

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Індивідуальне робоче місце водія громадського транспорту на базі AIoT
технології
(тема)

Виконав:
здобувач IV року навчання,
групи КІУКІ-21-7 Лазарев А. А.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 Комп'ютерна
інженерія
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма
Комп'ютерна інженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Немченко В.П.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис)

Чумаченко С.В.
(прізвище, ініціали)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Комп'ютерної інженерії та управління _____
Кафедра _____ Автоматизації проектування обчислювальної техніки _____
Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____
Спеціальність _____ 123 Комп'ютерна інженерія _____
(код і повна назва)
Тип програми _____ освітньо-професійна _____
Освітня програма _____ Комп'ютерна інженерія _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)
« _____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Здобувачеві _____ Лазареву Арсенію Артемовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Індивідуальне робоче місце водія громадського транспорту на базі
AIoT технології _____

затверджена наказом університету від _____ 21.05 _____ 2025 р. № 403Ст _____


2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії _____ 15.06. _____ 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи _____
1. Технологія InternetofThings (IoT) _____
2. Елементи Штучного Інтелекту (нейромережі) _____
3. Тип натільної мережі – BodyAreaNetwork _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____
- Аналіз базових технологій BAN _____
- Аналіз структури і функціонування натільної мережі _____
- Розробка структури робочого місця водія громадського транспорту _____
- Симуляція працездатності системи WBAN _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) 13 Сл.


6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

| Найменування розділу | Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові) | Позначка консультанта про виконання розділу | |
|----------------------|--|---|----------|
| | | підпис | дата |
| | Проф. Немченко В.П. |  | 10.06.25 |
| | | | |

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № | Назва етапів роботи | Терміни виконання етапів роботи | Примітка |
|----|---|---------------------------------|----------|
| 1. | Аналіз завдання на розробку | 02.05.25 – 07.05.25 | Виконано |
| 2. | Постановка задач на розробку. | 06.05.25 – 12.05.25 | Виконано |
| 3. | Аналіз існуючих технологій проектування ВАН системи | 12.05.25 – 27.05.25 | Виконано |
| 4. | Розробка структури робочого місця | 25.05.25 – 07.06.25 | Виконано |
| 5. | Моделювання роботи системи | 05.06.25 – 08.06.25 | Виконано |
| 6. | Оформлення пояснювальної записки | 06.06.25 – 10.06.25 | Виконано |
| 7. | Підготовка ілюстративних матеріалів. | 07.06.25 – 11.06.25 | Виконано |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Дата видачі завдання _____ 2025 р.

Здобувач 
(підпис)

Керівник роботи  Проф. Немченко В.П.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи містить 49 сторінок, 22 рисунків, 12 джерел посилання.

ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, НЕЙРОМЕРЕЖІ, НАТІЛЬНИЙ ІНТЕРНЕТ, ДІАГНОЗ

Метою роботи є розробка та впровадження системи, головною складовою котрої є обладнання індивідуального робочого місця водія громадського транспорту на базі IoT технології з елементами штучного інтелекту з метою оперативного встановлення діагнозу стану здоров'я водія з метою недопущення аварійних ситуацій на транспорті.

Розглянуто різні методи вимірювання показників здоров'я водія на робочому місці. Застосована нейромережа дозволяє аналізувати інформацію про можливі відхилення у показниках фізичного стану водія і надавати медичним працівникам термінове повідомлення про поточний стан здоров'я водія.

ABSTRACT

Explanatory notes for qualification work contains 49 pages, 2 figures, 12 reference sources.

INTERNET OF THINGS, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, NEURAL NETWORKS, BODY AREA NETWORK, DIAGNOSIS

The purpose of the certification work is to develop and implement a system, the main component of which is to equip an individual work place of a public transport driver based on IoT technology with elements of artificial intelligence in order to quickly diagnose the driver's health status in order to prevent accidents in transport.

Various methods for measuring driver health indicators in the workplace are considered. The applied neural network allows analyzing information about possible deviations in the driver's physical condition and providing medical professionals with an urgent notification about the current state of the driver's health.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ..... | 7 |
| ВСТУП..... | 7 |
| 1 АНАЛІЗ БАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ VAN | 11 |
| 1.1 Технологія IoT | 11 |
| 1.2 Сфери застосування IoT | 13 |
| 1.3 Штучний інтелект на базі нейромережі | 14 |
| 1.4 Використання технологій Cloud та Edge (Fog) технології | 15 |
| 2 НАТІЛЬНА (VAN) МЕРЕЖА | 18 |
| 2.1 Структура натільної VAN мережі..... | 18 |
| 2.2 VAN робочого місця водія | 20 |
| 2.3 Телемедична система на основі мережі датчиків області тіла..... | 23 |
| 3 ПРОЕКТУВАННЯ РОБОЧОГО МІСЦЯ ВОДІЯ | 25 |
| 3.1 Структурна схема VAN-системи | 25 |
| 3.2 Життєвий цикл VAN-системи..... | 26 |
| 3.2.1 Побудова та навчання нейромережі..... | 28 |
| 3.2.2 Стандарт VAN IEEE 802.15.6..... | 34 |
| 4 ПЕРЕВІРКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ БЕЗДРОТОВОЇ СЕНСОРНОЇ НАТІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ | 39 |
| 4.1 Порівняльний аналіз засобів імітаційного моделювання мереж | 39 |
| 4.2 Моделювання натільної сенсорної мережі | 41 |
| 4.3 Нові підходи до створення VAN | 44 |
| ВИСНОВКИ | 46 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ | 48 |
| ДОДАТКИ..... | 50 |
| ДОДАТОК А ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ..... | 50 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

IT – Information Technology (Інформаційні технології);
IoT – Internet of Things (Інтернет речей);
AI – Artificial Intelligence (ШІ, Штучний Інтелект);
AIOT – AI + IOT (IoT з елементами ШІ);
BCM - Бездротова Сенсорна Мережа;
BAN – Body Area Network (Натільна Мережа);
WBAN Wireless (Бездротова BAN);
BSN - BodySensorNetwork;
MBAN – Medical Body Area Network (Медична мережа на тілі);
WPAN – Wireless Personal Area Network;
BANC - Координатор мережі тіла;
ЦАП – Цифро-аналоговий перетворювач;
АЦП - Аналогово-цифровий перетворювач;
ТМН – Telemedical HUB (Телемедичний хаб);
ШНМ - штучні нейронні мережі;
КПТ – комунікація по тілу.

ВСТУП

Зростаюча складність міського середовища характеризується численними змінними та викликами. Технології штучного інтелекту речей (AIoT) демонструють значний потенціал у сфері оптимізації використання ресурсів та зменшення витрат часу. Завдяки AIoT з'являються різноманітні інтелектуальні рішення, що охоплюють такі сфери, як розумні міста, управління дорожнім рухом, системи розумного будинку тощо.

Зараз міста виступають досить складними системами, які включають безліч взаємопов'язаних компонентів. Без належної інтеграції цих компонентів міські системи не здатні ефективно реагувати на непередбачені події чи виконувати повсякденні завдання. Обмеженість трудових і ресурсних можливостей, грамотне управління цими ресурсами є необхідністю. Отже, впровадження концепції розумного міста з підтримкою AIoT стає неминучим явищем.

У 2008 року IBM уперше представила ідею «розумного міста». Сьогодні розробка таких проєктів поширилася повсюдно. Проте міста (як складні організми) не можуть досягти стійкого розвитку миттєво, оскільки кожне з них має унікальні характеристики, що зумовлені рівнем економічного розвитку, культурою та політичними особливостями.

У 2023 році компанія DahuaTechnology презентувала концепцію «Серце міста», що базується на архітектурі «1+2+N». У цій моделі «1» символізує платформу великих даних для інтеграції міської інформації з метою інтелектуальної аналітики, «2» — це центри експлуатації, управління та безпеки, а «N» охоплює різноманітні об'єкти для розвитку розумної міської інфраструктури[1].

Ці підходи також успішно використовуються у сфері розумного транспорту. Нагадаємо, що проблема нестачі паркувальних місць є актуальною для багатьох міст. У Китаї було виявлено, що 51% з 79 мільйонів паркувальних

місць залишаються вільними або незайнятими. Використання розумних рішень для управління дорожнім рухом дозволяє збирати та аналізувати дані в реальному часі, що знижує рівень вільних місць до 11% і сприяє оптимізації трафіку. Подібні рішення були впроваджені в різних країнах, зокрема в порту Ярмут у Великій Британії, метро Ресіфі в Бразилії та на дорогах столиці Монголії[1].

Також АІоТ активно застосовуються в приватному секторі. Так, деякі рішення дозволяють автоматично оцінювати потік клієнтів за допомогою відеоспостереження щоб оптимізувати роботу персоналу, торговельні компанії можуть ухвалювати більш обґрунтовані бізнес-рішення.

Зауважимо, що сьогодні багато фірм приділяють технологіям розумного житла. Безпека залишається ключовим пріоритетом для користувачів, однак функціональні можливості не обмежуються лише цим. Інтеграція камер спостереження з іншими пристроями ІоТ створює нові зручності, наприклад, дистанційно надавати доступ до житла одним натисканням на смартфон.

Мережа на тілі (BAN), також відома як бездротова мережа на тілі WBAN, мережа датчиків на тілі BSN або медична мережа на тілі MBAN, є бездротовою мережею носимих обчислювальних пристроїв. Пристрої BAN можуть бути інтегровані в тіло у вигляді імплантатів або у формі таблеток, закріплюватися на поверхні тіла у фіксованих положеннях, або супроводжувати людину як переносні пристрої, що розміщуються у кишенях одягу, тримаються в руках чи зберігаються у сумках.

Мініатюризація пристроїв у розробці телемереждозволяє створювати системи, які включають кілька малих сенсорних блоків тіла (BodySensorUnits, BSUs) та один центральний блок управління (BodyCentralUnit, BCU). Попри цю мініатюризацію, дециметрові смарт-пристрої, такі як планшети та вкладки, залишаються важливими компонентами. Вони виконують функції центрів збору даних або шлюзів і забезпечують користувацький інтерфейс для моніторингу та управління програмами BAN на місці.

Технологія WBAN почала розроблятися у 1995 році з ідеї застосування

бездротових персональних мереж WPAN для забезпечення зв'язку на, поблизу та навколо тіла людини. Приблизно через шість років термін «BAN» набув спеціального значення, описуючи системи, в яких зв'язок здійснюється виключно в межах тіла, на його поверхні та в безпосередній близькості[2].

Системи WBAN можуть використовувати технології WPAN як шлюзи для зв'язку на більшій відстані. За допомогою таких пристроїв (шлюзів) можливе підключення носимих пристроїв до Інтернету, що дозволяє медпрацівникам отримувати доступ до даних пацієнтів у режимі онлайн незалежно від їхнього місцезнаходження.

1 АНАЛІЗ БАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ VAN

Натільна система VAN передбачає використовувати її на транспортних підприємствах з метою оперативного спостереження за станом здоров'я водіїв громадського транспорту з метою запобігання можливих непередбачуваних дорожніх пригод у разі суттєвого погіршення фізичного здоров'я водія. Розробка структури Бездротової Сенсорної Мережі(БСМ) за технологією IoT з Елементами Штучного Інтелекту (ШІ) з використанням нейромережі для аналізу стану здоров'я людини з можливістю надання поточної інформації медичній системі транспортного підприємства за допомогою таких технологій, як Edge (Fog) Technology та Cloud Technology є конче актуальною сьогодні. Таку IoT-мережу називають BodyAreaNetwork (BAN) - натільна локальна мережа. Застосована нейромережа дозволяє аналізувати інформацію про можливі відхилення у показниках фізичного стану водія і надавати медпрацівникам термінове повідомлення про поточний стан здоров'я водія.

Наведемо короткий огляд та характеристику тих базових технологій, які можуть знайти застосування в розроблювальній системі.

1.1 Технологія IoT

Термін IoT або «Інтернет речей» означає колективну мережу підключених пристроїв і технологію, яка полегшує зв'язок між пристроями та хмарою, а також між самими пристроями. З появою недорогих комп'ютерних чіпів і телекомунікацій з високою пропускнуою спроможністю мільярди пристроїв тепер під'єднані до Інтернету. Звичайні пристрої (зубні щітки, пілососи, автомобілі та машини) – можуть використовувати датчики для збору даних і надання інтелектуальних відповідей користувачам[3].

Інтернет речей об'єднує повсякденні «об'єкти» в Інтернет. З 1990-х років комп'ютерні інженери додають датчики та процесори до повсякденних предметів. Однак прогрес спочатку був повільним, оскільки мікросхеми були

великими та громіздкими. Для відстеження дорогого обладнання вперше використовували малопотужні комп'ютерні мікросхеми, які називаються RFID-мітками (radiofrequencyidentificatory). З часом ці мікросхеми стали меншими, швидшими та розумнішими.

Зараз вартість упаковки обчислювальної потужності в невеликі об'єкти значно впала. Наприклад, можна додати можливості підключення за допомогою голосових служб Alexa до мікроконтролерів із менш ніж 1 МБ вбудованої оперативної пам'яті, таких як комутатори. Виникла ціла індустрія з метою наповнити наші будинки, підприємства та офіси пристроями IoT. Ці розумні об'єкти можуть автоматично передавати дані в Інтернет і з нього. Усі ці обчислювальні пристрої та пов'язані з ними технології називаються Інтернетом речей (IoT). Типова система IoT працює шляхом збору та обміну даними в реальному часі.

Система IoT складається з трьох елементів:

1) *Розумні пристрої*. Це пристрої, які має у своєму складі певні обчислювальні можливості. Вони збирають дані зі свого середовища, що вводяться користувачами або спеціальними пристроями, а потім передаються через Інтернет у програму IoT.

2) *Додаток IoT* — це набір служб і ПЗ, яке об'єднує дані, що передаються різними пристроями IoT. Він (використовує технологію машинного навчання (machinelearning) або ШІ щоб аналізувати ці дані та приймати відповідні рішення. Ці рішення передаються до пристрою IoT, який потім реагує на вхідні дані.

3) *Графічний інтерфейс користувача*. Пристроєм IoT (або групою пристроїв) можна керувати через графічний інтерфейс користувача. Типовими прикладами є спеціальний мобільний додаток або веб-сайт, які можна використовувати для реєстрації та керування смарт-пристроями.

1.2 Сфери застосування IoT

Сьогодні технологія IoT знаходить своє застосування у багатьох напрямках сучасного суспільства. Наведемо деякі з цих застосувань.

1) Управління ланцюгом поставок бізнесу: оптимізація виробництва, покращення обслуговування клієнтів, відстеження активів, управління, та таке інше.

2) Сільське господарство: розумні системи поливу, відстеження худоби (RFID-мітки), моніторинг обладнання, моніторинг вологості ґрунту, точне землеробство, тощо.

3) Рішення для підприємств: існує кілька способів використання IoT для покращення бізнес-операцій, наприклад, управління робочою силою, управління будівлями, аналітика клієнтів, управління IT-активами тощо.

4) Пристрої для носіння: розумні годинники, віртуальна та доповнена реальність, догляд за людьми похилого віку, тощо.

5) Промисловий Інтернет речей (IIoT).

IIoT це Інтернет речей, який використовується на великих підприємствах і часто називають «четвертою хвилею промислової революції» [4].

6) Роздрібна торгівля.

7) Готельний бізнес.

8) Управління транспортним господарством: розумне паркування, контроль світлофорів, безпека на дорозі, управління автопарком, відстеження транспортних засобів, логістика, тощо.

9) Охорона здоров'я: спостереження за пацієнтами, ведення медичної документації, аналіз стану здоров'я клієнтів та його моніторинг.

Вище наведено тільки декілька напрямків використання IoT-технології в сучасному суспільстві. Насправді цей перелік є значно більшим та значно детальнішим. Особливе місце займає так звана AIoT-система, в котрій

поєднано дві такі сучасні технології, як IoT та Штучний інтелект скорочено AIOT (Artificial Intelligence + Internet of Things).

1.3 Штучний інтелект на базі неймережі

Нейронні мережі, також звані штучними неймережами або імітованими неймережами, є типом алгоритму машинного навчання, створеного за структурою та функціями людського мозку. Вони складаються з взаємопов'язаних вузлів, які називаються нейронами. Простіше кажучи, нейрони, які утворюють нейронну мережу штучного інтелекту, є математичними функціями, які обробляють отриману інформацію (на межі мережі, як-от синапси) і в результаті виробляють числове значення (залежно від того, чи активований нейрон чи ні)[4].

Базовим елементом мозку людини є нейрони - специфічні клітини, що здатні запам'ятовувати і застосовувати попередній досвід до наступних дій, що докорінно відрізняє їх від решти клітин тіла. На рисунку 1.1, а) показано приблизно структуру нейрона мозку людини. На рисунку 1.1, б) наведено типову структуру штучного нейрона.

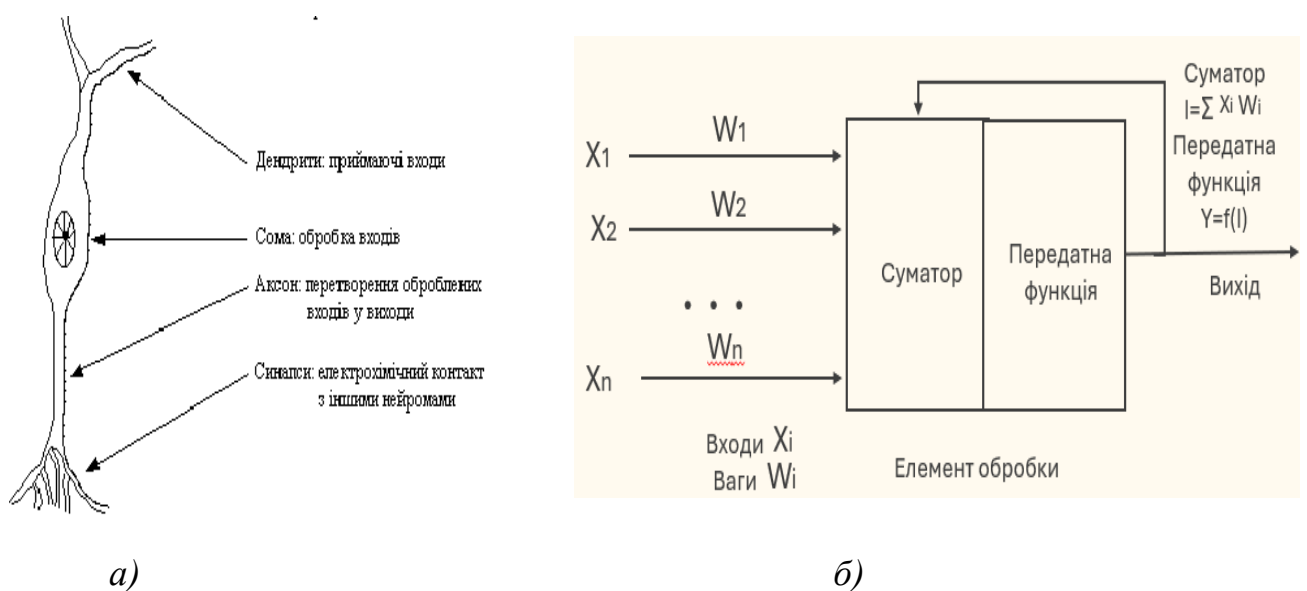


Рисунок 1.1 – Порівняння структури нейрона мозку людини (а) та структури штучного нейрона (б)

Елементарний нейрон із кількістю входів n (рис. 1.1, б), де вхід зважений відповідним w . Сума зважених входних даних і зміщення формує вхідні дані для функції передачі f (на рисунку вихідну функцію позначено літерою I). Нейрони можуть використовувати різноманітні функції передачі для генерації свого виходу (у найпростішому випадку це – лінійна функція).

Далі буде використано просту реалізацію нейромережі, яка буде аналізувати фізичні параметри, що описують та розпізнають стан здоров'я людини (водія) і надсилати узагальнені висновки про можливість нормальної роботи водія міського транспортного засобу в заданий момент часу.

У штучному інтелекті нейрони — це частини ПЗ, які разом обробляють і аналізують складні дані. Кожен нейрон отримує інформацію з попереднього рівня, використовує для цього математичну функцію, а потім передає результат на наступний рівень. Вибір і параметризація цих математичних функцій є основною складністю при проектуванні нейромережі, враховуючи, що вся її продуктивність залежить від адекватності параметризації для отримання очікуваного результату. Це налаштування стало можливим завдяки автоматичному процесу, який називається навчанням.

Використання технології штучного інтелекту на базі нейромережі в атестаційній роботі можна використати з ціллю класифікації поточного стану здоров'я водія транспортного засобу для того, щоб своєчасно фіксувати можливі ризики в роботі водія.

1.4 Використання технологій Cloud та Edge (Fog) технології

Граничні обчислення в IoT-системі передбачають обробку даних поблизу їх джерела замість надсилання їх на великі відстані (в Хмару) для обробки віддаленим сервером. Це вирішує кілька важливих проблем, багато з яких

пов'язані із затримкою, яка виникає, коли дані переміщуються на великі відстані.

Наприклад, якщо фабрика використовує машини на конвеєрі, а їхні вхідні дані обробляються за допомогою віддаленого хмарного сервера, можуть виникнути проблеми з безпекою. Час, потрібний для того, щоб пристрій отримав вхідні дані, відправив їх на сервер у хмарі, обробив їх, а потім відповідну команду надіслати назад на машину, може бути занадто великим. Якщо команда передбачає припинення роботи машини через те, що на шляху стоїть людська кінцівка, це може призвести до серйозної травми. Завдяки IoT Edge дані можуть проходити короткі дистанції замість довгих, що економить дорогий час і підвищує безпеку.

В нашому випадку проміжною ланкою в розроблюваній системі є збереження та накопичення інформації про стан здоров'я водія в зовнішніх пристроях. Цехмарні технології та їх складова – проміжна технологія Edge (*синонім* – Fog). Тобто попередня обробка отриманої інформації буде оброблюватися на рівні Fog – на найближчому до датчиків (сенсорів). Для цього плановано використовувати ноутбук або смартфон. Тобто, отриману інформацію попередньо обробляє досить потужний пристрій (порівняно із пристроями IoT). На рисунку 1.2 представлено загальний принцип використання технології Edge в IoT-системі.

Отже, використання обидвох технологій (Cloud та Edge) сприяє ефективності функціонування розроблюваної системи.

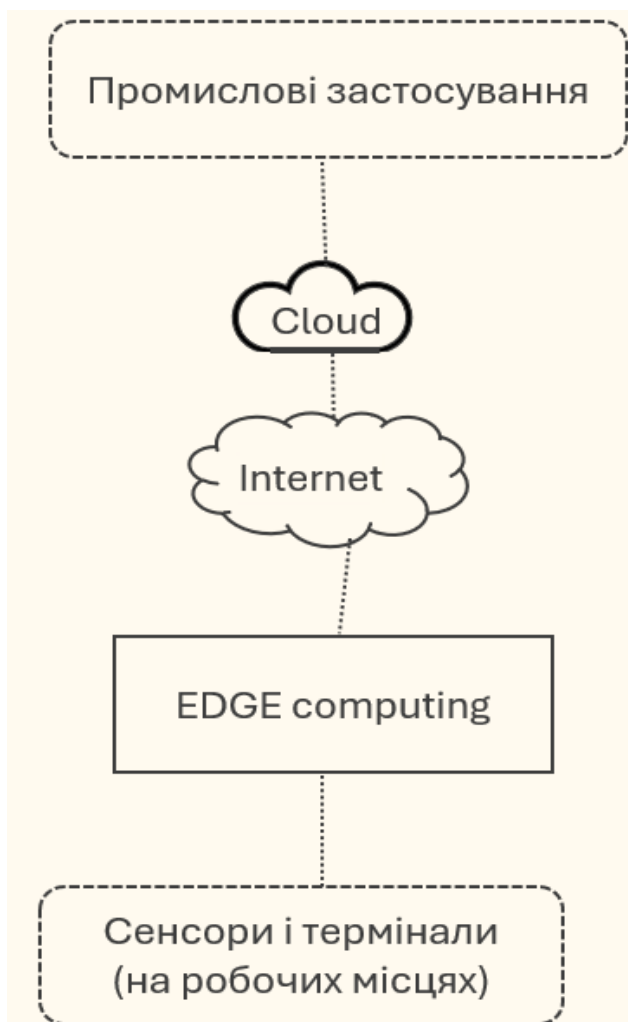


Рисунок 1.2 – Використання технології Edge в IoT-системі

Таким чином, використання технології Edge в IoT-системі VAN сприяє підвищенню швидкодії всієї бездротової сенсорної мережі не зважаючи на те, що передбачено періодичне звернення до Cloud в якості негативного впливу на загальну швидкість системи, що може погіршувати цей параметр але включення в систему Edg-шару нівелює цей ефект.

2 НАТІЛЬНА (BAN) МЕРЕЖА

Зростання використання бездротових мереж, повсюдне поширення комп'ютерів та IoT-пристроїв і мереж дало поштовх для досліджень бездротової (натільної) мережі тіла. Для цього зараз широко використовують таке поняття, як BAN (BodyAreaNetwork- Натільна мережа), а також - WBAN (Wireless BAN).

WBAN - це сукупність датчиків *всередині, на* або *навколо* людського тіла, які з'єднані через бездротову мережу. WBAN має багато застосувань, починаючи від охорони здоров'я і закінчуючи взаємодією людини з комп'ютером. У нашому випадку йдеться про використання BAN для дистанційного спостереження за поточним станом здоров'я водія міського транспорту для створення максимальної безпеки громадського транспорту.

2.1 Структура натільної BAN мережі

В сучасній науково-технічній літературі ми часто зустрічаємо таку архітектуру типової бездротової сенсорної мережі Body Area Network, як це наведено на рисунку 2.1.

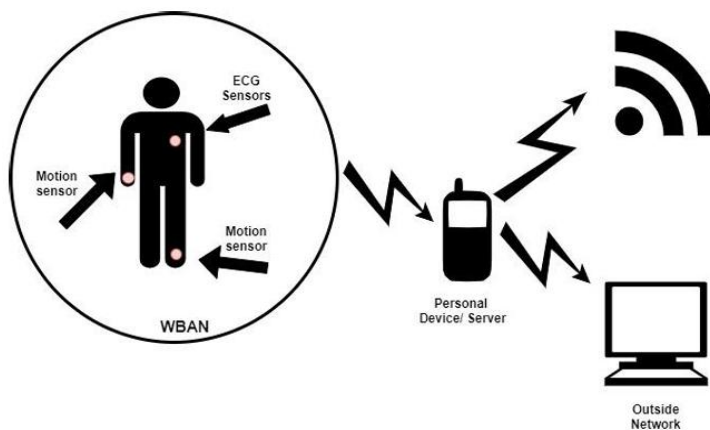


Рисунок 2.1 - Архітектура типової бездротової сенсорної мережі BAN

Загальну структуру наведено на рисунку 2.2.

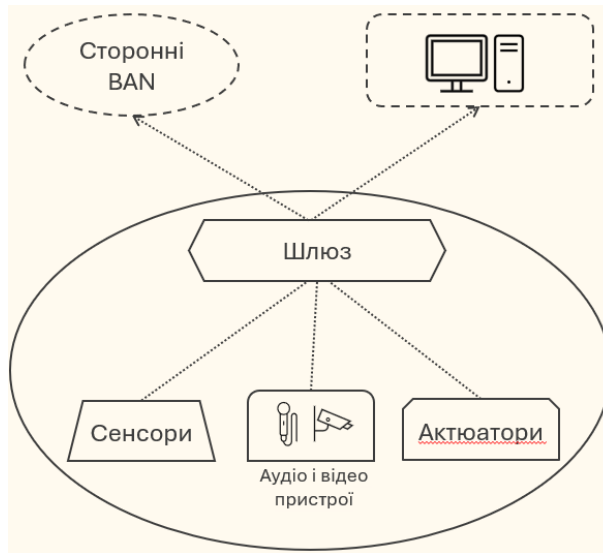


Рисунок 2.2 - Структура системи BAN

Хаб (шлюз) включає в себе обчислювальні та комунікаційні функції і є основним загальним структурним елементом BAN. Концентратор відповідає за а) комунікацію (внутрішню та міжбанківську) та б) виконання програм і обробку даних. BAN - це, по суті, гетерогенна мережа, в якій можливі різні засоби зв'язку (наприклад, інфрачервоне світло, радіочастота, шкіра, дроти). Концентратор включає в себе один або кілька загальних інтерфейсів для підтримки ряду специфічних середовищ і технологій зв'язку (наприклад, Bluetooth).

Концентратор забезпечує «інтелект» для автоматичного налаштування BAN і маршрутизації (оптимізації) трафіку з BAN до інших BAN і до інших мереж. Нарешті, процесорний блок концентратора здатний обробляти такі дані, як мультимедійну інформацію та фізіологічні сигнали під управлінням завантажених додатків.

Хаб і пристрої носяться на тілі, можуть бути вбудовані в одяг, ювелірні прикраси, окуляри, гарнітури або шоломи, можливо, прикріплені безпосередньо до тіла (наприклад, кардіомонітор). Конкретні рішення створюються навколо

загальної структури шляхом додавання певного набору пристроїв відповідно до ролі (наприклад, пристрій для парамедиків) або для певних потреб. Наприклад, до складу БАН пацієнта з діабетом може входити датчик для моніторингу рівня цукру в крові, а також, можливо, інсулінову мікропомпу. Кардіологічна частина включатиме датчики для моніторингу пульсу, насичення крові киснем, артеріального тиску та ЕКГ. Конкретна людина, скажімо, хворий на діабет, може захворіти на іншу хронічну хворобу, або мати тимчасову проблему (наприклад, потребувати кардіологічного моніторингу протягом певного періоду часу), і його (діабетичний) ВАН може бути потім може бути розширений, щоб включити додаткові функції за необхідності (наприклад, кардіомоніторинг) шляхом додавання іншого набору пристрою (або набору пристроїв) та пов'язаних з ним вбудованих і невбудованих програмних компонентів. ВАН має бути відкритою, розширюваною платформою, яка може бути адаптована не тільки до певного класу пацієнтів (наприклад, діабетиків). пацієнтів (наприклад, хворих на цукровий діабет), але й до конкретного набору (хронічних і гострих) проблем окремої людини/пацієнта. В нашому випадку ВАН буде використано для аналізу фізичного стану водія та контролю за його поточним станом здоров'я.

Розглянуті вище технології в тій чи іншій мірі знайдуть своє застосування при розробці і плануванні системи, головною складовою котрої, наприклад, є індивідуальне робоче місце водія громадського транспорту на базі AIoT технології.

2.2 ВАН робочого місця водія

Після певної адаптації розглянутої вище архітектури ми приходимо до такої структури, як це наведено на рисунку 2.3.

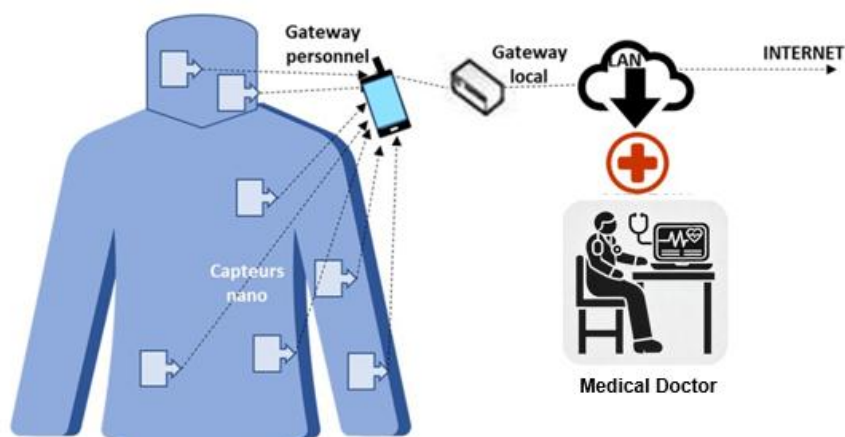


Рисунок 2.3 - Структура VAN мережі для моніторингу здоров'я водія

Рисунок 2.3 ілюструє структуру VAN — бездротової сенсорної мережі, призначеної для збору медичних даних у реальному часі за допомогою інтегрованих нанодатчиків, розташованих на тілі користувача. Дані передаються медичним фахівцям через захищену мережу для моніторингу здоров'я пацієнта та надання своєчасної медичної допомоги в разі необхідності.

Розглянемо основні компоненти цієї системи:

1. Нанодатчики (Capteursnano):

✓ Розташовані у стратегічних точках безпосередньо на тілі користувача або вмонтовані у робочий одяг водія і не заважають йому виконувати основну роботу (керування міським транспортом).

✓ Функція: Збір важливих фізіологічних даних, таких як температура тіла, серцебиття, артеріальний тиск, рівень насичення киснем тощо.

✓ Дані, зібрані з нанодатчиків, мають високу точність та передаються до наступних компонентів для обробки.

2. Персональний Шлюз (Gateway personnel):

✓ Зазвичай шлюз є представленим у вигляді смартфона або мобільного пристрою, який приймає дані від нанодатчиків за допомогою бездротового зв'язку (Bluetooth або Wi-Fi).

✓ Функція: Обробка та попереднє зберігання даних, передача їх до локального шлюзу або безпосередньо на сервер медичного закладу.

3. Локальний Шлюз (Gateway local):

- ✓ Пристрій, що забезпечує передачу даних від персонального шлюзу до мережі локального доступу (LAN).
- ✓ Може використовуватись для підвищення надійності та безпеки передачі даних.

4. Мережа Локального Доступу (LAN):

- ✓ Система забезпечує з'єднання між персональним/локальним шлюзом та інтернетом.
- ✓ Функція: Забезпечення стабільної та швидкої передачі даних до зовнішніх серверів.

5. Інтернет:

- ✓ Глобальна мережа для передачі даних у віддалене медичне середовище.
- ✓ Дані шифруються та захищаються для збереження конфіденційності пацієнта.

6. Медичний Центр:

- ✓ Дані отримуються лікарем або медичним фахівцем через інтернет.
- ✓ Функція: Аналіз отриманої інформації для моніторингу стану здоров'я пацієнта та прийняття рішень у разі необхідності термінової допомоги або медичної консультації.

Розглянемо функції складових системи:

1. *Збір даних:* Нанодатчики розташовані по всьому тілу пацієнта збирають фізіологічні дані. Особливістю роботи водія є те, що людина-водій може часто замінюватись, тому для зручності використання ми пропонуємо використовувати в якості спеодягу легку жилетку, в яку вмонтовано певну кількість необхідних датчиків.

2. *Передача даних:* Дані надсилаються на персональний шлюз (наприклад, смартфон) через бездротовий зв'язок.

3. *Обробка та передача даних:* Персональний шлюз передає дані через локальний шлюз до інтернету.

4. *Доступ медиків:* Лікарі отримують дані через інтернет, що дозволяє їм швидко реагувати та контролювати здоров'я пацієнта у реальному часі. У разі виникнення необхідних певних проміжних даних про стан здоров'я водія лікар має можливість звернутися до хмарного сервісу.

2.3 Телемедична система на основі мережі датчиків області тіла

Ми використовуємо так звану класичну структуру телемедичної системи на основі мережі датчиків області тіла[5]. Ця структура наведена на рисунку 2.4.

На етапі I WBAN складається з кількох сенсорних вузлів на тілі водія, кожен з яких отримує певні фізіологічні дані від людського тіла та спілкується з головним вузлом (BANC). Зазвичай зіркоподібна топологія є така де BANC розташовано в центрі, а кожен датчик безпосередньо з'єднаний з головним вузлом. Загалом, для безперервного отримання клінічних даних від вихідних вузлів в умовах клініки потрібно мати кілька BANC але в нашому випадку достатньо мати лише один такий вузол. Дані обробляються та передаються лікарю (і зберігаються на медичному сервері). Тут можна реалізувати статистичне моделювання, стиснення, збереження конфіденційності, оптимальне проектування шляху та процес планування. Для цілей отримання зображень і даних необхідна телемедична система на основі системи архівації зображень і зв'язку. Такі технології, як ZigBee, найбільш широко використовуються в WBAN для передачі інформації про працездатність від вузлів датчиків до BANC.

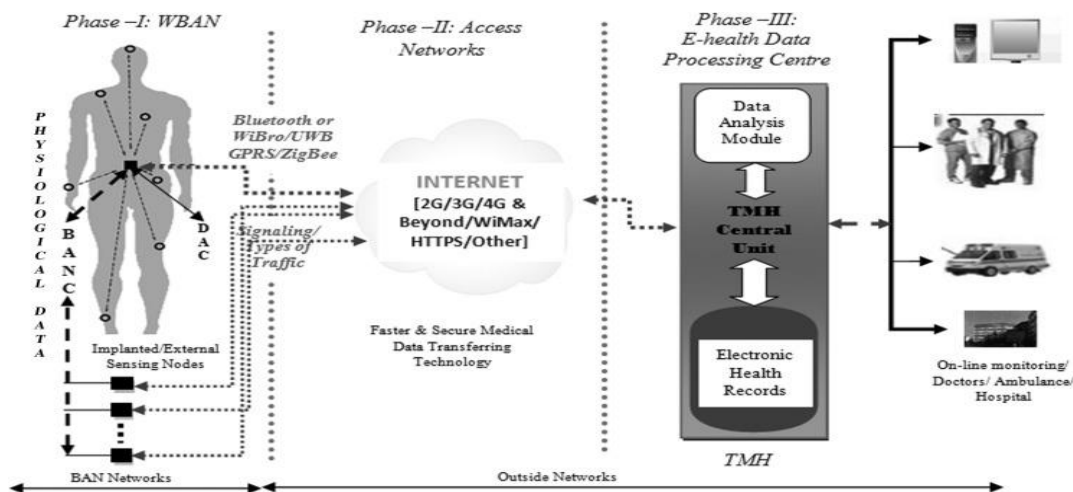


Рисунок 2.4 - Структура телемедичної системи на основі мережі датчиків області тіла.

На етапі II необхідні швидші та безпечніші послуги для передачі фізіологічних даних від BANC до ТМН. Еволюція систем бездротового зв'язку від 2G до 5G сприятиме забезпеченню більш високої фізіологічної швидкості передачі даних .

Як відомо, зараз в Україні використовують технологію, яка тут представлена як інфраструктура 4G, яка забезпечує швидшу дистанційну обробку захищених даних пацієнта (водія)

Захищений протокол передачі гіпертексту широко використовується для захисту клінічних даних пацієнтів шляхом встановлення наскрізних захищених сеансів через Інтернет і для забезпечення конфіденційності та цілісності даних.

На етапі III життєво важливі дані пацієнта будуть отримані центральним блоком ТМН і збережені в ЕНР, де зберігаються записи пацієнтів. ЕНР – це безпечний, структурований, оцифрований інформаційний ресурс, що працює в режимі реального часу. ЕНР включатиме інструмент підтримки прийняття рішень на основі доказів, обробляючи великий обсяг даних. Модуль аналізу даних пов'язаний із цим центром для аналізу клінічних даних для постійного контролю за станом здоров'я пацієнта (водія).

3 ПРОЕКТУВАННЯ РОБОЧОГО МІСЦЯ ВОДІЯ

3.1 Структурна схема VAN-системи

В розділі 2 пояснювальної записки було розглянуто принципи побудови натільної VAN-мережі. Зокрема на рисунку 2.3 було запропоновано відповідну структуру. Приймаючи до уваги все це ми проектуємо робоче місце водія міського транспортного засобу. Результати проектування наведено на рисунку 3.1.

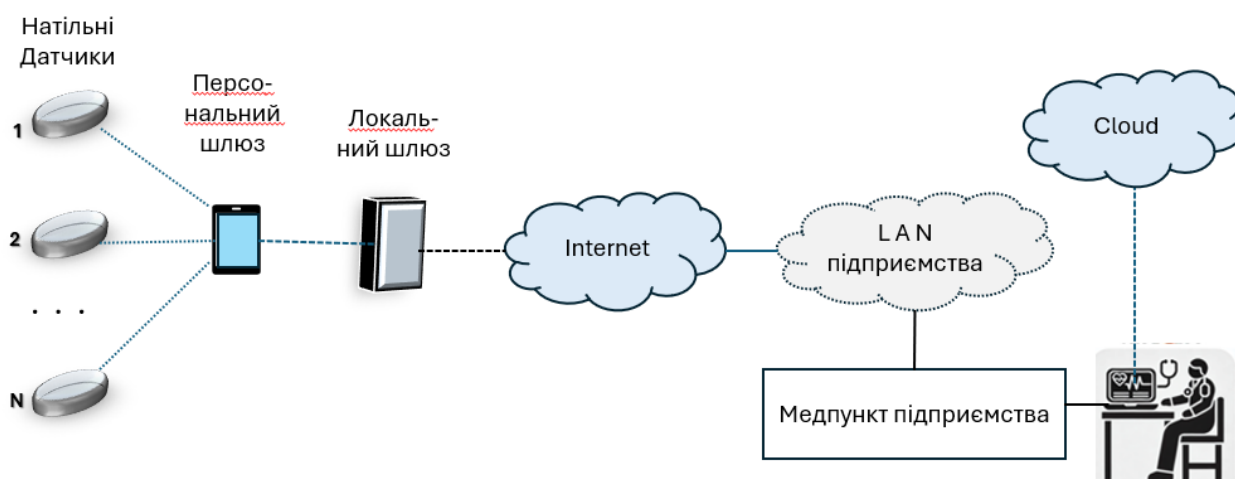


Рисунок 3.1 – Структурна схема мережі VAN робочого місця водія

Натільні датчики можуть розміщатися як на тілі водія безпосередньо, так і поблизу, наприклад, у кишенях одягу. В якості персонального шлюзу доцільно використовувати або власний, або виданий підприємством смартфон, на котрому розгорнуто спеціальне програмне забезпечення для збору інформації із натільних датчиків та для її пересилання на локальний шлюз, розміщений в салоні транспортного засобу і який має можливість встановлення бездротового зв'язку з інтернетом. Таким чином інформація про стан здоров'я водія оперативно подається до LAN підприємства, до якого підключено локальну інформаційну систему медпункту на підприємстві, де черговий

медичний робітник отримує та обробляє цю інформацію і при необхідності приймає відповідне рішення.

Зауважимо, що в якості Edge (Fog) шару в системі використано персональний та локальний шлюзи, де здійснюється первинна обробка інформації, отриманої з натільних датчиків. Потім вся ця інформація передається через глобальну систему (Інтернет) на робоче місце медичного закладу підприємства, на базовий комп'ютер медпункту для первинної обробки і прийняття рішення.

3.2 Життєвий цикл VAN-системи

В цілому життєвий цикл VAN-системи складається з декількох режимів: підготовчий режим, режим навчання нейромережі, робочий режим як це показано на рисунку 3.2.

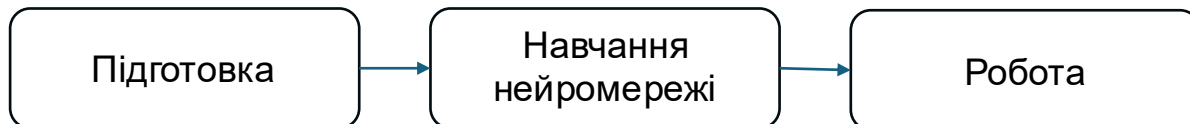


Рисунок 3.2 – Життєвий цикл VAN-системи

Режим *Підготовка*.

Як відомо, надійність та безаварійність громадського транспорту значною мірою залежить від поточного стану здоров'я водія, звичайно на ряду із технічним станом транспортного засобу. Запропонована VAN-система спрямована саме на зменшення ризиків пов'язаних із станом здоров'я водія.

Є багато показників (ознак) здоров'я людини тобто «нормального» самопочуття, серед яких часто називають: температура тіла, артеріальний тиск, пульс тощо. При цьому практично всі ці параметри можуть мати досить широкий діапазон. Наприклад, температура тіла вважають нормальною в діапазоні від 36 до 37 градусів; пульс у стані спокою — 80–90 поштовхів за

хвилину тощо. Теж саме стосується і артеріального тиску та інших параметрів. Тому при прийомі на роботу в якості водія медик повинен зафіксувати всі ці особливості кожного водія з тим, щоб на етапі підготовки VAN-системи мати все це на увазі при навчанні нейромережі системи.

Режим Навчання нейромережі.

Цей режим має на меті адаптувати нейронну мережу до роботи з конкретним водієм для урахування особливостей організму кожного водія, про що йшлося вище. Тобто цей режим здійснюється на початковому етапі функціонування VAN-системи.

Режим Робота.

В робочому режимі VAN-система виконує свою основну функцію – здійснює поточний контроль за станом здоров'я водія під час його знаходження на робочому місці. Датчики знімають основні показники організму водія під час його робочого дня і передають на головний комп'ютер медпункту організації. Отримана інформація аналізується штучним інтелектом системи. При цьому навчений ШІ використовує знання про можливі допустимі відхилення в параметрах кожного водія і на основі отриманих даних робить висновок: в якому фізичному стані знаходиться водій в даний період часу. За всім цим процесом спостерігає медперсонал медпункту і приймає остаточне рішення чи стан здоров'я водія є в нормі і він може продовжувати роботу.

Частоту та періодичність опитування параметрів встановлюють спеціалісти (медпрацівники) підприємства. Основні параметри, отримані на протязі робочого дня фіксуються на комп'ютері в медпункті і в стислій формі

поступають у відповідний хмарний сервіс на зберігання. Максимальний час зберігання при цьому встановлюють на транспортному підприємстві, якщо це не задано існуючими інструкціями чи положеннями.

3.2.1 Побудова та навчання нейромережі

Розглянемо загальні принципи побудови нейронних мереж. У розділі 1.3 даної пояснювальної записки було наведено структуру штучного нейрона (рис. 1.1, б), котру можна представити наступним чином (рисунок 3.3). Детально про цю структуру та принцип її функціонування наведено в літературі, наприклад, [1].

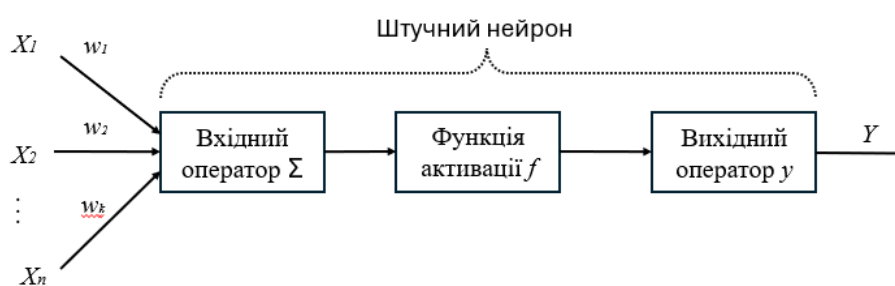


Рисунок 3.3 – Структура штучного нейрона

Наведемо логічну схему штучного нейрона (рисунок 3.4).

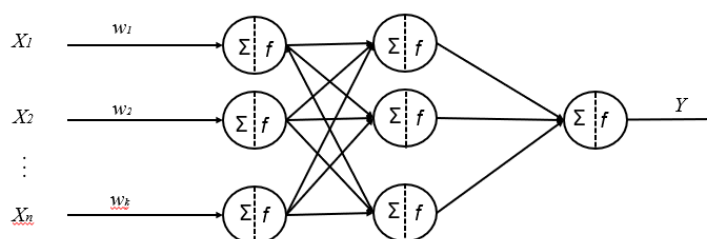


Рисунок 3.4 – Логічна схема штучного нейрона

Нейронні мережі, в принципі, будуються з простих будівельних блоків, де найпоширеніший тип будівельних блоків є штучний нейрон. Розглянемо деякі складові штучного нейрона, наведені на рисунку 3.3. Вихідний сигнал має

вид функції $y=f(Ax+b)$, де x — вхідний вектор, матриця A і вектор b — константи, f — нелінійна функція, (наприклад, поелементна сигмоїда), а y — вихід. Це називають *шаром*. Ці шари можуть бути складені один за одним, щоб, наприклад, вийшла тришарова мережа, як це показано на рисунку 3.4.

Відмітимо, що в проєктованій VAN-системі ми пропонуємо використовувати просту нейромережу (наприклад, тришарову) оскільки завданням для неї буде вирішення проблеми *класифікації*. Тобто отримавши поточні параметри, що описують стан здоров'я водія система повинна оцінити стан водія: чи він *здатний*, чи *не здатний* безпечно виконувати функції водія. Ця оціночна характеристика надсилається спеціалісту-медику транспортного підприємства для остаточного висновку.

Головним при навчанні нейромережі є навчити її здатності враховувати можливі допустимі відхилення показників здоров'я кожного конкретного водія, котрий в даний момент знаходиться на рейсі. Кінцевою ціллю є періодичне зняття цих показників із натільних датчиків VAN-системи і констатація факту працездатності чи непрацездатності водія.

Навчання нейронної мережі — це процес навчання нейронної мережі виконувати завдання. Нейронні мережі навчаються, спочатку обробляючи кілька великих наборів позначених або не позначених даних. Використовуючи ці приклади, вони можуть точніше обробляти невідомі вхідні дані.

Розглянемо типи та види навчання нейромережі.

Контрольоване навчання.

У контрольованому навчанні дослідники даних надають штучним нейромережам набори даних, які заздалегідь дають правильну відповідь. Наприклад, мережа глибокого навчання розпізнаванню явищ спочатку обробляє сотні тисяч параметрів із різними термінами, пов'язаними з описом цього явища.

Нейромережа повільно створює знання з цих наборів даних, які заздалегідь дають правильну відповідь. Після навчання мережа починає,

наприклад, робити припущення щодо етнічного походження або емоцій нового зображення людського обличчя, яке вона ніколи раніше не обробляла.

Глибинне навчання.

Штучний інтелект — це галузь інформатики, яка досліджує методи надання машинам здатності виконувати завдання, які потребують людського інтелекту. Машинне навчання — це техніка штучного інтелекту, яка надає комп'ютерам доступ до дуже великих наборів даних і вчить їх навчатися на цих даних. Програмне забезпечення машинного навчання знаходить шаблони в існуючих даних і застосовує ці шаблони до нових даних для прийняття розумних рішень. Глибоке навчання — це підмножина машинного навчання, яке використовує мережі глибокого навчання для обробки даних.

Традиційні методи машинного навчання потребують участі людини, щоб ПЗ машинного навчання працювало достатньо добре. Спеціаліст із даних вручну визначає набір відповідних функцій, які програмне забезпечення має аналізувати. Це обмежує можливості ПЗ, що робить його створення та керування втомливим.

З іншого боку, при глибокому навчанні фахівець з даних надає програмному забезпеченню лише необроблені дані. Мережа глибокого навчання сама отримує функції та навчається більш незалежно. Він може аналізувати неструктуровані набори даних, такі як текстові документи, визначати, яким атрибутам даних слід віддати пріоритет, і вирішувати складніші проблеми.

Наприклад, якщо ми тренуємо програмне забезпечення для машинного навчання правильно ідентифікувати певні явища нам потрібно виконати такі дії:

- Знайти і позначити вручну багато прикладів.
- Повідомити ПЗ машинного навчання які функції шукати, щоб воно могло ідентифікувати явище за допомогою елімінації. Наприклад, він може підрахувати кількість параметрів явища, потім перевірити інші параметри тощо.

- Вручну оцінити та змінювати позначені набори даних, щоб підвищити точність ПЗ.

Однак у процесі глибокого навчання нейронні мережі оброблятимуть усі надані параметри й автоматично визначатимуть, що їм потрібно спочатку проаналізувати ті чи інші параметри, а потім перейти до інших так далі, щоб правильно ідентифікувати явище.

Зробимо підсумок і коротко характеризуємо види навчання нейромереж.

1. Кероване навчання (Supervised Learning)

Особливість цього навчання в тому, що мережа навчається на даних із мітками (labels). Кожен вхідний приклад має відповідний очікуваний вихід. Метою є навчити модель прогнозувати вихід на основі вхідних даних. При цьому дані подаються у форматі "вхід-вихід" (наприклад, зображення та категорія об'єкта на ньому). Під час навчання мережа мінімізує різницю між прогнозованим і правильним виходом (використовуються функції втрат, такі як MSE чи крос-ентропія). Прикладами таких задач є:

- Класифікація (наприклад, розпізнавання зображень чи явищ);
- Регресія (прогнозування на основі історичних даних);
- Сегментація зображень.

Перевагами керованого навчання є висока точність за умови наявності якісних і великих датасетів та простота реалізації для задач із відомими цілями.

Вякості недоліків відмітимо, що метод потребує великого обсягу мічених даних, міткування даних може бути дорогим і трудомістким.

2. Некероване навчання (Unsupervised Learning)

Особливістю є те, що дані не мають міток. Модель вивчає структуру даних, знаходить схожості та відмінності між прикладами. Метою такого навчання є знайти приховані закономірності або структуру в даних. Алгоритми шукають кластери, закономірності або виявляють аномалії в даних. Приклади задач: кластеризація (наприклад, групування об'єктів за загальними

признаками); зниження розмірності (наприклад, для стиснення даних); пошук аномалій (виявлення збоїв в транзакціях).

Переваги некерованого навчання: не потребує міток, що робить процес підготовки даних дешевшим; може обробляти великі обсяги неструктурованих даних. В якості недоліків називають таке: важко оцінити якість навчання (немає явного "правильного" результату); моделі можуть виявляти незначущі закономірності.

3. Навчання з підкріпленням (*Reinforcement Learning*).

Модель (агент) навчається шляхом взаємодії з середовищем. Агент отримує винагороду за правильні дії та штраф за помилки. Метою такого виду навчання є максимізація довгострокової винагороди.

Процес навчання з підкріпленням можна описати кількома реченнями.

1) Агент сприймає стан середовища. 2) Виконує дію (вихідний сигнал). 3) Отримує винагороду (або штраф) від середовища. 4) Мережа оновлює стратегію на основі результатів.

Приклади таких задач: робототехніка (оптимізація рухів робота); гра в шахи, го, відеоігри; оптимізація маршруту доставки.

Достоїнствами цього методу є ефективність для рішення задач із відсутністю повних даних або чітких рішень. До того ж цей метод добре працює в динамічних середовищах. Але при цьому метод може бути повільним через необхідність багатьох ітерацій. До того ж є високий ризик вивчення неефективних стратегій, якщо система не оптимізована.

4. Напівкероване навчання (*Semi-Supervised Learning*).

Цей метод поєднує кероване та некероване навчання. Частина даних мічена, а частина — ні. Цей тип навчання використовують для класифікації тексту чи зображень із мінімальною кількістю міток, для аналізу медичних зображень. Метод є ефективним для вирішення задач із недостатньою кількістю мічених даних. При цьому цей метод знижує вартість підготовки даних. Проте, відмічають складність налаштування цього типу навчання. До того ж він може бути менш точним, ніж повністю кероване навчання.

5. *Навчання через перенесення знань (Transfer Learning).*

Цей метод використовує заздалегідь натреновану модель для вирішення нової задачі. Метою метода є скорочення часу і обчислювальні ресурси для навчання.

Береться модель, натренована на великому наборі даних. Перевагою методу є те, що він значно скорочує час навчання. До того ж він підходить для задач із малими наборами даних.

В якості недоліку методу відмічають його залежність від попередньої моделі. А також можливі проблеми з узагальненням.

6. *Машинне навчання без участі людини (Self-Supervised Learning).*

Метод автоматично генерує мітки на основі властивостей даних.

Метою метода є намагання створити самодостатню модель для навчання на великих наборах даних без ручного міткування.

Перевагою методу є масштабованість для великих датасетів із зниження витрати на міткування. Хоча метод може бути менш ефективним на специфічних задачах.

В якості висновку відмітимо, що тип навчання залежить від поставленої задачі: якщо є багато мічених даних — використовується *кероване навчання*. Якщо дані немічені — підходить *некероване навчання*. Для адаптивних задач із динамічним середовищем оптимальне навчання з підкріпленням. У випадках браку мічених даних ефективні *напівкероване навчання* чи перенесення знань. Комбінування методів часто дозволяє досягти найкращих результатів.

У нашому випадку розробленої VAN-системи доцільним є використання *керованого навчання* оскільки кожен вхідний випадок має відповідний очікуваний вихід. Тобто метою є навчити модель прогнозувати вихід на основі вхідних даних.

3.2.2 Стандарт BANIEEE 802.15.6

Стандарт IEEE 802.15.6 визначає BAN як «комунікаційний стандарт, оптимізований для малопотужних пристроїв, які працюють на людському тілі, усередині чи навколо нього для різноманітних застосувань» [7].

Комунікаційну архітектуру мережі BAN можна розбити на три рівні.

- Перший рівень представляє комунікації всередині BAN.
- Другий рівень представляє комунікації Inter-BAN.
- Третій рівень представляє комунікації без BAN. Тут надається послуга. У сфері охорони здоров'я цей рівень представляє телемедичну послугу лікарні.

Згідно стандарту IEEE 802.15.6 узагальнену структуру датчика BAN представлено на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 - Узагальнена структура датчика BAN

Сімейство стандартів IEEE 1451 має на меті забезпечити доступ до даних через загальний набір інтерфейсів незалежно від того, підключено датчики до систем чи мереж через дротові чи бездротові засоби. Роль датчиків тіла полягає в зборі аналогових сигналів, які відповідають фізіологічній діяльності людини або діям тіла. Цей аналоговий сигнал потім оцифровується. Цифровий сигнал передається радіоприймачем. Датчики складаються з кількох

елементів: самої сенсорної частини, аналого-цифрового перетворювача (АЦП), блоку живлення, процесора, пам'яті та передавача (або приймача).

Приблизний неповний перелік датчиків для використання в розроблюваній WAN-мережі наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1- Типові датчики WAN

| Тип датчика | Використання |
|--------------------|--|
| Акселерометр | Використовується для розпізнавання та моніторингу положення тіла. |
| Глікемія | Для вимірювання рівня цукру в крові. WAN використовує неінвазивну систему моніторингу рівня глюкози в крові з використанням інфрачервоної технології та оптичного виявлення. |
| Кров'яний тиск | Датчик артеріального тиску – це неінвазивний датчик, призначений для вимірювання діастолічного та систолічного тиску за допомогою осцилометричного методу, або шляхом вимірювання часу перебування пульсу. |
| Оксиметр | Вимірює насичення киснем за допомогою неінвазивного зонда. Затискач із датчиком прикріплюється до пальця руки, мочки вуха або ноги людини. |
| Датчик температури | Використовується для вимірювання температури тіла. |
| Пульсометр | Використовується для вимірювання частоти пульсу у пацієнта (водія). |

Наведений в таблиці перелік є приблизним, він також не є повним. Для уточнення типу і кількості датчиків потрібні консультації з кваліфікованими медпрацівниками-експертами з реальних транспортних організацій.

На рисунку 4.6 наведено найпоширеніші та найпопулярніші датчики, які використовують у наш час різних сенсорних мережах.

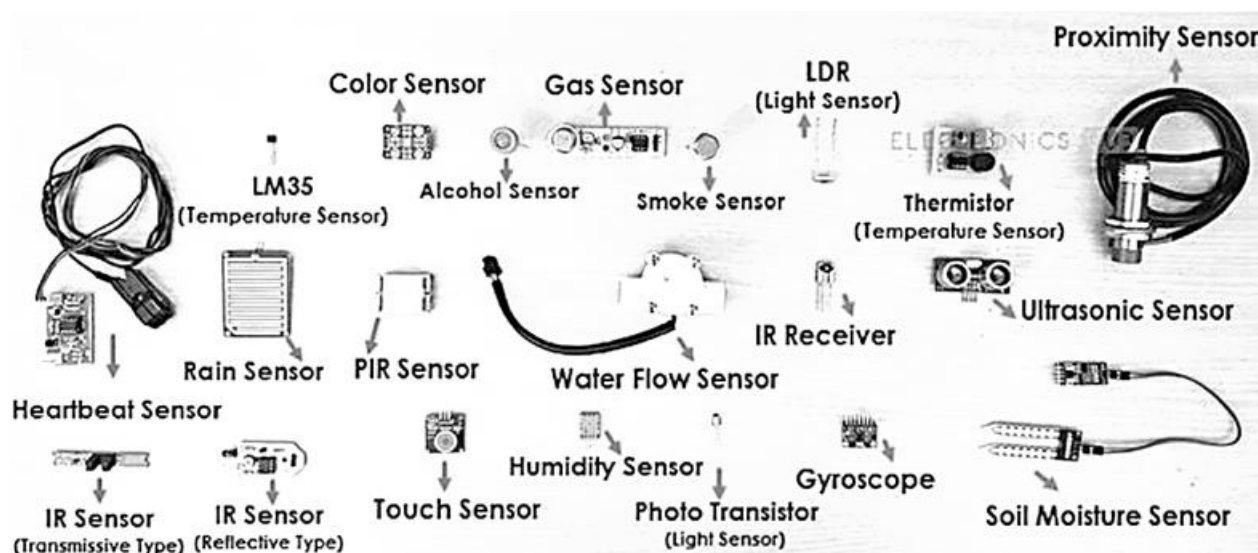


Рисунок 3.6 – Найпоширеніші датчики сенсорних мереж

Однією з характерних рис сучасної натільної мережі (BAN) є бездротова комунікація по тілу людини (КПТ) [12]. Цей тип комунікації є альтернативою для обміну інформацією в BAN за допомогою радіохвиль.

Наведемо деякі особливості цієї технології, яка сприяє тому, що завдяки КПТ енергія передаваної інформації не розсіюється у навколишньому середовищі. Тобто завдяки цьому потужність споживання системи буде меншою (< 1 мВт) при швидкості передачі даних > 100 кб/с. При цьому датчики на тілі створюють навколо тіла людини бездротову мережу.

Основними перевагами КПТ є: компактність, висока енергоефективність завдяки низькому згасанню сигналів тощо. До того підкреслимо, що ж відсутність антен у сенсорів теж сприяє широкому застосуванню технології. У

джерелі [12] описано експериментальне підтвердження наведених вище переваг технології КПТ по відношенню до радіочастотної передачі інформації.

У наведеному вище експерименті були виконано такі умови:

- учасники експерименту – три особи, одна жінка (вага 50 кг, зріст 150 см), два чоловіки (середня вага 78 кг, зріст 175 см);
- максимальна потужність сигналу передачі становить 37 дБ·м (= 5 Вт);
- діапазон розгортки частот сигналу (300 кГц - 200 МГц з імпедансом ВМА – 50 Ом);
- електроди приймача були прикріплені до лівого передпліччя дослідника, електроди передавача - на лівому плечі. Відстань між центрами електродів 15 см.

На рисунку 3.7 показано розташування датчиків на руці піддослідного.



Рисунок 3.7 - Розташування датчиків на руці піддослідного [12]

За результатами експерименту було отримано реальні графіки, що характеризують залежності різних параметрів. В даній пояснювальній записці ми не будемо наводити конкретні графіки. Наведемо коротко висновки зроблені автором, що наведено в роботі [12]. А саме було встановлено вплив кутів суглоба руки при її згинанні на розсіювання отриманого сигналу. Також було здійснено вимірювання згасання сигналу при проходженні по тілу через суглоби. При цьому виявилось, що цей вплив не є суттєвим.

Отже, вибір виду передачі сигналів в ВАН-системі (КПТ чи радіочастотна передача) цілком залежить від конкретних вимог до особливостей експлуатації робочого місця водія, від доступу до умов постачання та вибору елементів системи (типу та ціни датчиків), виду та типу спецодягу водія, тощо.

4 ПЕРЕВІРКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ БЕЗДРОТОВОЇ СЕНСОРНОЇ НАТІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

4.1 Порівняльний аналіз засобів імітаційного моделювання мереж

Використання методів імітаційного моделювання подій в бездротових сенсорних мережах, створених на базі стандарту IEEE 802.15.4-2006 найбільшого поширення набули такі середовища, як OPNET Modeler; NS-2 (Network Simulator Version 2); Castalia, PacketTracer тощо. Розглянемо деякі особливості цих середовищ.

1) OPNET Modeler (Optimized Network Engineering Tools).

Версія OPNET Modeler надає можливість моделювати бездротові сенсорні мережі з використанням вузлів ZigBee. При цьому вихідний код моделі мережевого рівня і рівня додатків приховано від користувачів. Доступним є тільки код моделі нижнього рівня 802.15.4. Також існує модель вузлів-сенсорів з відкритим вихідним кодом, що відповідає стандарту IEEE 802.15.4.

У подальшому ця система вийшла під назвою Riverbed Modeler.

Riverbed Modeler Academic Edition, яка розповсюджувалася розробниками вільно (безкоштовно) для використання у освітніх закладах (університетах) але останнього часу таку практику, нажаль, закінчено.

2) NS-2.

Це - об'єктно-орієнтоване середовище імітаційного моделювання дискретних подій і станів з відкритим вихідним кодом, яке розроблено в рамках проєкту VINT. Середовище моделювання написано на C++ і TCL. NS-2 використовує TCL для генерації сценаріїв - це дає змогу генерувати комплексні сценарії за допомогою скриптів.

Спочатку NS-2 підтримував моделювання тільки статичних комп'ютерних мереж TCP/IP. Однак зараз мобільні вузли також підтримуються, що дає змогу моделювати мобільні мережі ad-hoc. Підтримуються протоколи

маршрутизації ad-hoc AODV, DSDV, DSR і TORA, але вони потребують доопрацювання для коректної роботи з мобільними вузлами.

Також для NS-2 існує модель, що реалізує стандарт IEEE 802.15.4. Слід згадати, що в перших версіях моделі було реалізовано базові функції мережевого рівня ZigBee, але пізніше їх було виключено із загального доступу, оскільки вони не повною мірою відповідали цьому стандарту. У зв'язку з цим на поточний момент можна використовувати тільки існуючі в NS-2 протоколи маршрутизації, які не до кінця враховують особливості БСМ.

3) Castalia.

Це - симулятор мереж із низьким енергоспоживанням (наприклад, IoT-мережі). Особливістю цього симулятора є те, що команда розробників ставила перед собою завдання реалізувати моделі не тільки рівнів передачі даних, а й змодельовати фізичні процеси, дані про які збирають у вузлах. У результаті виходить, що бездротові сенсори пов'язані між собою не тільки бездротовими каналами зв'язку, а й фізичним процесом, параметри якого вони вимірюють.

Окрім перелічених вище можна назвати ще й інші системи моделювання бездротових сенсорних мереж. Треба зауважити, що деякі створені раніше системи моделювання класичних дротових мереж зараз модифіковано з метою введення в їх бібліотеки сенсорних модулів, наприклад, модулів ZigBee. Прикладом цьому є система PacketTracer.

4) PacketTracer

PacketTracer є симулятор мережі передачі даних, що випускається фірмою CiscoSystems. За допомогою цього симулятора можна будувати моделі мереж передавання даних, вивчати налаштування та принципи функціонування мережевого обладнання виробника, проводити діагностику працездатності модельованої мережі.

4.2 Моделювання натільної сенсорної мережі

Для того, щоб впевнитися у працездатності створеної бездротової VAN-мережі проведемо її симуляцію за допомогою симулятора Riverbed Modeler Academic Edition, що надає віртуальне середовище для моделювання, аналізу та прогнозування продуктивності IT-інфраструктури, включаючи програми, сервери та мережеві технології. Також може бути використано як режим візуалізації, користувач може відстежити переміщення даних мережею, появу і зміну параметрів IP-пакетів під час проходження даних через мережеві пристрої, швидкість і шляхи переміщення IP-пакетів. Аналіз подій, що відбуваються в мережі, дає змогу зрозуміти механізм її роботи і виявити несправності.

Всі ці можливості надають змогу перевірити правильність функціонування розробленої структури та впевнитися у її працездатності. Також можна візуалізувати проходження інформації по лініях VAN-мережі.

OPNET Modeler підтримує 4 технології моделювання:

- Дискретно-подієве (Discrete Event Simulation, DES).
- Аналіз потоків (Flow Analysis) як правило, використовується для вивчення питань маршрутизації та досяжності у стаціонарному стані та при виході з ладу елементів мережі.
- Швидкий прогноз за допомогою ACE (ACE Quick Predict)
- Гібридне (Hybrid) simulation поєднує аналітичне моделювання для фонового конкуруючого трафіку (background traffic) та докладне DES – для досліджуваного трафіку.

Моделювання в середовищі OPNET будується на створенні проекту та сценаріїв: проект – набір сценаріїв, що стосуються досліджуваного питання, у кожному з яких розглядається певний окремий аспект функціонування мережі; у кожному проекті є щонайменше 1 сценарій; сценарій – імітаційна модель мережі зі своєю конфігурацією.

У меню Topology Deploy Wireless Network можна побудувати модель бездротової мережі як це наведено на прикладі рисунку 4.1.



Рисунок 4.1- Модель бездротової мережі

Оскільки розроблену VAN-мережу побудовано на основі стандарту IEEE 802.15.6 в основу якого покладено базовий стандарт, котрий використано також і в ZigBee мережах, а в симуляторі Riverbed Modeler Academic Edition у бібліотеку бездротових елементів включено саме ці елементи при моделюванні всі сенсорні елементи VAN-мережі позначимо як ZigBee-елементи. Отже результат моделювання розробленої VAN-мережі (див. рисунок 3.1) показано на рисунку 4.2.

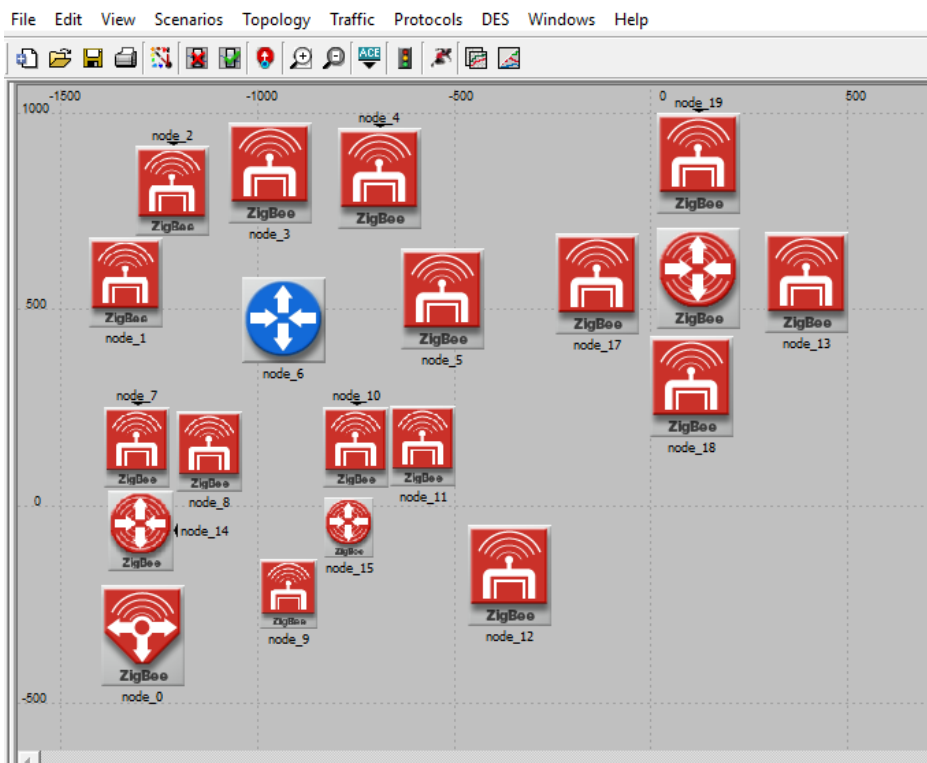


Рисунок 4.2 - Результат моделювання VAN-мережі на симуляторі Riverbed Modeler Academic Edition

Запуск симуляції обладнання було зроблено в моделюючій системі. .
Графік завантаження та затримки для розробленої мережі наведено на рисунку 4.3.

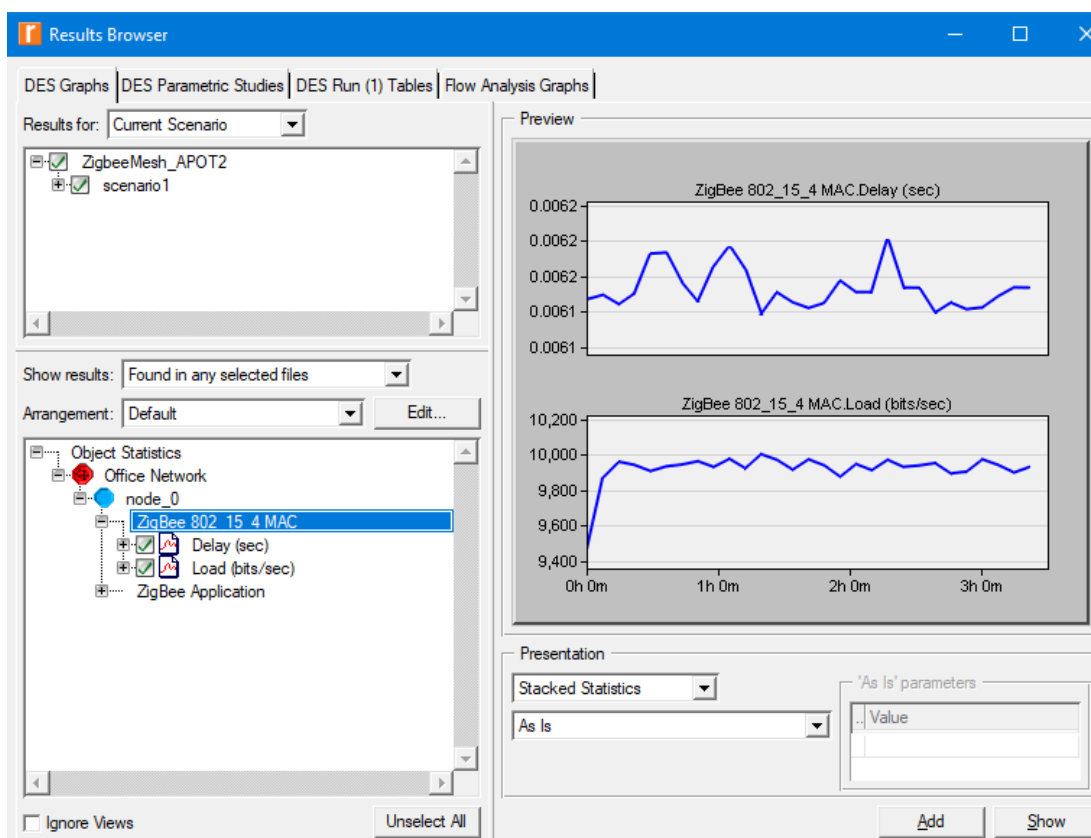


Рисунок 4.3 - Графік загрузки та затримки

Рисунки, наведені на рис. 4.2 та 4.3, свідчать про те, що створена VAN-мережа реалізована правильно є працездатною і може бути застосована в системі в якості робочого місця водія транспортного засобу.

4.3 Нові підходи до створення VAN

Сьогодні пристрої VAN використовують тепло тіла, механічний рух або сонячну енергію для живлення пристрою. Це усуває потребу в регулярній заміні батарей живлення.

Також розробляються мікросхеми з мінімальним енергоспоживанням, які збільшують автономність мережі та використовують бездротові протоколи нового покоління.

Все частіше використовують інтелектуальні алгоритми обробки даних, тобто штучний інтелект (ШІ). При цьому реалізують аналіз даних від сенсорів у реальному часі для прогнозування стану здоров'я.

Ще одним перспективним напрямком вдосконалення сучасних VAN є розподілена обробка коли обчислення виконуються на пристроях користувача для зменшення залежності від хмарних сервісів, тобто використовують технологію EDJ.

Для покращення комфорту та дизайну використання VAN-пристроїв зараз використовують носимі пристрої. Відмітимо вдосконалений дизайн сенсорів (гнучкі пластини, текстильні датчики), які легко інтегруються в одяг або кріпляться до шкіри. Мініатюризація пристроїв робить їх практично непомітними для користувачів.

ВИСНОВКИ

Розроблена структура VAN-мережі дозволяє ефективно відслідковувати показники здоров'я водія громадського транспорту у віддаленому режимі, що підвищує рівень профілактики та своєчасного медичного втручання в муніципальній транспортній системі «Розумне місто».

В роботі було розглянуто різноманітні проблеми, пов'язані з технологією WBAN. Було наведено перелік важливих проблем та викликів: потреба в роботі з надзвичайно низьким енергоспоживанням, легка вага, уникнення носимих датчиків, забезпечення безпеки та конфіденційності, надійна передача життєво важливих даних пацієнта, невідкладна медична допомога, підключення в режимі реального часу через гетерогенні мережі низька складність, стандартизація, сумісність, низька вартість і краща якість обслуговування.

Типова WBAN складається з кількох сенсорних вузлів із низьким обмеженням потужності, кожен з яких отримує певний фізіологічний параметр від тіла. Ці вузли діють як міст між пацієнтом і технологічними пристроями. Завдяки цьому можна легко зафіксувати важливі аспекти стану здоров'я водія муніципального транспортного засобу, а за допомогою сенсорних вузлів також можливо раннє виявлення аномалій. Реакція на ці дані повинна підвищити якість та надійність транспортної системи.

Ефективна WBAN вимагає датчиків із такими властивостями: портативність, легкість, низьке енергоспоживання, а також мініатюрні та автономні сенсорні вузли, які контролюють програми, пов'язані із оперативним контролем за водієм на транспорті. Досягнення в технологіях бездротового зв'язку, таких як переносні та імплантовані біосенсори, разом із останніми розробками у сфері вбудованих комп'ютерів дозволяють проектувати, розробляти та впроваджувати мережі на тілі.

Цей клас мереж прокладає шлях для розгортання інноваційних програм моніторингу охорони здоров'я з метою підвищення якості обслуговування в

системі «Розумний транспорт». За останні кілька років велика частина досліджень у сфері телемереж була зосереджена на питаннях, пов'язаних із конструкціями бездротових датчиків, мініатюризацією датчиків, схемами датчиків малої потужності, обробкою сигналів і протоколами зв'язку. Всі ці питання є перспективними і можуть бути основою для подальшого вдосконалення розробленої системи WBAN.

Таким чином, розроблена VAN-система головною частиною якої є індивідуальне робоче місто водія громадського транспорту значною мірою гарантує підвищення безпеки функціонування громадського транспорту як важливої складової системи «Розумне Місто».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. О. Г Руденко, Є.В. Бодянський. Штучні нейронні мережі / «Компанія СМІТ» Харків 2006. 398 с.
2. S. Ullah et al., “A comprehensive survey of wireless body area networks on PHY, MAC, and network layers solutions,” *JOURNAL OF MEDICAL SYSTEMS*, vol. 36, no. 3, pp. 1065–1094, 2012.
3. Геллер, Т., Девід, Ю.Б., Хмельницький, Е., Бен-Гал, І., Уорд, А., Міллер, Д., і Бамбос, Н. (2019, травень). "Вивчення ймовірностей зміни стану здоров'я за допомогою бездротових мереж тіла"(PDF). У *ICC 2019-2019 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, стор. 1-6. IEEE. 2019. *Архів оригіналу*(PDF) 4 лютого 2020.
4. Matsiuk O. Telecommunication Infrastructures for Telemedicine in Cities/ Volodymyr Pasichnyk, Nataliia Kunanets, Serhii Martsenko, Oleksandr Matsiuk, Olesia Mytnyk, Oleksii Duda, Pawel Falat // CEUR-WS. IDMM-2018. Vol. 2255. P. 256–266.
5. Мацюк О.В. Інформаційні технології в проєктах класу "Розумне місто" // Дуда О.М., Кунанець Н.Е., Мацюк О.В., Пасічник В.В./ Інформаційні технології та взаємодії: тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції. - 8-10 листопада 2016 р., Київ. - С. 168-169.
6. Мацюк О.В. Архітектура інформаційно-технологічної платформи проєктів класу «Розумне місто» // Дуда О.М., Кунанець Н.Е., Мацюк О.В., Пасічник В.В./ Управління проєктами : стан та перспективи: матеріали XIII міжнародної науково-практичної конференції, 12-15 вересня 2017, Миколаїв.- Миколаїв, 2017.-С.30-32.
7. Reichman A. Body area networks: Applications, architectures and challenges. In: Dössel O, editor; Schlegel WC, editor. IFMBE Proceedings. World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering; New York: Springer; 2009. pp. 40–43.

8. Chen M. Gonzalez S. Vasilakos A. Cao H. Leung V. Body area networks: A survey. *Mobile Netw Applications*. 2011;16:171–193.
9. Ramli SN. Ahmad R. Surveying the wireless body area network in the realm of wireless communication. *7th International Conference on Information Assurance and Security*; Piscataway, NJ: IEEE; 2011. pp. 58–61. [Google Scholar]
10. Oleshchuk V. Fensli R. Remote patient monitoring within a future 5G infrastructure. *Wireless Pers Communications*. 2011;57:431–439.
11. Бараках Д.М. Ахмад-Уддін М. Огляд проблем і застосувань бездротової телемережі (WBAN) і роль сервера віртуального лікаря в існуючій архітектурі. 3-я міжнародна конференція з моделювання та імітації інтелектуальних систем; Піскатавей, Нью-Джерсі: IEEE; 2012. С. 214–219.
12. Черватюк А.В. Натільні комп'ютерні мережі. КПІ, 2019. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/38d452cc-8467-473c-82f6-68e960d3f3d9/content>. (дата звернення: 14.01.2025).