, що у нього вже є.

Для життя в сучасному розвиненому місті людині просто необхідний смартфон для орієнтації в місті, для зв'язку з друзями і близькими, для доступу до обслуговуючої населення інформаційному середовищі. Тому можна вважати, що у кожного, кому знадобилася своя mesh-мережу, знайдеться смартфон. Найпоширеніша операційна система для смартфонів - Android. Отже, для задоволення попиту має сенс орієнтована на користувачів, у яких завжди з собою є смартфон з операційною системою Android. Можна знайти досить багато порад про те, як поключитися до «мережі майбутнього», де немає цензури і вся інформація користувача доступна тільки тим, кому він її надає (адресатам). Але це всього лише передбачувана заміна або альтернатива мережі Інтернет [18].

Якщо потрібно розгорнути безпечну мережу, можна скористатися технологією і протоколом Cjdns. Весь трафік мережі шифруватиметься автоматично. Протокол гарантує приватність (ніхто не перехопить особисту інформацію, предмет розмови буде секретним), але не гарантує анонімність (завжди можна дізнатися, хто і з ким спілкується). Для роботи з мережею пристрій повинен підтримувати роботу протоколу IPv6. Проблема Cjdns полягає в тому, що ви створюєте не зовсім свою мережу, а стаєте частиною проекту Hyperboria, так званого незалежного Інтернету майбутнього. Проте, це приклад mesh-мережі, отже, в своїх розробках можна орієнтуватися на величезний досвід, щоб уникнути проблем.

На особливу увагу за-обслуговуючих android-проект Open Garden (набір додатків), що дозволяє без особливих проблем підключитися до mesh-мережі користувачам додатку, проте у додатка все та ж спрямованість - «загальний відкритий Інтернет», не для приватного використання . Коли мова заходить про mesh-мережі, часто можна зустрітити таку технологію, як OpenWrt. Чимало обговорень зустрічається в Інтернеті з приводу того, як налаштувати на маршрутизаторі операційну систему OpenWrt для створення mesh-мережі. Більш того, маршрутизатори на OpenWrt можуть з'єднуватися з Cjdns-вузлами, а це значить, що технології поділяють спільну ідеологію самоорганізованої мережі. Проблема полягає в тому, що OpenWrt орієнтований не на мобільні, а на комунікаційні пристрої, які об'єднуються в mesh мережу, а пристрої користувачів користуються перевагами такої мережі.

Таким чином мобільність реалізується тільки по відношенню до користувачів, що рухаються в радіусі охоплення встановлених точок доступу. Питання, таким чином, залишається відкритим - наскільки реально організувати приватну мережу групи людей (тих же геологів, як приклад, рухаються по різних місцях користувачів можливої ​​мережі), що мають при собі тільки смартфони (наприклад, на базі Android, які можуть працювати як маршрутизатор, зазвичай сучасні Android-смартфони підтримують даний функціонал).

Оскільки в кожному смартфоні є Wi-Fi і Bluetooth, то народжується аналогія з провідний мережею - по Bluetooth (як заміна серіального / послідовного з'єднання) об'єднати проміжні пристрої (центральні смартфони-маршрутизатори), а по Wi-Fi - відкрити доступ учасникам, абонентам мережі. Або ж, навпаки, якщо два маршрутизатора знаходяться далеко один до одного, то з'єднати їх по Wi-Fi, а підключення абонентів здійснювати по Bluetooth. Якщо розвинути тему і припустити, що група геологів переміщається в лісі і у них є квадрокоптер (або подібний пристрій), на який можна встановити Wi-Fi ретранслятор, то ідея стає цілком життєздатною. Що ж в цьому випадку робити розробникам для задоволення користувальницької потреби? З вищесказаного випливає, що потрібно розробити якесь універсальне проміжне програмне забезпечення для підтримки надійного mesh-зв'язку між абонентськими пристроями, які підключаються один до одного за допомогою доступних комунікаційних технологій (Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, IrDA).

Причому необхідно враховувати, як буде відбуватися обмін інформацією про топологію і підключених, як вся ця робота по організації багатозв’язаної мережі буде впливати на тривалість роботи акумуляторів призначених для користувача пристроїв. Потрібен добре продуманий протокол, який враховує всі обмеження пристроїв і передбачає можливість відповідного підстроювання. Можна запропонувати і більш амбітну ідею. З огляду на рівень розвитку електроніки і наявності сучасних програмованих мікропроцесорних засобів (тих же мікроконтролерів і більш інтегрованих рішень), реалізувати на низькому рівні подібний представленому вище протокол. Протокол, який можна буде інтегрувати в мініатюрний пристрій, здатний брати участь в бездротових з'єднаннях. Призначені для користувача пристрої будуть підключатися до пристроїв більш високого рангу, а ті в свою чергу організовувати mesh-мережу.

## Протоколи маршрутизації

Протоколи маршрутизації - мережеві протоколи, що відповідають за пошук шляху, по якому буде передаватися інформація. Протоколи маршрутизації можна розділити на два великі класи: проактивні і реактивні[19].

Гібридна маршрутизація - поєднання елементів проактивної і реактивної маршрутизації. Тобто зберігання таблиці деяких адресатів, і подальше їх опитування на вимогу в міру необхідності побудови інших маршрутів.

Для організації самоорганізованої мережі найчастіше використовують протоколи Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee, для маршрутизації - AODV, SAODV, ZRP, OLSR, LAR[12].

Технологія mesh-мереж в даний час знаходиться в стадії доопрацювання, оскільки з'являються нові методи і алгоритми маршрутизації. Оцінка параметрів продуктивності різних протоколів є важливим завданням при розробці нових і модернізації вже наявних протоколів маршрутизації. Як інструмент дослідження використовуються математичне моделювання, емуляція і експерименти з реальною системою. Найбільш популярним і зручним емулятором, поширюваним за ліцензією GPL, є система NS-3.

Особливу увагу при розробці протоколів маршрутизації приділяється алгоритмам побудови оптимальних маршрутів. Принцип роботи таких алгоритмів заснований на адаптації відомих протоколів і методів статичної та динамічної маршрутизації централізованих бездротових, електричних і оптоволоконних мереж, і принципів біологічних і природних процесів: генетичних алгоритмів, механізму поведінки мурах.

У проактивних протоколах при зміні топології мережі ініціюється броадкастова розсилка повідомлень про ці зміни. Всі маршрути зберігаються в пам'яті кожного вузла і він може скористатися ними в будь-який момент. З причини того, що, фактично, кожен вузол має граф зв'язності мережі, можлива побудова найкоротшого маршруту, наприклад, за алгоритмом Дейкстри. До проактивних протоколів відносяться - TBRPF (Topology dissemination base on reverse-path forwarding), FSR (Fisheye State Routing), OLSR (Link State Routing Protocol).

У реактивних протоколах маршрутизації маршрути існують тільки тоді, коли вони необхідні, тобто коли по ним ведеться передача даних. При необхідності передати інформацію даний вузол, або джерело починає трансляцію повідомлення - зонда. Обробляючи його, проміжні вузли додають маршрут до вузла джерела (зворотний маршрут), і продовжують його трансляцію. Коли повідомлення - зонд доходить до вузла призначення, він формує повідомлення-підтвердження і відправляє його по вже сформованому зворотному маршруту. До реактивних маршрутів належать - AODV (Ad-hoc On demand Distance Vector Routing), DSR (Dynamic Source Routing), LMR (Lightweight Mobile Routing), TORA (Temporally-Ordered Routing Algorithms).

Гібридні протоколи комбінують механізми проактивних і реактивних протоколів. Як правило, вони розбивають мережу на декілька підмереж, всередині яких функціонує проактивний протокол, а взаємодія між ними здійснюється реактивними методами. У великих мережах це дозволяє скоротити розміри таблиць маршрутизації, які ведуть вузли мережі, так як їм необхідно знати точні маршрути лише для вузлів підмережі, до якої вони належать. Також скорочується і обсяг розсилки по мережі службової інформації, так як основна її частина поширюється лише в межах підмереж. Один з найвідоміших гібридних протоколів носить назву HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol)[11] .

Таким чином, існує багато стандартів і протоколів реалізації бездротових Mesh мереж. Серед них найвідоміші це OLSR і HWMP, проте і вони володіють значними недоліками. OLSR показує хороші результати у великих і складних мережах, маленьку затримку при з'єднаннях, але неефективно витрачає енергію неактивних пристроїв. HWMP незважаючи на гнучкість і простоту розгортання використовує не найефективніші шляхи передачі трафіку в топології мережі.

Фірма Cisco Systems розробила мережеву платформу Cisco Aironet 1520. На мережевому обладнанні фірми використовується запатентований протокол маршрутизації AWPP (Cisco's Adaptive Wireless Path Protocol). Алгоритми і принципи протоколу приховані, проте за деякими даними він заснований на проактивного версії HWMP. Функцію кореневого вузла виконує спеціальний контролер бездротової мережі - Cisco Wireless LAN Controller.

У свою чергу Microsoft розробила протокол LQSR (Link Quality Source Routing), заснований на алгоритмі DSR (Dynamic Source Routing), схожий на Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV), але в якому використовується маршрутна таблиця джерела, а не проміжних вузлів.

Для невеликих мереж (до 16 вузлів) хороші результати показують HWMP, AODV, OLSR. При побудові великих мереж ефективним протоколом є HWMP. Протоколи AODV, OLSR в мережах з кількістю вузлів більше 16, вимагають більше часу (приблизно на 0,2 секунди) для побудови маршруту. Можна зробити висновок, що в мережах з великою кількістю абонентів, які потребують трафіку реального часу (потокової передачі відео і аудіо) найбільш прийнятний гібридний протокол HWMP.

Встановлено, що використання тільки проактивного способу, як і використання тільки реактивного способу, ефективно лише в певних сценаріях: в нерухомих мережах з високою щільністю станцій проактивний спосіб розсилки показує високий результат, в мобільних мережах з низькою щільністю станцій реактивний спосіб ефективніше; при високій завантаженості мережі для користувача трафіком має сенс використання проактивного способу, при низькій - реактивного. Все це говорить про те, що необхідно використовувати гібридний спосіб розсилки мережевої інформації, який би об'єднував в собі реактивний і проактивний способи. Методика дослідження заснована на критерії якості передачі мультимедійної інформації[20] .

Протокол DSDV заснований на ідеї класичного алгоритму маршрутизації Беллмана-Форда з деякими поліпшеннями. DSDV проактивний, дистанційно векторний алгоритм. Кожен вузол підтримує таблицю маршрутизації, в якій перераховані всі доступні напрямки, кількість маршрутизаторів ( «стрибків») до кінцевого пункту та номер версії. Вузли періодично передають свої таблиці маршрутизації найближчим сусідам. Вузол також передає свою таблицю маршрутизації, якщо в ній відбулася зміна з моменту останнього відправленого поновлення. Основне завдання алгоритму в тому, щоб виключити можливість створення циклічних маршрутів. Для мінімізації обсягу трафіку, протокол передбачає обмін повними таблицями маршрутизації тільки при серйозних змінах в топології мережі[21]. У більшості випадків відправляються дрібні додаткові оновлення. DSDV був одним з перших розроблених алгоритмів. Він цілком підходить для створення тимчасових мереж з малою кількістю вузлів. Було запропоновано багато вдосконалених варіантів цього алгоритму. Головним недоліком протоколів на базі DSDV є необхідність регулярної передачі службової інформації між вузлами для поновлення своїх таблиць маршрутизації, що в умовах бездротової мережі веде до збільшення терміну служби батареї мобільного пристрою і займає частину смуги пропускання радіоканалу, навіть коли мережа не використовується. Крім цього, всякий раз, коли змінюється топологія мережі, створюється новий порядковий номер для версії маршрутної інформації. При дуже динамічних мережах, може переповнитись даний параметр, тобто DSDV не підходить для мереж з швидко змінюється топологією.

Одним з перших протоколів реактивної маршрутизації для самоорганізованих мереж є протокол DSR[22] . DSR накопичує інформацію про маршрут не в таблицях маршрутизації вузлів, а безпосередньо в пакеті запиту. Основні механізми DSR включають визначення маршруту і його обслуговування. Ці два механізми працюють спільно, щоб визначати і/або підтримувати маршрути в будь-яку точку мережі. При первинному визначенні маршруту пакети відправляються по всіх можливих напрямах і в заголовок додається інформація про пройдений вузлі. У підсумку по досягненню мети, заголовок пакета містить повністю сформований маршрут між заданими вузлами.

У разі виникнення петель, тобто повторного прийому першого пакету, вузол знищує даний пакет. Одним з основних недоліків даного протоколу є невиправдане збільшення розміру пакета при довгих маршрутах або великих адрес, таких як IPv6. На базі DSR, побудовано багато протоколів, які покращують окремі характеристики базової версії, в тому числі DSRFLOW[23]v В даному протоколі для визначення вихідних маршрутів необхідно запам'ятовувати адреси кожного пристрою між джерелом і вузлом призначення під час початкового побудови маршруту. Накопичена інформація про шляхи кешується проміжними вузлами, і в подальшому використовується для маршрутизації пакетів. Для мінімізації розміру пакета, замість повного маршруту в заголовок повторних пакетів поміщається мітка маршруту, яка використовується для вибору кешованого маршруту. Іншим варіантом класичного дистанційно векторного протоколу є AODV (англ. Ad-hoc On-Demand Distance Vector, заснований на DSDV і DSR[10] .

AODV використовує інший механізм для актуалізації маршрутної інформації. Протокол будує таблиці маршрутизації на кожному вузлі мережі для мінімізації часу передачі інформації між вузлами і знаходить шляхи маршрутизації незалежно від використання маршрутів. Першим кроком є ​​побудова таблиць маршрутизації на кожному вузлі. У таблиці міститься довжина найкоротшого шляху до кожного вузла в мережі через кожен сусідній вузол. На кожному наступному кроці кожен вузол обмінюється з сусідніми вузлами інформацією про кожного відомому йому найкоротшому шляху до кожного вузла мережі[24]. Після деякої кількості кроків, що залежить від кількості вузлів в мережі, таблиці маршрутизації на вузлах перестають змінюватися, після чого починається передача даних по найкоротшому знайденому шляху. Протокол AODV, як і протокол DSR, створює маршрути по необхідності.

Проте, AODV приймає традиційні таблиці маршрутизації. Однак використовується одна запис на вузол призначення, на відміну від DSR, в якому підтримується кілька записів маршруту для кожного вузла призначення. Як і DSDV, AODV надає інформацію про порушення або зміні в мережі і надає альтернативні маршрути, але на відміну від DSDV, не вимагає глобальних періодичних оголошень маршрутизації. Крім зменшення кількості трансляцій в результаті розриву лінії зв'язку, AODV також має й інші суттєві особливості [25].

Всякий раз, коли маршрут від джерела до одержувача доступний, додаткові поля заголовка до пакетів не повинні додаватися. Процес виявлення маршруту починається, коли маршрути не використовуються та / або минув час життя. Ще одна відмінна риса AODV полягає в здатності забезпечувати односпрямовану, групову та броадкастову передачу даних. В результаті експериментів було встановлено, що Multi-Link AODV (AODV-ML) забезпечує підвищення ефективності більш ніж на 100% в порівнянні зі стандартним multi-radio AODV за такими показниками як доставка пакетів, затримки і енергоспоживання пристроїв. В даний час розробляється апаратна платформа для організації MANET мереж «МСР-Мережа», що використовує протоколи AODV і DSR. Багатофункціональна система радіозв'язку МСР-Мережа являє собою мобільну однорівневу широкосмуговий локальну радіомережу типу MANET. Дана мережа реалізує повністю децентралізований тип управління мобільними абонентами (відсутність будь-якої фіксованої інфраструктури для передачі службової інформації). Протоколи мережевого рівня: IPv6 (RFC 3513), маршрутизація DSR (RFC 4728), AODV (RFC 3561). Метод множинного доступу канального рівня: CSMA / CA, ALOHA. Стандарт фізичного рівня: IEEE 802.15.4- 2006 / пропріетарний, 2,4 ГГц ISM неліцензованому діапазон частот, модуляція GFSK / FSK.

# Симуляція роботи MESH-мережі у Matlab

## Оригінальний протокол OLSR [7]

Для більшого розуміння та поглиблення у роботу алгоритмів маршрутизації у mesh-мережах, змоделюємо у середовищі Matlab mesh-мережу.
 Але це буде не банальна датчикова мережа, де усі ноди є стаціонарними, а трафік мінімальним. Змоделюємо мережу із рухомих агентів, кожен із яких буде рухатись по полю випадково, і протягом певного часу деякі агенти будуть передавати іншим випадковим агентам об’єм даних на швидкості 5 Мбіт на секунду. Ця швидкість є бажаною, так як не завжди умови радіоканалу та можливості передавача дозволять її досягти.

Оберемо протокол OLSR так він як краще підходить для великих мереж та більш простий у реалізації. Основною метрикою для вибору кращого маршруту є кількість хопів, або ретрансляцій, необхідних для того, щоб передати адресату повідомлення[7].

Вимірювати ми будемо середню швидкість прийому інформації, в залежності від різних факторів, таких як кількість агентів на полі, рівень стороннього шуму. Та й ще прі різних модифікаціях алгоритму. Наприклад, якщо у агентів є додаткові радіо модулі, які працюють на інших частотах. Або якщо метрикою маршрутизації буде не кількість хопів, а якість каналу. Або якщо дозволити балансування трафіку між приблизно однаковими маршрутами.



Рисунок 3.1 Початковий стан топології



Рисунок 3.2 Топологія через деякий час

Для візуалізації головного принципу mesh мережі – автоматична зміна топології, приведено наступні рисунки. На рисунку 3.1 зображено початкове місцезнаходження агентів та встановлені зв’язки між ними. На рисунку 3.2, зображено змінену топологію після того, як агенти змінили своє місцезнаходження.

Перейдемо безпосередньо до симуляції роботи mesh мережі та аналізу отриманих даних.



Рисунок 3.3 Середня швидкість прийому в залежності від кількості нод

На рис. 3.3 бачимо середню швидкість прийому даних в залежності від кількості нод на заданій площі. Дані на графіках усереднені по 10 симуляціям. Спад після 80 нод можна обґрунтувати явищем інтерференції, бо якщо у симуляції вимкнути розрахунок інтерференції, результат можливо спостерігати на рис 4. де середня швидкість прийому наближається до швидкості передачі, через те, що відстань між нодами зменшується і відповідно збільшується надійність передачі.



Рисунок 3.4 Середня швидкість прийому при відключеній інтерференції

На рис. 3.5 при кількості нод N бачимо залежність середньої швидкості від зовнішнього шуму. Залежність відповідає загальновідомій логарифмічній залежності, що не є дивовижним.



Рисунок 3.5 Залежність середньої швидкості прийому [Мбіт/с] при 80 нодах від додаткового зовнішнього шуму [дБ].

## Покращення протоколу

Одразу хочеться сказати про можливі варіанти покращення даного протоколу.

За результатами симуляцій імплементація функції використання декількох маршрутів із приблизно однаковою метрикою збільшує середню пропускну спроможність мережі від точки до точки на 70-100%, як це зображено на рисунку 3.6.



Рисунок 3.6 Використання декількох шляхів

Також, так як у нас не мережа датчиків, об’єм даних є досить великим, і необхідно правильно обробляти втрачені пакети. Стандартним рішенням було б використати протокол TCP, який є основою сучасного Інтернету. Але його продуктивність у мережах з великим відсотком втрачених пакетів різко падає. Тому було прийнято рішення розглянути ще й варіант, коли відправляється не підтвердження отримання кожного пакету, а повідомлення про неотримання пакету. Це дає виграш не лише у мережах з малим відсотком втрат, але і у радіомережах через зменшення службового трафіку та затримки на стороні відправника, який зазвичай чекає на підтвердження отримання попередніх пакетів, для того щоб відправити наступні.



Рисунок 3.7 Використання модифікованого TCP

Імплементація даного підходу ще збільшує пропускну спроможність мережі на 20-40% при малій кількості агентів, що можна спостерігати на рисунку 3.7.

Використання додаткових радіомодулів, із тією ж самою швидкістю передачі, але на іншій частоті збільшує пропускну спроможність на приблизно 80%. Логічним було б припустити що виграш буде рівно 100%, але необхідно пам’ятати, що в нас не стаціонарні агенти, а рухомі, отже необхідно враховувати і додаткові енергозатрати на додатковий радіомодуль.

Окремим питанням стоїть метрика маршруту. За замовчуванням більшість протоколів використовує кількість хопів для визначення найкращого маршруту. Але цей підхід не є ефективним навіть у комп’ютерних мережах зі статичними маршрутизаторами і надзвичайно малим відсотком помилок, не кажучи вже про радіоканал із рухомими агентами. На мою думку найбільш ефективним було б постійно опитувати сусідів для визначення якості каналу, і вже виходячи із реальною пропускної спроможності, рівня заряду транзитного агенту та затримки обирати найкращий маршрут.

Крім усього вищеназваного, однією з найбільших проблем у галузі є відсутність поділу між програмною частиною та обладания, а саме радіомодуля.

Тобто алгоритми передачі інформації невідлучно пов’язані з самим передавачем, що не дає змогу розширяти діапазон передачі за необхідністю, або програмно змінювати алгоритми.



Рисунок 3.8

На мою думку програмна частина повинна мати можливість використовувати будь-які радіомодулі, не залежно від його робочої частоти або діапазону. Це дозволить збільшити універсальність пристрою, що в свою чергу призведе до збільшення пропускної спроможності мережі в цілому.

# Стартап-проект

У цьому розділі приведено маркетинговий аналіз стартап проекту для формулювання можливості ринкового впровадження та його реалізації, аналіз конкурентів на ринку.

## **Опис ідеї проекту**

Спочатку аналізуємо зміст ідеї, можливості застосування, переваги для користувача, ключові відмінності від аналогічних послуг конкурентів на ринку.

Таблиця 4.1 — Опис ідеї стартап-проекту

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Зміст ідеї | Напрямкизастосування | Вигоди для користувача |
| Розробка уніфікованого алгоритму побудови MESH мережі використовуючи обладнання різних вендорів | Структури надзвичайних ситуацій, поліція, промисловість, зокрема мережа датчиків, окрема мережа на об’єкті зі складною місцевістю. Рятувальні операції. | Менші витрати на організацію інфраструктури, як в контексті грошей так і в контексті часу та необхідних навичок робітників для обслуговування. Відсутність прив’язки до одного вендора. |

 На ринку вже існують декілька реалізацій. Але їх недоліком для користувача є відсутність гнучкості, як в налаштуванні так і у виборі обладнання. Також так як конкурентами є досить великі компанії, ціна на їх послуги є необґрунтовано завищеною.

 Розроблений алгоритм дає користувачу гнучкість у виборі обладнання та зменшує витрати на оновлення існуючої MESH інфраструктури.

Визначимо переваги та недоліки ідеї проекту.

Таблиця 4.2 — Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Техніко- | Товари конкурентів | W | N | S (сильна |
| п/п | економічні |  | (слабка | (нейтральна | сторона) |
|  | характеристики |   | сторона) | сторона) |  |
| Мій | Конкурент |
|  | ідеї | проект |  |  |  |  |
| 1 | Простота | ✔ |  |  |  | ✔ |
| 2 | Дешевизна | ✔ |  |  |  | ✔ |
| 3 | Оптимізація |  | ✔ |  | ✔ |  |

## Технологічний аудит ідеї проекту

У цьому підрозділі проведемо аудит технології, на основі якої буде можливо ідею проекту. Отже необхідно обрати технологію побудови MESH мережі.

Таблиця 4.3 — Технологічна здійсненність проекту

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| №п/п | Ідея проекту | Технології їїреалізації | Наявністьтехнології | Доступністьтехнології |
| 1 | Алгоритм побудови MESH мережі | Motorola  | Так | Так |
| 2 | Juniper | Так | Так |
| 3 | D-Link | Так | Так |
| Обрана технологія реалізації ідеї проекту: MATLAB |

Обрано Motorola, оскільки він дозволяє розробити весь запланований функціонал, враховуючи параметр ціна/якість.

## Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

У цьому розділі проведемо аналіз можливостей ринку, які буде використано для впровадження проекту. Крім можливостей проаналізуємо ризику ринку, які будуть заважати захоплення ринку. Даний аналіз дозволить скласти план розвитку проекту, враховуючи актуальне становище на ринку, потреби потенційних клієнтів та пропозиції конкурентів.

Таблиця 4.4 — Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №п/п | Показники стану ринку | Характеристика |
| 1 | Кількість головних гравців, од | 5 |
| 2 | Загальний обсяг продаж, ум. од. | Невідомий |
| 3 | Динаміка ринку | Формується |
| 4 | Наявність обмежень для входу | Невідома |
| 5 | Специфічні вимоги до стандартизації тасертифікації | Не існує |
| 6 | Середня норма рентабельності в галузі, % | Невідома |

За результатами аналізу важно зробити висновок щодо привабливості для входження за попереднім оцінюванням, проте ринкові тенденції кажуть про доцільність впровадження даного проекту.

Визначимо потенційні групи клієнтів.

Після аналізу можна сказати, що оскільки ринок ще формується, відсутня стандартизація рішень, то є нашим шансом “зайти” на ринок, закріпитися, після чого вже потрошки витісняти конкурентів, оскільки великі компанії повільно реагують на будь які зміни, як на ринку так і загалом.

Таблиця 4.5 — Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Потреба, що формує ринок | Цільова аудиторія | Відмінності у поведінці різних потенційних цільовихгрупклієнтів | Вимоги споживачів до товару |
| 1 | Більш швидка та гнучка інфраструктура зв’язку, яка б не була прив’язана до обладнання від одного виробника. | Державні структури,Промислові гіганти | Об’єми використання технології | Простота, сумісність, швидкість розгортання |

Далі визначимо фактори, які будуть сприяти нашому проникненню на ринок, та факторів, що будуть заважати цьому, тобто загрози нашому стартап-проекту.

Таблиця 4.6 — Фактори загроз

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №п/п | Фактор | Зміст загрози | Можлива реакціякомпанії |
| 1 | Перехід до конкурента, який надає аналогічну послугу. | Відсутність українських компаній, що надають такі послуги. Якщо клієнт буде незадоволений якістю наших послуг, він може перейти до конкурента | Якнайшвидше впроваджувати технологію, з максимально можливою якістю послуг. |

Таблиця 4.7 — Фактори можливостей

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №п/п | Фактор | Зміст можливості | Можлива реакціякомпанії |
| 1 | Послуга надається швидше та більш якісно | Нові алгоритми дозволять ще більше знизити витрати на розгортання та підтримку інфраструктури | Невідома |

Проаналізуємо пропозиції та конкурентоспроможність існуючих компаній на ринку.

Таблиця 4.8 — Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Особливості конкурентного середовища | В чому проявляється дана характеристика | Вплив на діяльність підприємства |
| За характером конкурентних переваг цінова | Товар даного підприємства має дуже високу вартість | Значний |
| За рівнем конкурентної боротьби – національне | Дане підприємство відомо по усьому світу | Значний |
| За галузевою ознакою – внутрішньогалузева | Конкуренція виконується в рамках однієї галузі | Значний |

Більш детально проаналізуємо конкуренції в галузі

Таблиця 4.9 — Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Складові аналізу | Прямі конкуренти в галузі | Потенційні конкуренти | Постачальники | Клієнти | Товари- замінники |
| Motorola, Juniper | Інші IT-гіганти | Невідомо | Невідомо | Невідомо |
| Висновки | Подібні послуги надаються, але бракує декількох ключових факторів | Є можливість виходу на ринок | Невідомо | Невідомо | Невідомо |

Після аналізу ситуації на ринку можна прийти до того, що незважаючи на конкурентів, ринок ще не повністю сформувався, тому є можливість вийти на ринок за закріпитись. Для цього повинні бути фактори конкурентоспроможності.

Перелічимо їх.

Таблиця 4.10 — Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п/п | Фактор конкурентоспроможності | Обґрунтування |
| 1 | Уніфікація | Даний фактор дозволить клієнту бути більш гнучким у виборі поставника обладнання, що є несумнівною перевагою, так як кожен конкурент намагається повністю прив’язати клієнта до себе та не дати йому змоги перейти до конкурента. |
| 2 | Дешевизна | Технологія насправді є недорогою, але так як конкурентами є великі компанії, вони без причин підвищують ціну аби заробити більше.  |

Саме час для SWOT-аналізу

Таблиця 4.11 — SWOT-аналіз стартап-проекту

|  |  |
| --- | --- |
| Сильні сторони: Простота Якість | Слабкі сторони: Наша реалізація ще не є досконалою, так як ми ще не вийшли на ринок |
| Можливості:Залучення нових клієнтівЗбільшення прибутку | Загрози:Перехід клієнтів до конкурентів |

Зі SWOT-аналізу маємо, що розробляти альтернативну стратегію виходу на ринок немає необхідності.

## Розроблення ринкової стратегії проекту

Першим етапом розроблення ринкової стратегії буде опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.12 — Вибір цільових груп потенційних споживачів

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №п/п | Опис профілю цільової групи потенційнихклієнтів | Готовністьспоживачів сприйнятипродукт | Орієнтовнийпопит в межах цільової групи | Інтенсивністьконкуренції в сегменті | Простота входу у сегмент |
| 1 | Корпоративні клієнти, державні структури | Готові | Високий | середня | Важко, але існує база |
| Які цільові групи обрано: Державні організації та приватні установи. |

Щоб охопити даний сегмент ринку, необхідно сформулювати стратегію розвитку

Таблиця 4.13 — Визначення базової стратегії розвитку

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №п/п | Стратегіяохоплення ринку | Ключові конкурентоспроможні позиції | Базовастратегія ринку |
| 1 | Диференційованиймаркетинг | Дешевизна, простота, якість, можливість гнучкості вибору вендора. | Стратегіяспеціалізації |

Тепер необхідно обрати конкуренту поведінку

Таблиця 4.14 — Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Чи є проект«першопроходцем» на ринку? | Чи буде компанія шукати нових споживачів, абозабирати існуючих у конкурентів? | Чи буде компанія копіювати основніхарактеристики | Стратегія конкурентної поведінки |
| 1 | Ні | Так | Так | Заняттяконкурентної ніші |

## Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Необхідно сформулювати концепцію товару з маркетингової точки зору, який отримає споживач.

Таблиця 4.15 — Формування системи збуту

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів | Функції збуту, які має виконувати постачальниктовару | Глибина каналу збуту | Оптимальна система збуту |
| 1 | Невідома | Вільний доступдо товару | Невідома | Вільний доступдо товару |

Розробимо концепцію маркетингових комунікацій

Таблиця 4.16 — Концепція маркетингових комунікацій

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Специфіка поведінки цільових клієнтів | Канали комунікацій, якими користуютьсяклієнти | Ключові позиції, обрані для позиціонування | Завдання рекламного повідомлення | Концепція рекламного звернення |
| 1 | Невідома | Інтернет, телефон | Можливості проекту | Донести про наявність послуги | Донесення клієнту про переваги |

Висновки за розділом:

Після проведеного аналізу робимо висновок, що є неілюзорна можливість комерціалізації проекту, через не сформованість ринку, відсутністю великої кількості конкурентів, наявність попиту на продукцію. Основною перевагою є те, що ми не будемо намертво прив’язувати клієнта до нашої реалізації, що означає можливість уніфікації, а це саме те, чого шукають потенційні клієнти.

# Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Так як темою магістерської роботи є алгоритм організації MESH-мережі між радіопристроями, доцільним буде приділити увагу аналізу та оцінці шкідливих факторів при використанні засобів обчислювальної техніки, а також при роботі з електронними та обчислювальними пристроями в науково-дослідній лабораторії при розробці даного програмного забезпечення.

Оскільки в ТЗ на організацію MESH-мережі передбачено відповідність даної мережі вимогам ДСНіП №476 та №239, то у цьому розділі питання щодо негативного впливу електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону на людину не розглядаються.

У цьому розділі розроблено відповідні технічні рішення та організаційні заходи безпеки та гігієни праці і виробничої санітарії, а також визначені основні заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях.

## Визначення основних потенційно небезпечних та шкідливих виробничих чинників

 До потенційно небезпечних та шкідливих для життя і здоров'я людини чинників, що виникають під час виконання науково-дослідницької роботи:

* + можливість ураження електричним струмом;
	+ наявність електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону;
	+ невиконання санітарних умов мікроклімату на робочому місці;
	+ недостатня освітленість робочої зони;
	+ виробничий шум
	+ небезпечний склад повітря робочої зони;
	+ електростатичні поля, параметри яких небезпечні для життя;
	+ виникнення пожежо- та вибухонебезпечних ситуацій;
	+ значна напруженість праці;
	+ випромінювання оптичного діапазону (ультрафіолетове, інфрачервоне і випромінювання видимого діапазону) ;
	+ психофізіологічне навантаження;
	+ мождивість виникнення небезпечних ситуацій.

## Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії

### Електробезпека

Відповідно до ОНТП24-86 та ПУЕ-2017 науково-дослідницька лабораторія відноситься до приміщень без підвищеного ризику поразки персоналу електричним струмом, так як відсутні підвищена температура, вологість, підлога не електропровідна, а також відсутня можливість одночасного дотику до металевих конструкцій будівлі, що мають контакт з землею з одного боку та металевих частин електричного обладнання з іншого боку.

Електроустаткування належить до приладів до 1000 В. Устаткування, що використовується у науково-дослідницьких випробуваннях, відповідно до ДСТУ ІЕС 61140:2015 належить до устаткування класів І та ІІ за електрозахистом.

В процесі виконання розрахунків для магістерської дисертації використовувався персональний комп'ютер – системний блок відноситься до І класу та ВДТ - до II класу за електрозахистом.

Оцінка рівня небезпеки дотику до струмоведучих частин відноситься до визначення сили струму, що протікає через тіло людини, і порівняння його із допустимим значенням відповідно до ПУЕ-2017. У загальному випадку допустима величина струму, що протікає через тіло людини не перевищує приведених значень.

Для правильного визначення необхідних засобів та заходів захисту від ураження електричним струмом необхідно знати допустимі значення напруг доторкання та струмів, що проходять через тіло людини.

Гранично допустимі значення напруги доторкання при аварійному режимі роботи електроустановок при проходженні струму через тіло людини регламентуються ПУЕ-2017 (див. табл. 5.1).

Таблиця 5.1 — Допустима нпаруга при дотику до струмових частин

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *T*, сек | до 0,1 | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | >1 сек. (до 5 сек) |
| $U\_{Iдоп.дот}$, В | 500 | 400 | 200 | 130 | 100 | 65 |

Основними технічними засобами, що забезпечують безпеку робіт згідно ДСТУ ІЕС 61140:2015 “Захист проти ураження електричним струмом” є: надійна ізоляція, захисне заземлення, занулення, захисне відключення, засоби індивідуального захисту.

### Розрахунок захисного відключення електромережі при аварійному режимі роботи електрообладнання

Розрахунок вимикаючої здатності електромережі при аварійному режимі роботи електрообладнання проводиться за наступною методикою: виконується розрахунок ланцюга захисного відключення при короткому замиканні (КЗ). Струм КЗ можна обчислити за формулою:

$I\_{КЗ}=\frac{U\_{Ф}}{R\_{0}+R\_{Ф}+Z\_{ТР}}$,

де $U\_{Ф}$ = 220 В - напруга фазного проводу;

$R\_{0}$ = 2,2 Ом - опір нульового проводу;

$R\_{Ф}$ = 2,2 Ом - опір фазного проводу;

$Z\_{ТР}≅$ 0,1 Ом - еквівалентний опір трансформатора.

$$I\_{КЗ}=\frac{220}{2,2+2,2+0,1}=40,74 А.$$

Струм спрацьовування автоматів максимального струмового захисту повинен бути в 1,4 рази менше струму короткого замикання при струмі до 100 А. Визначимо необхідний струм спрацювання автоматів максимального струмового захисту.

$$I\_{СПР}\leq \frac{40,74}{1,4}=29,1 А.$$

Таким чином, струм спрацьовування автомата повинен бути менше
29,1 А. Автомати, що використовуються в робочому приміщенні використовують струм 20 А, що задовольняє дану вимогу.

Розрахуємо напругу дотику до корпусів електрообладнання при короткому замиканні:

$$U\_{ДОТ= }I\_{КЗ}R\_{0}=29,1∙3=87,3 В.$$

Відповідно до ПУЕ-2017, щоб ця напруга була безпечна для людини, необхідно використовувати автомати захисту, у яких час спрацьовування менше 0,9 с.

Автомати захисту, встановлені у науково-дослідницькій лабораторії задовольняють цим умовам ($T\_{СПР}$< *0,2 с.).*

Із проведених розрахунків видно, що у науково-дослідницькій лабораторії основним захистом від поразки електричним струмом є занулення та застосування пристроїв максимального струмового захисту.

### Розрахунок штучного освітлення на робочих місцях

Нормування штучного освітлення здійснюється згідно ДБН В.2.5 28-2018.

Для даної категорії робіт рекомендується освітленість робочої поверхні 300 лм. Для загального освітлення варто використовувати люмінесцентні ртутні лампи низького тиску денного світла, що забезпечують найбільше наближення по спектральному складу випромінюваного ними світла до природного. Для місцевого освітлення застосовуються світильники з лампами розжарювання.

Необхідний повний світловий потік визначається по формулі:

,

де: S = 4⋅7 = 28 м2 – площа приміщення;

 *k* = 1,2 – коефіцієнт запасу;

 Z = 1,3 – відношення середньої освітленості до мінімального (при відбитому світлі приймають Z = 1, зазвичай Z = 1,1...1,3);

 η – коефіцієнт використання світильників.

Визначимо η. Вважаємо, що світильники підвішені впритул до стелі, тобто hв = 0 м, а робоча поверхня знаходиться в середньому на відстані hн = 1 м від підлоги.

Тоді:

hр = h – (hв+ hн) = 3 – (0 +1) = 2 м.

Обчислюємо індекс приміщення:

.

Для обраних оздоблювальних матеріалів приймаємо усереднені коефіцієнти відбиття стелі і стін: rстелі = 0,70, rстін = 0,50.

В якості світильників обираємо світильники типу ПВЛМ–Д 2×40 (із двома лампами типу ЛДЦ потужністю по 40 Вт, з відбивачем без отворів, без решітки).

Для значень i, rп, rс і обраного типу світильника знаходимо коефіцієнт використання:

η = 0,45.

Далі визначаємо повний необхідний світловий потік:

Мінімальна припустима освітленість у приміщенні створювана світильниками загального освітлення повинна становити 80 % від необхідного:

Езаг = 300 ∙ 0,8 = 240 лм.

.

По довідковій таблиці електричних і світлових характеристик люмінесцентних ртутних ламп низького тиску за ДСТ 6825–74, для потужності ламп Рл= 40 Вт, і типу лампи ЛДЦ-40 (лампа денного світу з поліпшеною передачею кольору), визначаємо світловий потік однієї лампи:

Fл = 2100 лм.

Далі знаходимо необхідну кількість світильників:

.

Обираємо n = 6. Отже, використовуємо 6 світильників типу: ПВЛМ–Д2×40 з лампами типу ЛДЦ потужністю 40 Вт. Площа робочого столу складає приблизно 1 м2. Тоді необхідний світловий потік для світильників місцевого освітлення складе:

.

У світильнику місцевого освітлення використовуємо лампу накалювання типу Б 215 – 225 – 40 зі світловим потоком 415 лм.

### Мікроклімат робочої зони

Мікроклімат виробничих приміщень – умови внутрішнього середовища цих приміщень, що впливають на тепловий обмін працюючих з оточенням шляхом конвекції, кондукції, теплового випромінювання та випаровування вологи. Ці умови визначаються поєднанням температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, температури оточуючих людину поверхонь та інтенсивністю теплового (інфрачервоного) опромінення.

Для робочої зони виробничих приміщень встановлюються оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови з урахуванням важкості виконуваної роботи та періоду року.

Оптимальні мікрокліматичні умови поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину забезпечують зберігання нормального теплового стану організму без активізації механізмів терморегуляції. Вони забезпечують відчуття теплового комфорту та створюють передумови для високого рівня працездатності.

 Допустимі мікрокліматичні умови – поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину можуть викликати зміни теплового стану організму, що швидко минають і нормалізуються та супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції в межах фізіологічної адаптації. При цьому не виникає ушкоджень або порушень стану здоров’я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності.

Теплий період року – період року, який характеризується середньодобовою температурою зовнішнього середовища вище +10° C.

 Холодний період року – період року, який характеризується середньодобовою температурою зовнішнього повітря, що дорівнює +10° C і нижче.

Величини показників мікроклімату у робочій зоні наведені в ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

Таблиця 5.2 — Норми клімату виробничих приміщень

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметри | Холодний період | Теплий період |
| Оптимальні | Допустимі | Оптимальні | Допустимі |
| Температура, °C | 22-24 | 21-25 | 23-25 | 22-28 |
| Відносна вологість, % | 40-60 | 80 | 40-60 | 75 |
| Швидкість руху повітря, м/с | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1-0,2 |

Температура внутрішніх поверхонь робочої зони (стіни, підлога, стеля), технологічного обладнання (екрани тощо), зовнішніх поверхонь технологічного устаткування, огороджуючих конструкцій не повинна виходити більш ніж на 2° C за межі оптимальних величин температури повітря для даної категорії робіт, вказаних в ДСН 3.3.6.042-99.

Фактичні значення параметрів відповідають оптимальним вимогам по нормам клімату у виробничих приміщеннях.

### Технічні та організаційні рішення щодо організації робочих місць користувачів ПК

ДСанПіН 3.3.2.007-98 "Державні санітарні норми і правила роботи з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) електронно-обчислювальних машин" та НПАОП 0.00-7.15-18 “ Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями” встановлюють норми щодо забезпечення охорони праці користувачів ПК. Дотримання вимог цих правил може значно знизити наслідки несприятливої дії на працівників шкідливих та небезпечних факторів, які супроводжують роботу з ВДТ, зокрема можливість зорових, нервово-емоційних переживань, серцево-судинних захворювань.

 Для того щоб забезпечити точне та швидке зчитування інформації в зоні найкращого бачення, площина екрана монітора виставлена перпендикулярно нормальній лінії зору. При цьому передбачена можливість переміщення монітора навколо вертикальної осі в межах ±30° (справа наліво) та нахилу вперед до 85° і назад до 105° з фіксацією в цьому положенні. Клавіатура розміщена на поверхні столу на відстані 100 .300 мм від краю. Кут нахилу клавіатури до столу обрано в межах від 5 до 15° так, що зап'ястя на долонях рук розташовуються горизонтально до площини столу. Таке положення клавіатури зручне для праці обома руками.

Робочі місця з ПК розташовано відносно від стіни з вікнами на відстані не менше 1,5м, від інших стін — на відстані 1 м, відстань між собою - не менше ніж 1,5 м. Причому так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски з поверхні екранів ПК передбачені сонцезахисні жалюзі.

Штучне освітлення робочого місця, обладнаного ПК, здійснюється системою загального рівномірного освітлення. Як джерело штучного освітлення мають застосовуватись люмінесцентні лампи ЛБ.

Вимоги до освітлення приміщень та робочих місць під час роботи з ПК:

* + освітленість на робочому місці повинна відповідати характеру зорової роботи, який визначається трьома параметрами: об'єктом розрізнення - найменшим розміром об'єкта, що розглядається на моніторі ПК; фоном, який характеризується коефіцієнтом відбиття; контрастом об'єкта і фону;
	+ необхідно забезпечити достатньо рівномірне розподілення яскравості на робочій поверхні монітора, а також в межах навколишнього простору;
	+ на робочій поверхні повинні бути відсутні різкі тіні;
	+ в полі зору не повинно бути відблисків (підвищеної яскравості поверхонь, які світяться та викликають осліплення);
	+ величина освітленості повинна бути постійною під час роботи;

Тривалість регламентованих перерв під час роботи з ЕОМ становить 10 хвилин через кожну годину роботи .

Для зниження нервово-емоційного напруження, втомленості зорового аналізатора, для поліпшення мозкового кровообігу і запобігання втомі доцільно деякі перерви використовувати для виконання комплексу вправ, які передбачені ДСанПіН 3.3.2.007-98

## Безпека в надзвичайних ситуаціях

Безпека в надзвичайних ситуаціях регламентується ПЛАС. Основними складовими частинами ПЛАС є розробка технічних рішень та організаційних заходів щодо оповіщення, евакуації та дій персоналу у разі виникнення надзвичайних ситуацій, а також визначення основних заходів з пожежної безпеки.

### Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу при надзвичайних ситуаціях

Оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення НС, наприклад при пожежі, здійснюється відповідно до вимог НАПБ А.01.003-2009.

Необхідність обладнання виробничих приміщень певним типом СО визначається згідно з додатком Е до ДБН В.1.1-7-2016 "Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва".

При обладнані виробничих будівель системою оповіщення, їх необхідно поділяти на зони оповіщення з урахуванням об'ємно-планувальних рішень будинків, шляхів евакуації, поділення на протипожежні відсіки тощо, а також з урахуванням вимог, що наведені в примітці 1 таблиці Е.1 додатка Е до ДБН В.1.1-7-2016.

Оповіщення про НС та управління евакуацією людей здійснюється одним з наступних способів або їх комбінацією:

- поданням звукових і (або) світлових сигналів в усі виробничі приміщення будівлі з постійним або тимчасовим перебуванням людей;

- трансляцією текстів про необхідність евакуації, шляхи евакуації, напрямок руху й інші дії, спрямовані на забезпечення безпеки людей;

- трансляцією спеціально розроблених текстів, спрямованих на запобігання паніці й іншим явищам, що ускладнюють евакуацію;

- розміщенням знаків безпеки на шляхах евакуації згідно з ДСТУ ISO 6309;

- ввімкненням евакуаційних знаків "Вихід";

- ввімкненням евакуаційного освітлення та світлових покажчиків напрямку евакуації;

- дистанційним відкриванням дверей евакуаційних виходів;

- зв'язком оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) із зонами оповіщення.

Повинен бути забезпечений розподіл пріоритетів щодо повідомлень для виробничого персоналу у такій послідовності:

I (найвищий) - повідомлення оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) під час пожежі, або у разі виникнення будь-якої іншої НС;

II - повідомлення, які записані на будь-якому носії та вмикаються автоматично від спрацювання систем пожежної автоматики, або за сигналом оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста);

III - службові повідомлення, що не стосуються організації та управління евакуацією людей.

Затримку часу оповіщення про НС для різних поверхів будинку необхідно передбачати з урахуванням злиття потоків людей на шляхах евакуації.

Пульти управління СО необхідно розміщувати у приміщенні пожежного поста, диспетчерської або іншого спеціального приміщення (в разі його наявності). Ці приміщення повинні відповідати вимогам ДБН В.2.5-16-2014 "Засоби протипожежного захисту".

Встановлення звукових та мовних оповіщувачів у виробничих приміщеннях повинно виключати можливість концентрації та нерівномірного розподілу звуку.

Настінні звукові та мовні оповіщувачі кріпляться на висоті не менше 2,2 м від підлоги, при цьому відстань від стелі до оповіщувача повинна становити не менше 150 мм.

Звукові оповіщувачі повинні комбінуватися зі світловими, які працюють у режимі спалахування, у таких випадках:

- у приміщеннях, де люди перебувають у шумозахисному спорядженні;

- у приміщеннях з рівнем шуму понад 95 дБ.

Евакуаційні світлові покажчики "Вихід" слід вмикати разом з основними освітлювальними приладами робочого освітлення.

Вимоги до світлових покажчиків "Вихід" приймаються відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 "Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення".

Електропостачання, заземлення, занулення, вибір та прокладання мереж оповіщення приймаються згідно з вимогами до систем пожежної сигналізації за ДБН В.2.5-56-2014.

Вимоги до евакуаційного освітлення приймаються відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 "Природне та штучне освітлення".

СО в режимі "Тривога" повинна функціонувати протягом часу, необхідного для евакуації людей з будинку, але не менше 15 хвилин.

Електропостачання СО здійснюється за I категорією надійності згідно з "Правилами устройства электроустановок" (ПУЭ) від двох незалежних джерел енергії: основного - від мережі змінного струму, резервного - від акумуляторних батарей тощо.

Звукові оповіщувачі повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 54-3:2003 "Системи пожежної сигналізації. Частина 3. Оповіщувачі пожежні звукові".

### Обов’язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайних ситуацій

У разі виявлення ознак надзвичайної ситуації (НС) працівник, який їх помітив, повинен:

- негайно повідомити про це засобами зв’язку органам державної служби надзвичайних ситуацій (ДСНС), вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення НС, наявність людей, а також своє прізвище;

- організувати оповіщення людей про надзвичайну ситуацію;

- вжити заходів щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;

- вжити заходів щодо ліквідації наслідків надзвичайної ситуації з використанням наявних засобів.

Керівник та пожежна охорона установи, яким повідомлено про виникнення НС, повинні:

- перевірити, чи викликано підрозділи державної служби надзвичайних ситуацій та державної пожежної охорони;

- вимкнути у разі необхідності струмоприймачі та вентиляцію;

- у разі загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію та їх рятування , вивести за межі небезпечної зони всіх працівників, які не беруть участь у ліквідації наслідків надзвичайної ситуації;

- перевірити здійснення оповіщення людей про надзвичайну ситуацію;

 - забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у ліквідації наслідків надзвичайної ситуації;

- організувати зустріч підрозділів ДСНС, надати їм допомогу у локалізації пожежі.

Після прибуття підрозділів ДСНС повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх до місця, де виникла надзвичайна ситуація.

### Пожежна безпека

Визначимо можливі причини виникнення пожежі і речовини, що можуть горіти. Можливими причинами виникнення пожежі можуть бути:

* несправність в електроустаткуванні – наприклад, пробій ізоляції, несправності, що виникли внаслідок механічних ушкоджень і т.д.;
* порушення протипожежного режиму – наприклад, паління в недозволених місцях, користування побутовими електронагрівальними приладами і т.д.

Речовинами які можуть горіти є:

* меблі – столи, стільці, тумбочки, виготовлені з дерева;
* папір – документація, папір для принтера, шпалери;
* конструктивні елементи приміщення – покриття підлог (лінолеум), двері (дерево, дерматинова оббивка), віконні рами (дерево);
* кабельні лінії та радіодеталі.

Так як усі вище перераховані речовини є твердими речовинами і матеріалами, здатними при взаємодії з повітрям горіти, то розглянуте приміщення, згідно НАПБ Б.03.002-2007 “Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою”.

Згідно з ДНАОП 0.00-132-01 робочі зони у приміщенні відносяться до пожежонебезпечних робочих зон П-ІІа.

Приміщення обладнане пожежними сповіщувачами теплової дії типу ДТЛ. Вони встановлені в кожному приміщенні на стелі по дві штуки. Від них інформація по лініям зв’язку надходить на охоронно-пожежний пристрій СИГНАЛ-37М, обладнаний звуковими сповіщувачами.

У приміщенні знаходяться первинні засоби пожежогасіння - це вуглекислотний вогнегасник марки ОУ-5 у кількості трьох штук. Застосування вогнегасника даної марки можливо при пожежогасінні електромереж і електроустановок, що знаходяться під напругою до 1000 В, що відповідає класу пожежі «Е». Відповідно до ДСТУ 3675-98 та ISO3941-2017 нормативи на кількість, розташування та умови зберігання вогнегасників виконуються.

З метою профілактики загоряння електропроводки необхідно не менш одного разу в три місяці проводити профілактичні огляди електромережі.

Рубильники для відключення мережі знаходяться на видному місці, підходи до них звільнені.

У випадку виникнення пожежі в приміщенні, згідно ДБН, забезпечена можливість безпечної евакуації людей, що знаходяться в приміщенні, через евакуаційні виходи.

Коридор і ґанок не повинні бути захаращеними, мати аварійне освітлення (у даному випадку штучне), міститися в чистоті і порядку. Основні параметри еваковиходів вказані у ДБН В 1.1.007-2016.

В відділі знаходитися телефон загальноміської мережі. Виклик пожежної охорони здійснюється набором номера 101.

# Висновки

У роботі було розглянуто алгоритми маршрутизації самоорганізованої mesh-мережі. Дано загальне визначення такої мережі і особливостей mesh-мереж, що підтримують ідеї самоорганізації. Було показано, що проблема побудови бездротової mesh-мережі все ще актуальна і найближчим часом будуть з'являтися нові завдання, можливі рішення і готові технології. Проведено симуляцію роботи протоколу OLSR у середовищі Matlab, що виявило не оптимальність роботи протоколу і відповідно мережі в цілому у розглянутому сценарії використання.

Симуляція модифікованого алгоритму показала, що у загальному випадку не є складним завданням підвищити його ефективність, але цього ще не було зроблено через недостатню розвиненість та обсяг використання технології бездротових mesh мереж.

За результатами модуляції можна сказати, що використання декількох однакових маршрутів замість одного до адресата дозволяє збільшити пропускну спроможність мережі на 80%-100%. Використання модифікованого TCP – на 20%-40%. Ще на додаткові 80% можливо збільшити швидкість якщо встановити додатковий радіомодуль з тією-ж полосою, але на трохи іншій робочій частоті.

Можна спрогнозувати, що найближчим часом, коли попит на дану технологію підвищиться, буде проведена робота про більш детальній стандартизації та уніфікації як протоколів так і самого обладнання, так як на даний момент кожен виробник пропонує своє рішення, яке не є сумісним із продуктами інших виробників.

# Список літератури

1. Ячеистые сети [Електронний ресурс]. – Режим доступу: h <http://citforum.ru/nets/wireless/mesh/>
2. Mesh-сети: технологии, приложения, оборудование [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://lib.tsso nline.ru/articles2/fix-op/mesh\_seti\_techn\_prilozh\_oborud
3. Проектирование Mesh-сетей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nag.ru/articles/article/102081/proektirovanie-mesh-setey.html>
4. Модель сети ячеистой топологии для организации распределенной отказоустойчивой обработки данных [Електронний ресурс]. – Режим доступу: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3454
5. Павлов А.А., Датьев И.О. Протоколы маршрутизации в беспроводных сетях // Труды Кольского научного центра РАН. 2014. № 5(24). С. 64–75
6. Модель сети ячеистой топологии для организации распределенной отказоустойчивой обработки данных [Електронний ресурс]. – Режим доступу: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3454
7. Стандарт протокола OLSR [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt
8. Многокритериальная многопутевая маршрутизация в mesh-сетях [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://masters.donntu.org/2013/fkita/gusev/library/3.htm>
9. ZigBee VS Thread: Технологии построения беспроводных mesh-сетей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.compel.ru/lib/92808>
10. Carlos De Morais Cordeiro. Ad Hoc & Sensor Networks: Theory and Applications / Carlos De Morais Cordeiro, Dharma Prakash // AgrawalWorld Scientific, 1 jan. 2006. – 641 р
11. Corinna Elektra Aichele. Mesh. Drahtlose Ad-hocNetze / Corinna Elektra Aichele. Verlag: Open Source Press; Auflage: 1, Aufl. (Juli 2007). B– roschiert: 200 Seiten.
12. Perkins, C.E. Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector (DSDV) for Mobile Computers /C.E. Perkins, P. Bhagwat //Proc.ACM Conf. Communications Architectures and Protocol, London, UK, August 1994.- Р.234-244.
13. Павлов А.А., Датьев И.О. Протоколы маршрутизации в беспроводных сетях // Труды Кольского научного центра РАН. 2014. № 5(24). С. 64–75
14. Модель сети ячеистой топологии для организации распределенной отказоустойчивой обработки данных [Електронний ресурс]. – Режим доступу: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3454
15. Стандарт протокола OLSR [Електронний ресурс]. – Режим доступ: http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt
16. ZigBee VS Thread: Технологии построения беспроводных mesh-сетей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.compel.ru/lib/92808>
17. Disruption Tolerant Networks and its relevance[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://meshdynamics.com/documents/MeshDynamicsDisruptionTolerantNetworks.pdf>

Architecture and Evaluation of the MIT Roofnet Mesh Network[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pdos.csail.mit.edu/~rtm/roofnet-b.pdf>

1. Mark Yarvis, W. Steven Conner, Lakshman Krishnamurthy, Jasmeet Chhabra, Brent Elliott, and Alan Mainwaring. Real-world experiences with an interactive ad hoc sensor network. In Proceedings of the International Workshop on Ad Hoc Networking, August 2012
2. 1David A. Maltz, Josh Broch, and David B. Johnson. Quantitative lessons from a full-scale multi-hop wireless ad hoc network testbed. In Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference, September 2010.
3. 1Bernard J. Bennington and Charles R. Bartel. Wireless Andrew: Experience building a high speed, campus-wide wireless data network. In Proc. ACM/IEEE MobiCom, pages 55–65, September 2017
4. 1IEEE Computer Society LAN MAN Standards Committee. Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems. New York, New York, 2012. IEEE Std. 802.16–2011.
5. 1Eddie Kohler, Robert Morris, Benjie Chen, John Jannotti, and M. Frans Kaashoek. The Click modular router. ACM Transactions on Computer Systems, 18(4), November 2010.
6. Проектирование Mesh-сетей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nag.ru/articles/article/102081/proektirovanie-mesh-setey.html>
7. Carlos De Morais Cordeiro. Ad Hoc & Sensor Networks: Theory and Applications / Carlos De Morais Cordeiro, Dharma Prakash // AgrawalWorld Scientific, 1 jan. 2016. – 641 р
8. R. Draves, J. Padhye, and B. Zill. Comparison of routing metrics for static multi-hop wireless networks. In Proc. ACM SIGCOMM Conference (SIGCOMM 2014), September 2014.

# Додаток А

clear all;

close all;

clc;

% Simulation Constants %

Area\_X = 1000;

Area\_Y = 1000;

Quan\_MS = 20;

Quan\_BS = 4;

MS\_Z\_height = 1.5;

MS\_Max\_speed = 20 / sqrt(2);

BS\_Z\_height = 32;

Sim\_step\_scale = 1;

Sim\_steps\_total = 1000;

freq=2; % carrier frequency in GHz

Pt=43; %transmission power in dBm

Bandwidth = 20\*10^6; % channel bandwidth in Hz

% calculation of noise

Noise\_W = (Bandwidth\*4\*10.^-12)/10.^9; % noise [W]

Noise\_dBm = 10\*log10(Noise\_W/0.001); % noise [dBm]

HO\_step\_delay\_max = 20;

HO\_SNR\_tresh = 3;

HO\_count\_from\_HO\_step\_delay = [];

for j = 1:HO\_step\_delay\_max

 j

 clear MS MSs BSs

 MSs = Create\_MSs(Quan\_MS, Area\_X, Area\_Y, MS\_Z\_height, MS\_Max\_speed);

 BSs = Create\_BSs(Area\_X, Area\_Y, BS\_Z\_height);

 for MS = MSs

 MS.allocate\_BS(MS.closest(BSs));

 end

 % Simulation Start %

 for i = 2:Sim\_steps\_total

 for MS = MSs

 MS.move(Area\_X, Area\_Y, Sim\_step\_scale);

 %MS.allocate\_BS(MS.closest(BSs));

 %MS.allocateBS(MS.PL\_min(BSs, freq));

 MS.try\_HO(BSs, j, HO\_SNR\_tresh, Pt, freq, Noise\_dBm)

 end

 end

 HO\_count\_from\_HO\_step\_delay = [HO\_count\_from\_HO\_step\_delay; get\_HO\_count(MSs)];

end

% Simulation End %

% Plotting %

axis([0 Area\_X 0 Area\_Y])

plot\_init\_positions(MSs, BSs);

plot\_MS\_movem\_ent(MSs, BSs, Sim\_steps\_total);

plot\_MS\_assoc\_BS(MSs, BSs, Sim\_steps\_total);

%%plot\_HO\_count\_from\_HO\_step\_delay(HO\_count\_from\_HO\_step\_delay);

hold off;

plot(HO\_count\_from\_HO\_step\_delay)

x = 0:.1:8;

 y = sin(x);

 h = plot(x,y);

 set(h,'YDataSource','y')

 set(h,'XDataSource','x')

 y = sin(x.^3);

 tic

 for i=1:100

 refreshdata(h,'caller');

 end

 toc

 tic

 for i=1:100

 delete(h);

 h = plot(x,y);

 end

 toc

 tic

 for i=1:100

 set(h,'XData',x,'YData',y);

 end

 toc

function SINR = SINR(Number\_MS,Number\_BS,RSS, PL, N\_W,BS\_assoc,Pt)

% Number\_MS ... Number of MS in the simulation

% Number\_BS ... Number of BS in the simulation

% RSS ... received signal strength

% PL ... path loss in dB

% N\_W ... Noise in W

% BS\_assoc ... indication to wich BS MS is connected

% Pt ... Transmission power of BS in dBm

SINR=zeros(Number\_MS,1);

NI=zeros(Number\_MS,1);

for i=1:Number\_MS

 for j=1:Number\_BS

 if BS\_assoc(i,2)~=j

 NI(i,1) = NI(i,1) + 10.^-3\*10.^( RSS(i,j)/10); % sum of interference

 end

 end

 NI(i,1) = NI(i,1) + N\_W; % adding Noise

 NI(i,1)=10\*log10(NI(i,1)/0.001); % converting to dBm

 SINR(i,1)=Pt-PL(i,BS\_assoc(i,2))-NI(i,1); % SINR calculation

end

end

function RSS = RSS(MS, BS, Pt, freq)

%PL Calculation of Received Signal Strength between MS and BS

% freq in GHz

% Pt transmission power in dBm

RSS = Pt - Pathloss(MS, BS, freq);

end

function [] = plot\_MS\_movement(MSs, BSs, Sim\_steps\_total)

%UNTITLED2 Summary of this function goes here

% Detailed explanation goes here

hold on

for BS = BSs

 plot(BS.cur\_X, BS.cur\_Y, 'r\*', 'MarkerSize',20);

 text(BS.cur\_X-100, BS.cur\_Y-75, ['BaseStation ' num2str(BS.id)]);

end

t = text(500, 500, '');

h = plot(0,0);

for i=1:Sim\_steps\_total

 set(h,'Visible','off');

 for j=1:length(MSs)

 h(j) = plot(MSs(j).full\_path\_coords(i,1), MSs(j).full\_path\_coords(i,2), 'bo');

 set(h(j),'MarkerFaceColor','b')

 hold on

 end

 pause(0.001)

 set(t,'String',['step ' num2str(i)])

end

end

function [] = plot\_MS\_assoc\_BS(MSs, BSs, Sim\_steps\_total)

%plot\_MS\_assoc\_BS Summary of this function goes here

% Detailed explanation goes here

hold on

for BS = BSs

 plot(BS.cur\_X, BS.cur\_Y, 'r\*', 'MarkerSize',20);

 text(BS.cur\_X-100, BS.cur\_Y-75, ['BaseStation ' num2str(BS.id)]);

end

t = text(500, 500, '');

h = plot(0,0);

for i=1:Sim\_steps\_total

 set(h,'Visible','off');

 for j=1:length(MSs)

 h(j,1) = plot(MSs(j).full\_path\_coords(i,1), MSs(j).full\_path\_coords(i,2), 'bo');

 h(j,2) = plot([MSs(j).full\_path\_coords(i,1) BSs(MSs(j).associated\_BSs(i)).cur\_X], [MSs(j).full\_path\_coords(i,2) BSs(MSs(j).associated\_BSs(i)).cur\_Y], 'Black');

 hold on

 end

 pause(0.001)

 set(t,'String',['step ' num2str(i)])

end

end

function [] = plot\_init\_positions(MSs, BSs)

%plot\_init\_positions Summary of this function goes here

% Detailed explanation goes here

hold on;

for MS = MSs

 plot(MS.full\_path\_coords(1,1), MS.full\_path\_coords(1,2),'bo');

end

hold on;

for BS = BSs

 plot(BS.cur\_X, BS.cur\_Y, 'r\*', 'MarkerSize',20);

 text(BS.cur\_X-100, BS.cur\_Y-75, ['BaseStation ' num2str(BS.id)]);

end

end

function PL = Pathloss(MS, BS, freq)

%PL Calculation of pathloss between MS and BS

% freq in GHz

sigma = 3; %standart deviation of random fading

PL = 35.2 + 35\*log10(distance(MS, BS)) + 26\*log10(freq/2) + randn\*sigma;

end

function [HO\_count] = get\_HO\_count(MSs)

%get\_HO\_count Summary of this function goes here

% Detailed explanation goes here

HO\_count = 0;

for MS = MSs

 HO\_count = HO\_count + MS.HO\_metric;

end

end

function distance = distance(MS, BS)

%UNTITLED4 Summary of this function goes here

% Detailed explanation goes here

distance = sqrt((MS.cur\_X - BS.cur\_X)^2 + (MS.cur\_Y - BS.cur\_Y)^2 + (MS.Z - BS.Z)^2);

end

function MSs = Create\_MSs(Quan\_MS, Area\_X, Area\_Y, MS\_Z\_height, MS\_Max\_speed)

%Create\_MS Creates Quan\_MS number of MS objects and gives them their

%starting coordinates

%

for i=1:Quan\_MS

 MSs(i) = MobileStation(i, rand\*Area\_X, rand\*Area\_Y, MS\_Z\_height, MS\_Max\_speed);

end

end

function BSs = Create\_BSs( Area\_X, Area\_Y, BS\_Z\_height)

%Create\_BS Creates 4 of BS objects and gives them their starting coordinates

%

%

BSs(1) = BaseStation(1, Area\_X/4, Area\_Y/4, BS\_Z\_height);

BSs(2) = BaseStation(2, Area\_X/4, Area\_Y\*3/4, BS\_Z\_height);

BSs(3) = BaseStation(3, Area\_X\*3/4, Area\_Y/4, BS\_Z\_height);

BSs(4) = BaseStation(4, Area\_X\*3/4, Area\_Y\*3/4, BS\_Z\_height);

end

function SNR = SNR(MS,BS,Pt,freq, Noise\_dBm)

% Number\_MS ... Number of MS in the simulation

% Number\_BS ... Number of BS in the simulation

% PL ... PL between individual stations in meters

% Pt ... Transmission power of BS in dBm

SNR = RSS(MS, BS, Pt, freq)-Noise\_dBm;

End

classdef BaseStation

 %BaseStation Class for Base Station

 % Detailed explanation goes here

 properties

 cur\_X

 cur\_Y

 Z

 id

 end

 methods

 function obj = BaseStation(id, cur\_X, cur\_Y, BS\_Z\_height)

 %MobileStation Construct an instance of this class

 % define current coordinates and id

 obj.id = id;

 obj.cur\_X = cur\_X;

 obj.cur\_Y = cur\_Y;

 obj.Z = BS\_Z\_height;

 end

 function outputArg = method1(obj,inputArg)

 %METHOD1 Summary of this method goes here

 % Detailed explanation goes here

 outputArg = obj.Property1 + inputArg;

 end

 end

end

classdef MobileStation < handle

 %MobileStation Class for Mobile Station

 % Detailed explanation goes here

 properties

 cur\_X

 cur\_Y

 Z

 next\_X

 next\_Y

 speed\_X

 speed\_Y

 id

 full\_path\_coords

 allocated\_BS\_id = 1;

 associated\_BSs = [];

 BS\_HO\_candidate =[];

 HO\_metric = -1

 end

 methods

 function obj = MobileStation(id, cur\_X, cur\_Y, MS\_Z\_height, max\_speed)

 %MobileStation Construct an instance of this class

 % define current coordinates and id

 obj.id = id;

 obj.cur\_X = cur\_X;

 obj.cur\_Y = cur\_Y;

 obj.Z = MS\_Z\_height;

 obj.speed\_X = max\_speed \* (rand\*2-1);

 obj.speed\_Y = max\_speed \* (rand\*2-1);

 obj.next\_X = obj.cur\_X;

 obj.next\_Y = obj.cur\_Y;

 obj.full\_path\_coords = [obj.cur\_X, obj.cur\_Y];

 obj.associated\_BSs = [obj.allocated\_BS\_id];

 obj.BS\_HO\_candidate = [obj.allocated\_BS\_id];

 end

 function [] = move(obj, Area\_X, Area\_Y, step\_scale)

 %METHOD1 Summary of this method goes here

 % Detailed explanation goes here

 obj.next\_X = obj.cur\_X + obj.speed\_X;

 obj.next\_Y = obj.cur\_Y + obj.speed\_Y;

 while((obj.next\_X > Area\_X) || (obj.next\_X < 0) || (obj.next\_Y > Area\_Y) || (obj.next\_Y < 0))

 if (obj.next\_X > Area\_X) || (obj.next\_X < 0)

 obj.speed\_X = obj.speed\_X \* -1;

 obj.next\_X = obj.cur\_X + obj.speed\_X;

 end

 if (obj.next\_Y > Area\_Y) || (obj.next\_Y < 0)

 obj.speed\_Y = obj.speed\_Y \* -1;

 obj.next\_Y = obj.cur\_Y + obj.speed\_Y;

 end

 end

 obj.cur\_X = obj.next\_X;

 obj.cur\_Y = obj.next\_Y;

 obj.full\_path\_coords = [obj.full\_path\_coords; obj.cur\_X obj.cur\_Y];

 end

 function [closest\_BS\_id] = closest(obj,BSs)

 distance\_to\_BSs = [];

 for BS = BSs

 distance\_to\_BSs = [distance\_to\_BSs; distance(obj, BS)];

 end

 [a, closest\_BS\_id] = min(distance\_to\_BSs);

 end

 function [min\_PL\_to\_BS\_id] = PL\_min(obj, BSs, freq)

 PL\_to\_BSs = [];

 for BS = BSs

 PL\_to\_BSs = [PL\_to\_BSs; Pathloss(obj, BS, freq)];

 end

 [a, min\_PL\_to\_BS\_id] = min(PL\_to\_BSs);

 end

 function [max\_SNR\_to\_BS\_id] = SNR\_max(obj, BSs, Pt, freq, Noise\_dBm)

 SNR\_to\_BSs = [];

 for BS = BSs

 SNR\_to\_BSs = [SNR\_to\_BSs; SNR(obj, BS, Pt, freq, Noise\_dBm)];

 end

 [a, max\_SNR\_to\_BS\_id] = max(SNR\_to\_BSs);

 end

 function [] = allocate\_BS(obj, BS\_id)

 if obj.allocated\_BS\_id ~= BS\_id

 obj.allocated\_BS\_id = BS\_id;

 obj.HO\_metric = obj.HO\_metric + 1;

 end

 end

 function [] = try\_HO(obj, BSs, HO\_step\_delay, HO\_SNR\_tresh, Pt, freq, Noise\_dBm)

 obj.associated\_BSs = [obj.associated\_BSs; obj.allocated\_BS\_id];

 obj.BS\_HO\_candidate = [obj.BS\_HO\_candidate; obj.SNR\_max(BSs, Pt, freq, Noise\_dBm)];

 if length(obj.BS\_HO\_candidate) >= HO\_step\_delay

 if all( obj.BS\_HO\_candidate(end - HO\_step\_delay + 1 : end) == obj.BS\_HO\_candidate(end) ) % ensures that delta\_t requirement is fulfilled

 if ( SNR(obj, BSs(obj.BS\_HO\_candidate(end)), Pt, freq, Noise\_dBm) - SNR(obj, BSs(obj.allocated\_BS\_id), Pt, freq, Noise\_dBm)) > HO\_SNR\_tresh

 obj.allocate\_BS(obj.BS\_HO\_candidate(end))

 end

 end

 end

 end

 end

end