

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Навчально-науковий інститут телекомунікації

Кафедра системного аналізу

Пояснювальна записка

до бакалаврської роботи

на ступінь вищої освіти бакалавр

на тему: «Розробка інформаційної системи аналізу стану пацієнта з використанням відкритих метеоданих та даних з його медичного браслета»

Виконав: студент 4 курсу, групи САД-41,
спеціальності

124 Системний аналіз

(шифр і назва спеціальності)

Гук Б. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Резник С. Ю.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Київ – 2023

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Навчально-науковий інститут Телекомунікацій

Кафедра _____ Системного аналізу _____

Ступінь вищої освіти _____ «Бакалавр» _____

Спеціальність _____ 124 Системний аналіз _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Системного аналізу

Гордієнко Т.Б.
(ПІБ)

Дата: _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Гуку Богдану Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка інформаційної системи аналізу стану пацієнта з використанням відкритих метеоданих та даних з його медичного браслета

Керівник роботи Резник С. Ю.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ 2023 року № _____.

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вхідні дані до роботи:

Література з питань розробки інформаційної системи;

Інструменти розробки мобільних додатків, опис інформаційної системи аналізу стану пацієнта;

Аналіз найбільш вагомих агентів інформаційної системи та вихідного програмного забезпечення;

Науково-технічна література з питань, пов'язаних з реалізацією інформаційної системи аналізу стану пацієнта.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити).

1. Бібліографічний пошук та відбір наукової літератури щодо інструментів розробки інформаційних систем;
 2. Огляд пристроїв для моніторингу та оцінки стану здоров'я людини;
 3. Аналіз та оцінка існуючих технологій зв'язку, що використовуються у пристроях медичного призначення;
 4. Аналітична оцінка датчиків і мобільних додатків для створення систем моніторингу стану навколишнього середовища;
 5. Визначення завдань для виконання розробки інформаційної системи аналізу стану пацієнта з використанням відкритих метеоданих та даних з його медичного браслета.
5. Перелік графічного матеріалу

1) _____

2) _____

3) Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір і обробка наукової літератури щодо інструментів розробки інформаційних систем	До 04.04	
2	Робота над теоретичним розділом	До 04.04	
3	Робота над дослідницько-аналітичним розділом	04.04-25.04	
4	Робота над розділом реалізації системи	25.04-06.05	
5	Розробка і оформлення графічного матеріалу / презентації	06.05-13.05	
6	Оформлення пояснювальної записки. Передзахист	14.05-01.06	
7	Захист роботи	02.06-21.06	
8	Випуск	30.06	

Студент _____
(підпис)

Б. В. Гук
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

С. Ю. Резник
(прізвище та ініціали)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
ПОДАННЯ
ГОЛОВІ ДЕРЖАВНОЇ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ЩОДО ЗАХИСТУ БАКАЛАВРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Направляється студент Гук Б. В. до захисту бакалаврської роботи
(прізвище та ініціали)

за спеціальністю 124 Системний аналіз
(шифр і назва спеціальності)

на тему: «Розробка інформаційної системи аналізу стану пацієнта з використанням відкритих метеоданих та даних з його медичного браслета»

Бакалаврська робота і рецензія додаються.

Директор інституту _____ Кравченко В.І.
(підпис)

Довідка про успішність

Гук Б. В. за період навчання в Навчально-науковому інституті Телекомунікацій
(прізвище та ініціали студента)

з 2019 року до 2023 року повністю виконав навчальний план за спеціальністю з таким розподілом оцінок за:

національною шкалою: відмінно ____%; добре ____%; задовільно ____%;

шкалою ECTS: A ____%; B ____%; C ____%; D ____%; E ____%.

Методист інституту _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Висновок керівника бакалаврської роботи

Студент Гук Богдан Володимирович під час виконання дипломної роботи довів, що має достатній рівень володіння теоретичним та методичним матеріалом, навички у галузі розробки інформаційних систем і впровадження технологій зв'язку. Студент продемонстрував здатність до аналізу та оцінки ефективності існуючих систем, а також запропонував ефективні методи їх використання. Робота була виконана відповідно до поставлених завдань та термінів, до роботи студент відносився з високим заохоченням та відповідальністю. Успішно були виконані поставлені завдання.

Все це дозволяє оцінити виконану бакалаврську роботу студента Гука Б.В. на оцінку «відмінно» та присвоїти йому кваліфікацію Бакалавр з системного аналізу.

Керівник роботи _____ Резник С. Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

_____ 2023 року

Висновок кафедри про бакалаврську роботу

Бакалаврську роботу розглянуто(а). Студент Гук Б. В. допускається до захисту даної роботи в Державній екзаменаційній комісії.
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Системного аналізу _____ Гордієнко Т.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА

на бакалаврську кваліфікаційну роботу

студент **Гук Богдан Володимирович**

на тему: **«Розробка інформаційної системи аналізу стану пацієнта з використанням відкритих метеоданих та даних з його медичного браслета».**

Актуальність:

Представлена дипломна робота має актуальність, тому що присвячена розгляду важливого на даний момент питання розробки інформаційної системи аналізу стану здоров'я пацієнтів з використанням медичного браслета. Значимість вирішення цієї проблеми не викликає сумнівів, так як встановлення важкості захворювання буде сприяти спрощенню роботи медичного персоналу, веденню історії хвороби, автоматизації роботи страхових медичних організацій. Крім того, визначення стану пацієнта, ступеня тяжкості захворювання необхідно для контролю перебігу хвороби, визначення тактики лікування і прогнозу стану пацієнта. Дипломна робота виконана у відповідності до завдання. Матеріал викладено логічно і послідовно. Текст кожного розділу роботи супроводжується рисунками та таблицями, що наочно пояснюють розглянутий матеріал.

До позитивних сторін роботи можна віднести наступне:

1. Автором проаналізовано асортимент існуючих на ринку пристроїв для оцінки стану здоров'я пацієнтів за допомогою мобільних додатків.
2. Спроектовано інформаційну систему для безперервного контролю стану пацієнта та визначено, що найбільш поширеною формою пристроїв для моніторингу стану пацієнта є браслет.
3. Автором здійснено реалізацію проєкту шляхом розробки власного пристрою на базі плати Arduino Nano. Оцінено та описано його перспективи.

Недоліки:

1. В роботі реалізовані поставлені завдання, але це мінімум який потрібен для комплексного аналізу стану пацієнта.
 2. Робота містить незначну кількість стилістичних та синтаксичних помилок.
- Тим не менш, зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку бакалаврської атестаційної роботи.

Висновок: бакалаврська кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «відмінно», а студент Гук Б.В. заслуговує присвоєння кваліфікації Бакалавр з системного аналізу.

Якість бакалаврської роботи	
Виконано на замовлення підприємства	
Виконано за тематикою НДР	
Виконано з макетом	
Виконано з застосуванням ЕОМ та МПТ	+
Має практичну цінність	+
Робота – частина комплексної теми	

Рецензент:

(підпис)

(П.І.Б)

(вчене звання, науковий ступінь, посада)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота містить: 84 сторінки друкованого тексту, 31 рисуноків, 3 таблиць та нараховує 49 джерел використаної інформації.

Ключові слова: інформаційна система, мобільні датчики стану здоров'я пацієнта, метеодані, додаток, Bluetooth Low Energy, Arduino.

Об'єктом дослідження є інформаційна система.

Предмет дослідження є сукупність необхідних умов, що забезпечують найкращий підхід до розробки інформаційної системи аналізу стану пацієнта з використанням медичного браслета.

Мета дослідження. Розробити інформаційну систему аналізу стану пацієнта з використанням відкритих метеоданих та даних з його медичного браслета.

В роботі досліджено сучасний ринок «розумних» медичних пристроїв, який швидко розвивається та з кожним роком стає набагато більшим за обсягом.

Доведено, що у порівнянні з традиційними методами надання лікувально-профілактичних послуг мобільна охорона здоров'я має низку переваг, адже забезпечує зручний доступ до інформації та послуг із застосуванням портативних пристроїв в режимі реального часу.

Описано технології зв'язку, що використовуються у пристроях медичного призначення. Констатовано, що портативні пристрої можуть аналізувати вхідні дані, а також взаємодіяти з користувачем і навколишнім середовищем. Описано необхідні компоненти та проаналізовано вихідне програмне забезпечення. Зроблено порівняння переваг плати Arduino. Дано опис усіх виводів плати та вказано її недоліки і переваги. Наведено порядок роботи створюваної системи. Наведено програмну реалізацію розробки та розглянуто перспективи пристроїв для автоматичної оцінки стану пацієнта.

Практична цінність, для чого це, кому корисно і т.д. одним реченням

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ КОНТРОЛЮ СТАНУ ПАЦІЄНТА	11
1.1 Огляд теоретико-методичних підходів до розробки інформаційних систем аналізу стану пацієнта.....	11
1.2 Мобільні пристрої для аналізу стану пацієнта.....	14
1.3 Функціональність додатків та програмне забезпечення роботи мобільних пристроїв для аналізу стану пацієнта.....	22
2 РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ БЕЗПЕРЕРВНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ ПАЦІЄНТА	26
2.1 Загальний опис інформаційної системи аналізу стану пацієнта.....	26
2.2 Аналіз даних моніторингових пристроїв інформаційної системи.....	29
2.2.1 Мета-агент «пацієнт».....	29
2.2.2 Агенти «Термометр, тонометр, пульсометр, глюкометр, ЕКГ»	29
2.2.3 Агенти «Сатурація» та «Темп руху».....	33
2.2.4 Агенти «Гіроскоп, УФ-випромінювання, калорії, постава».....	35
2.2.5 Мета-агенти «Текстові повідомлення» та «SOS».....	38
2.3 Процес моніторингу та архітектура рівня додатків та інфраструктура ..	39
3 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЄКТУ ТА ЙОГО ПЕРСПЕКТИВИ	44
3.1 Технології зв'язку, що використовуються у пристроях медичного призначення	44
3.2 Вибір та опис складових компонентів інформаційної системи	52
3.3 Програмна реалізація та перспективи пристроїв для автоматичної оцінки стану пацієнта.....	63
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	72
ДОДАТКИ.....	78

ВСТУП

Ринок онлайн-медицини в останні роки стрімко зростає. Передбачається, що технології аналізу відкритих метаданих та даних Інтернету медичних речей (IoMT) зможуть прогнозувати захворювання ще до виникнення явних ознак. Охорона здоров'я є важливою частиною функціонування будь-якої країни. Її ефективність впливає на економічну та соціальну стабільність суспільства. У нашій країні ця сфера державної діяльності потребує удосконалення. Порівняно з розвиненими країнами Заходу, у нас є значні відмінності, особливо у зборі, збереженні та аналізі даних про здоров'я пацієнтів.

Маючи потужний потенціал для охоплення величезних географічних територій медичними послугами та передачі даних у портативному форматі, мобільна охорона здоров'я все більше впроваджується у повсякденне життя людини. Використання різних медичних пристроїв, а також різного роду медичних додатків допомагають активному залученню людей в процес моніторингу фізичної форми і підтримки здорового способу життя.

Актуальність дослідження. Встановлення важкості захворювання з метою спрощення роботи медичного персоналу, ведення історії хвороби, автоматизації роботи страхових медичних організацій, є досить актуальною проблемою. Визначення ступеня тяжкості захворювання необхідно в першу чергу лікарю для відстеження перебігу хвороби, визначення тактики лікування і прогнозу стану пацієнта, крім цього ступінь тяжкості хвороби впливає на визначення суми виплачуваної страховиками компенсації і дозволяє подібним організаціям ефективно вести свою діяльність [5].

Ринок IoMT швидко зростає. Виробники додають все більше функцій до своїх пристроїв, що розкриває перспективи до виробництва багатофункціональних IoMT пристроїв. Такі тренди ускладнюють класифікацію цих пристроїв. Різноманітні функції IoMT девайсів допомагають користувачам здійснювати моніторинг стану свого здоров'я та надсилати дані лікареві. Інтернет Речей дозволяє підключати медичні прилади до Інтернету для

відправки даних на хмарні сервіси. Актуальність прогнозування захворювання ще до виникнення явних ознак або попередження критичних ситуацій для пацієнтів із хронічними захворюваннями дуже важлива, тому дане дослідження присвячене розробці інформаційної системи аналізу стану пацієнта з використанням медичного браслета.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання розробки інформаційної системи аналізу стану пацієнта з використанням відкритих метеоданих та даних з його медичного браслета обговорюються в наукових публікаціях таких науковців, як Melnik A. [30], Лебедев Г. С. [2], Martsenyuk V. [28], Дратований М. В. [1], Cardin O. [9].

Мета дослідження. Розробити інформаційну систему аналізу стану пацієнта з використанням відкритих метеоданих та даних з його медичного браслета.

Для виконання сформульованої мети дослідження, нами були поставлені **наступні завдання:**

- провести огляд теоретико-методичних підходів до розробки інформаційних систем аналізу стану пацієнта;
- систематизувати мобільні пристрої для аналізу стану пацієнта, додатки та програмне забезпечення;
- описати головні етапи розробки інформаційної системи для безперервного контролю стану пацієнта,
- дати загальний опис інформаційної системи аналізу стану пацієнта та охарактеризувати її основні агенти;
- обґрунтувати вибір технологій зв'язку, що використовуються у пристроях медичного призначення;
- провести обґрунтування вибору та опису складових компонентів інформаційної системи аналізу стану пацієнта;
- навести програмну реалізацію створюваної інформаційної системи;
- оцінити перспективи пристроїв для автоматичної оцінки стану пацієнта.

Об'єктом дослідження є інформаційна система.

Предмет дослідження є сукупність необхідних умов, що забезпечують найкращий підхід до розробки інформаційної системи аналізу стану пацієнта з використанням медичного браслета.

Методи дослідження. У процесі дослідження використані методи: порівняння, аналогії, аналізу, синтезу та узагальнення – для розкриття змісту основних понять та термінів, статистичний для розробки таблиць.

Серед використаних загальнонаукових методів: аналіз, дедукція та індукція, за допомогою яких опрацьовувалися інформація та результати, отримані за допомогою інших методів.

Теоретична та практична цінність роботи. Теоретична значимість визначається систематизацією теоретичного матеріалу щодо інструментів розробки інформаційних систем аналізу стану пацієнта з використанням медичного браслета. Практична цінність дослідження полягає в розробці пристрою та інформаційної системи аналізу стану пацієнта з використанням відкритих метеоданих та даних з його медичного браслета. Практична перспектива даної роботи полягає в розробці пристроїв, які дозволять прописувати сценарії взаємодії між пристроями, додатками, сервісами, службами порятунку.

Новизна дослідження. Проведено аналітичну оцінку науково-методичної інформації щодо створення інформаційних систем аналізу стану здоров'я. Проведено систематизацію та адаптацію отриманих результатів в контексті розробки інформаційної системи аналізу стану пацієнта з використанням відкритих метеоданих та даних з його медичного браслета.

Структура роботи. Відповідно до мети і завдань дослідження структура роботи складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Зміст дослідження викладено на 84 сторінках. За час роботи опрацьовано 49 літературних джерел.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ КОНТРОЛЮ СТАНУ ПАЦІЄНТА

1.1 Огляд теоретико-методичних підходів до розробки інформаційних систем аналізу стану пацієнта

В сучасних умовах все більше людей розуміє незворотність глибоких змін, які супроводжують розвиток та вдосконалення інформаційних систем. Це викликає більше інтересу до вивчення та використання програмного забезпечення в області інформаційних технологій, що знову ж таки сприяє розвитку та розширенню сфер використання апаратного та програмного забезпечення. Такі зміни відкривають нові можливості для інформаційних систем медичного спрямування та вимагають вивчення можливості використання апаратного та програмного забезпечення в раніше непристосованих сферах людського життя [14].

Перехід на нові технологічні процеси виробництва зменшує розмір вимірювальних/сигналізуючих пристроїв, що дозволяє вбудовувати їх в системи, для яких розмір є суттєвим фактором. Зростає можливість встановлення кіберфізичних пристроїв із різним функціоналом на тілі людини, наприклад, для контролю та аналізу стану здоров'я.

Американські дослідники Гріспос Г. та Гліссон В.Б. проводили розробку медичних кіберфізичних систем, що зорієнтовані на криміналістику. Ними було запроваджено інтеграцію кібернетичних компонентів у фізичні процеси моніторингу, що дозволило реагувати на зміни параметрів стану пацієнта у реальному часі за допомогою інтернет-протоколів. Це забезпечує можливості прогнозування, самоналаштування та адаптації до змін [20].

Представник Університету Центральної Оклахоми Ян Лу досліджував дієздатність та ефективність кіберфізичних систем, аналізуючи їх метрологічне та програмне забезпечення [26]. Квеват А., Хайнце А. з Франції досліджували концепцію медичних пристроїв як систем моніторингу стану пацієнта [34].

Дін Сяоронг та Чжан Юань-Тін досліджували перспективи техніки для вимірювання артеріального тиску (АТ), що дозволило покращити діагностику та моніторинг гіпертонії та пов'язаних з нею серцево-судинних захворювань, а також максимізувати незалежність та участь пацієнта. Автори аналізували перспективні напрямки розвитку кіберфізичних систем у медицині. Ці пристрої поєднують високу точність та стабільність при розпізнаванні різних аналітів. Описано у інформаційно-аналітичні системи, що можуть бути вбудовані в організм людини для безперервного моніторингу [11].

Індійські інженери-біотехнологи К.Раті, В.Далл та Р.Дхулл розробляли електрохімічні біосенсиори, зосередивши свою увагу на чутливості, межі виявлення, лінійності, часу відгуку та стабільності їх зберігання. Для виготовлення таких біосенсорів вони пропонували використовувати різні носії: мембрани, полімерні матриці - провідні та непровідні, прозорі гелеві матриці, гідрогелеві носії, електроди, надруковані трафаретним способом, та наночастинки [36].

Тамура Т. із Токійського Університету Васеда займався розробкою медичних приладів для моніторингу кровотоку і транспортування речовин у крові. Робота цих пристроїв була вибудована на основі аналізу джерела світла і фотоприймача для вимірювання пропущених і відбитих світлових сигналів. Такий аналіз дозволив впровадити моніторинг частоти пульсу, насичення крові киснем, артеріального тиску та жорсткості кровоносних судин. Натільні датчики є комерційно доступними і актуальними для організації медичної робототехніки майбутнього [44].

Група вчених з Гонконгу, Японії та Данії представила систему медичного фільтру нечітких тривог, яка самостійно приймала рішення про виклик невідкладної екстреної допомоги. Дослідники з Саудівської Аравії С. Хан та М. Алам розробили систему завчасного виявлення інформаційних атак на дані, що передаються з датчиків на центр оброблення інформації, а потім у медичні заклади. Це досягається завдяки використанню машинного навчання для підтримки шаблону виявлення атаки, основне призначення якого – поширення

даних про життєві показники пацієнтів з мінімальною втратою конфіденційності. Коректори Функціонального Стану (КФС) для охорони здоров'я будуть ефективними у поширенні даних у хмарне середовище (Додаток А) [15].

В деяких регіонах існує проблема у тому, що дані для навчання моделі діагностування хвороби зберігаються в різних лікарнях, не забезпечуючи конфіденційність пацієнтів. Саме тому групою китайських вчених С.Лю, Юань Вей та Юаньїн Цю виявлено потенціал для великих перспектив в охороні здоров'я використання гнучких датчиків тиску та деформації, інтегрованих з людським тілом. Вони розглянули стратегії проектування гнучких сенсорів та систематизували нещодавні розробки гнучких датчиків тиску на основі механізму сприйняття, чутливого компонента, еластичної підкладки, чутливості та діапазону калібрувального коефіцієнту і репрезентативні застосування для моніторингу людини [25].

Останні наукові досягнення дослідників із Іраку у галузі електронних датчиків та обробки даних створили передумови для трансформації системи охорони здоров'я з традиційної, що базується на експертному досвіді медичних фахівців, до науково-обґрунтованої системи, що ґрунтується на інформації датчиків медичних кіберфізичних систем. Була розроблена система для реабілітації пацієнтів з використанням можливостей медичних кіберфізичних систем, які акумулюють, обробляють дані фізичного стану пацієнта та моделюють варіанти реабілітаційних програм [31].

Дослідники державного інженерно-технологічного університету Пакистану реалізували систему моніторингу стану людини, відстеження положення тіла в діапазоні, заданому за персоналізованими ознаками, які визначаються за допомогою власних векторів MATLAB та через вбудовані в GPIO алгоритми [37].

Питанням розвитку системи охорони здоров'я через віддалений моніторинг переміщення пацієнтів за допомогою мобільних натільних датчиків присвятили свої дослідження єгипетські вчені С. Мохсен, А. Зекрі, Х. Й. Юссеф

та М. Абуелатта-Ебрагім. Ними було розроблено енергетично самодостатні та безпечні натільні девайси, які дозволяють пацієнтам переміщатися природно. Для живлення натільних датчиків було запропоновано метод збору сонячної енергії. Експериментально побудований датчик дозволяє паралельно вимірювати частоту серцевих скорочень, насичення крові киснем (SpO_2) і температуру тіла. Результати експерименту показали, що натільний мобільний девайс може працювати більше 28 годин без підзарядки акумулятора від мережі. У той час як час заряджання акумулятора від сонячної енергії становило приблизно 2 години [32].

Таким чином, на створенні та застосуванні інформаційно-аналітичних систем та медичних кіберфізичних девайсів сконцентровано увагу вчених та розробників у всьому світу, що підкреслює важливість та актуальність даного питання.

1.2 Мобільні пристрої для аналізу стану пацієнта

Активне застосування інформаційних технологій у галузі охорони здоров'я привело до значних покращень у якості життя людей. Однак у всьому світі, включаючи й Україну, стає все більш актуальною проблема зростаючих витрат із державного бюджету на охорону здоров'я. Тому необхідно застосовувати недорогі та ефективні рішення у галузі охорони здоров'я. Наприклад, використання мобільних девайсів і бездротових технологій зв'язку для удосконалення ефективності системи охорони здоров'я, зокрема завдяки вирішенню питання забезпечення здорового способу життя населення. Використання даних кіберфізичних пристроїв дав поштовх до розвитку мобільної охорони здоров'я (mHealth) [49].

Мобільна охорона здоров'я ґрунтується на використанні різних мобільних пристроїв для діагностики захворювань та оцінки фізичного стану людини. Мобільні кіберфізичні пристрої можуть аналізувати вхідні дані та взаємодіяти з користувачем та навколишнім середовищем (Додаток II). У порівнянні з

традиційними способами надання медичної допомоги амбулаторно або у стаціонарі, мобільна охорона здоров'я забезпечує зручний доступ до інформації та послуг у режимі реального часу.

mHealth надає користувачам можливість оперативно отримувати необхідну допомогу та забезпечує кращу координацію лікування, особливо у віддалених районах. Він також є ключовим фактором у розвитку віддалених медичних послуг та методів зміцнення здоров'я [43]. Наприклад, для діагностики інфекційних захворювань та призначення антибіотиків можна використовувати мобільні пристрої та IDAPI-архітектуру, яка показана на рис. 1.1.

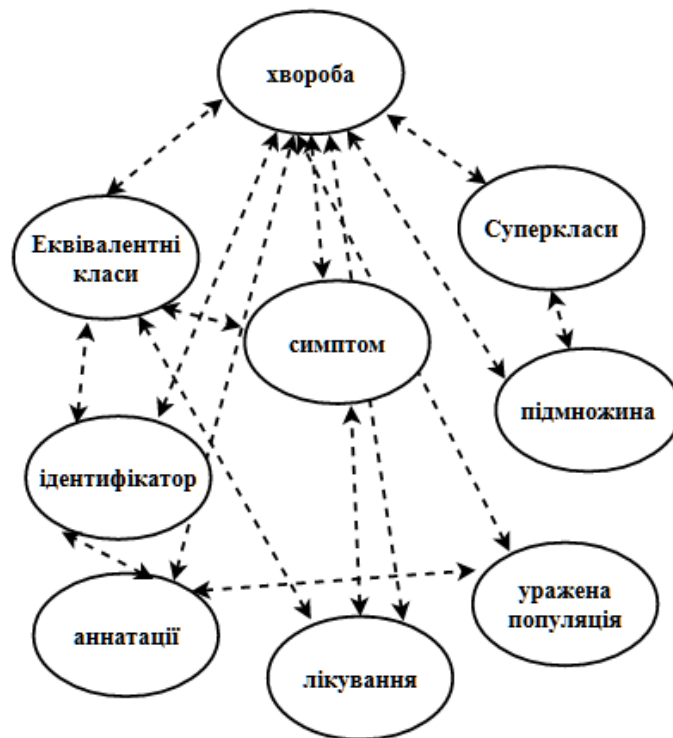


Рисунок 1.1 – Архітектура IDAPI для діагностики стану здоров'я пацієнту та і призначення лікування захворювань

Джерело: Систематизовано автором на основі даних [43, 44]

За останні роки кількість мобільних додатків для підтримки фізичної форми та здоров'я значно зросла. Прогнозується, що до 2024 року серед мобільних додатків для здоров'я будуть переважати пристрої для моніторингу, особливо для самостійного життя осіб літнього віку, управління хронічними

захворюваннями та надання допомоги після гострих станів. Передбачається, що основними послугами на ринку мобільної охорони здоров'я стануть діагностичні послуги та профілактичні заходи для зміцнення здоров'я населення. За допомогою мобільних технологій буде забезпечено більший доступ до безперервної медичної освіти та удосконалення можливостей медичних пристроїв [41].

Можна виділити три основних напрямки mHealth: фітнес, медицина та діагностика, які відрізняються за ступенем впливу на здоров'я людини. Фітнес-напрямок наразі найбільш активно впроваджується у повсякденне життя. Проте, діагностичний напрямок, який об'єднує найкращі аспекти фітнесу та медицини, набирає все більшої популярності та вбачається дуже перспективним у медицині майбутнього.

Пристрої mHealth. Ринок медичних пристроїв швидко зростає та розширює свій асортимент. Виробники розробляють нові пристрої з додатковими функціями, щоб покращити їх якість, що призводить до виробництва багатофункціональних пристроїв. Цей прогрес створює складнощі при віднесенні пристроїв до певних категорій через їх різноманітність та багатофункціональність.

Користуючись пристроями mHealth, людина може відслідковувати свій фізичний стан та відправляти за потреби отримані дані до лікаря. Завдяки все більшому поширенню концепції Інтернету речей, медичні пристрої можуть бути підключені до Інтернету та відправляти дані до хмарних серверів. Розглянемо асортимент мобільних девайсів, що можуть бути використані як пристрої mHealth.

Фітнес-трекер – це компактний переносний гаджет, що дозволяє контролювати фізичну активність людини (рис. 1.2). Його виробляють багато компаній електроніки у всьому світі, таких як Xiaomi (Китай), Samsung (Південна Корея), Sigma (Німеччина), Beurer (Німеччина), Polar (Фінляндія), MiO (Канада) та інші.

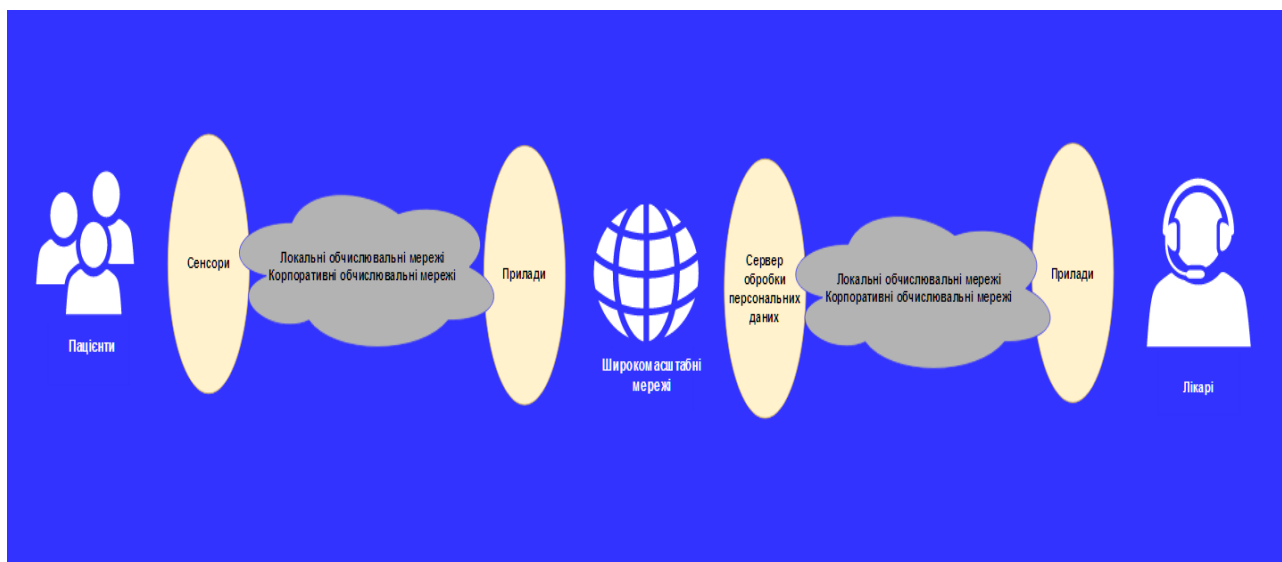


Рисунок 1.2 – Схема моніторингу фізичного стану пацієнта

Джерело: Систематизовано автором на основі даних [14]

Головною ціллю користувача фітнес-трекеру є прагнення дотримуватись здорового способу життя, стимулюючи себе до активності та контролюючи власні навантаження (рис. 1.3). Фітнес-трекер має датчики для вимірювання пульсу, швидкості пересування, кількості калорій, що були витрачені на активність, оцінки важкості стресових ситуацій, визначення якості сну. Інформація передається на смартфон або комп'ютер, де спеціальний додаток дозволяє оцінити активність та зміни стану здоров'я та надавати рекомендації для досягнення мети користувача [40].

Фітнес-трекери зазвичай мають форму браслета, але також зустрічаються моделі у вигляді кліпс, окулярів та навушників. Деякі можуть самостійно розпізнати, коли людина лягла спати, а іншим потрібно повідомити про це натисканням кнопки. Найрозумніші трекери можуть визначити фазу сну (глибокий чи поверхневий сон) та налаштувати будильник на поверхневу фазу для легшого пробудження. До фітнес-трекерів можна віднести Xiaomi Mi Smart Band 6.



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд Xiaomi Mi Smart Band 6

Джерело: Систематизовано автором на основі даних <https://www.mi.com/ua/product/mi-smart-band-6/overview/>

Фітнес-трекер відстежує добову активність, рахуючи кроки, спалені калорії та активні хвилини. Він дозволяє вимірювати дистанцію та переглядати статистику за день або тиждень. Браслет нагадує про важливість руху, сповіщаючи про необхідність зробити 250 кроків кожен годину, щоб залишатися активним протягом дня.

Фітнес-браслет має багато датчиків для відстеження стану людини. Він може контролювати сон, його якість та тривалість, що допомагає виявити розлади та виробити здорові звички. Трекер також вимірює пульс та інші показники, що дозволяє дізнатися не тільки серцевий ритм, але й максимальну кількість кисню під час навантажень. Якщо частота пульсу виходить за допустимі критичні межі, фітнес-браслет попередить про небезпеку. Деякі моделі можуть автоматично викликати швидку допомогу [42].

Розумні годинники. Більшість таких девайсів можуть працювати як із смартфоном, так і самостійно. Часто використовуються операційні системи Android Wear, watchOS та Tizen. Android Wear розроблена Google та використовується в годинниках Movado Connect, Pixel Watch, ZenWatch 3 від Asus, фітнес-годинник Polar M600 і у багатьох інших моделях сучасних виробників електротехніки (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд годинника та отримані показники з допомогою Google Pixel Watch

Джерело: Систематизовано автором на основі даних [19]

Раніше Android Wear працювала тільки з Android-смартфонами, але з 2015 року додано підтримку Apple iPhone. Основні відмінності між годинниками на Android Wear - це ємність батареї, дизайн та розмір екрану. Інтерфейс виглядає однаково у всіх виробників. Tizen OS використовується лише у годинниках Samsung.

Смарт-годинники Apple Watch працюють на ексклюзивній операційній системі WatchOS, яку створила сама компанія Apple і яка не доступна для інших виробників. Ці смарт-годинники можна підключати тільки до iPhone. На відміну від них, смарт-годинники Pebble мають власну операційну систему Pebble, яка дозволяє їм співпрацювати з різними мобільними платформами, такими як Android, Windows і Apple iPhone [39].

Слухові протези. Oticon Opn – це перший у світі слуховий апарат, який може підключатися до Інтернету [4]. Цей продукт від компанії Oticon, одного з лідерів у галузі технологій для людей з вадами слуху, має ряд інноваційних функцій, які полегшують життя користувачам. Окрім того, що пристрій синхронізується з iOS або Android смартфоном для керування звуком, він також може зв'язуватися з іншими пристроями в мережі Інтернету речей, такими як датчики диму, розумні дверні дзвоники або радіоприймачі, щоб користувач не пропустив жодного важливого сигналу. За допомогою Інтернету речей можна також створювати різні сценарії взаємодії між пристроями, наприклад, збирати дані з натільних мереж за допомогою дронів (Додаток Б) [7].

Oticon Opn – це компактний і енергоефективний слуховий апарат, який може підключатися до Інтернету за допомогою системи TwinLink, яка забезпечує стереозвук. Opn використовує сервіс IFTTT, який дозволяє створювати різні дії на комп'ютерах та інших пристроях, пов'язаних з веб-службами. Користувач може налаштовувати свої власні алгоритми відповідно до подій, що відбуваються. Наприклад, коли хтось дзвонить у двері, розумний дверний дзвінок надсилає звукове повідомлення на слуховий апарат. Або коли батарея слухового апарату майже розряджена, можна отримати текстове повідомлення на смартфон або надіслати його родичам. Також можна настроїти слуховий апарат так, щоб при його включенні вранці автоматично вмикалися світло, кавоварка та інша побутова техніка.

Oticon Opn має спеціальний додаток Oticon ON App, який дозволяє керувати програмами, батареєю і гучністю слухового апарату одним пальцем. Програма також має функцію «Знайти мій слуховий апарат», яка допомагає знайти пристрій, якщо він загубився. Oticon Opn сумісний з пристроями на iOS 9.3 або новіше, включаючи Apple Watch [38].

Глюкометри. Для діабетиків стають все більш популярними і зручними пристрої, які безперервно вимірюють рівень глюкози в крові без необхідності проколювати палець при кожному вимірюванні. Одним з лідерів у цій галузі є компанія Dexcom, яка створила свою систему Dexcom G5 Mobile, iHealth Connected Mini Glucometer (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – iHealth Connected Mini Glucometer

Джерело: Систематизовано автором на основі даних [9]

Система складається з маленького датчика, який прикріплюється до тіла людини і вимірює рівень глюкози в крові, а потім бездротовим способом передає дані на смартфон. Ці системи можна представити архітектурою з трьома підходами для оцінки рівнів тяжкості симптомів захворювання або ризиків щодо стану здоров'я пацієнту (рис. 1.6). Завдяки описаним системам користувачу не потрібно мати з собою окремий приймач. G5 Mobile сумісний з Apple Watch, iPhone і пристроями на Android і Android Wear.

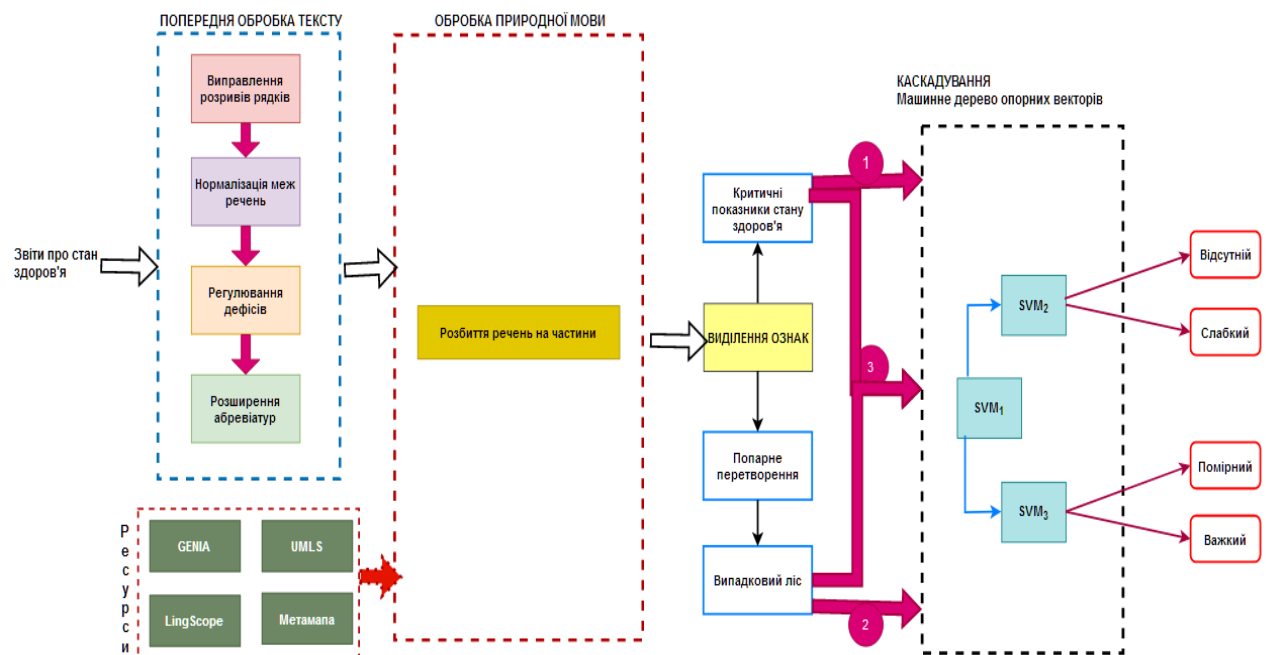


Рисунок 1.6 – Архітектура трьох підходів до визначення рівнів тяжкості симптомів захворювання або ризиків щодо стану здоров'я пацієнту

Джерело: Систематизовано автором на основі даних [8]

Тонometr – це необхідний прилад для попередження і лікування високого артеріального тиску. Раніше тонометри могли зберігати результати попередніх вимірювань і показувати їх у вигляді списків і таблиць. Але тепер є прилади, які можуть синхронізувати дані з додатками і хмарними сервісами для створення зручних звітів для користувача. Автоматичні тонометри бувають двох типів: з манжетою на плече і з манжетою на зап'ясті. Для самостійного вимірювання артеріального тиску найбільш точними є автоматичні осцилометричні апарати з плечовою манжетою [36].

Розумний інгалятор – це інгалятор з вбудованою електронікою, яка пасивно реєструє і бездротовим способом передає дані про застосування ліків. Він має сенсор, який фіксує дату і час вживання ліків. Ці дані зберігаються у пам'яті інгалятора і можуть передаватися на інші пристрої за допомогою Bluetooth [8]. За допомогою спеціальних додатків для кожного інгалятора, пацієнти можуть отримувати зворотний зв'язок через Email або текстові повідомлення, щоб краще розуміти свою хворобу і способи її лікування. Також лікарі можуть визначати пацієнтів, яким потрібна більша допомога для контролю захворювання. Mango Health, Inc., дозволяє записувати ліки та режим їх вживання у додатку, який потім нагадуватиме і фіксуватиме кожне приймання. Програма також попереджає про можливу небезпеку взаємодії з іншими ліками, напоями або їжею, щоб зробити режим приймання ліків найбільш ефективним. Серед компаній, які виробляють такі пристрої, можна назвати 3M, Propeller Health, H&T Presspart і Cohero Health [32].

1.3 Функціональність додатків та програмне забезпечення роботи мобільних пристроїв для аналізу стану пацієнта

Багато виробників додають до своїх пристроїв програми, які можуть отримувати, зберігати і обробляти дані (враховувати прогрес від активності, показувати графіки і тощо) [1]. Додатки від різних виробників мають свої особливості як у дизайні і функціональності, так і у поставлених перед ними цілях, наприклад: Google Fit – це програма для смартфонів і пристроїв на Android Wear. Вона збирає статистику про інтенсивність руху, тривалість активності, кількість кроків і візуалізує всі отримані дані у вигляді графіків та кругових діаграм. Для кращої аналітики програма розпізнає один із тридцяти типів активності, що може виконувати людина.

В Україні найкращими в категорії «Здоров'я & Фітнес» визнано додатки Flo Period Tracker & Calendar, Calorie-counter by Dine4Fit app analytics, EZZY

Game app analytics та Mi Fitness (Xiaomi Wear Lite). Це не просто програми для виміру активності людини, а ціла система для збору та аналізу даних.

Dacadoo. . Найбільш повний навігатор для підтримки здорового способу життя. *Dacadoo* визначає загальний стан здоров'я людини за допомогою індексу здоров'я і допомагає користувачам активно дбати про своє здоров'я і благополуччя, надаючи зрозумілі, прості та цікаві інструменти. Індекс здоров'я – функція, яка в застосунку *Dacadoo* бере до уваги сім складових і на основі наукових даних обчислює середнє число, що показує загальний стан здоров'я користувача. Індекс здоров'я може коливатися в межах від 0 до 1000. Слідкуючи за зміною індексу з часом, користувач може розуміти, як змінюється стан його здоров'я.

Healbe GoBe. Комплексний навігатор для здорового способу життя. Пристрій *GoBe* автоматично фіксує зміну всіх важливих параметрів організму: засвоєння і витрата калорій, енергетичний і водний баланс, рівень стресу і наявність емоційної напруги, якість сну і пульс. *GoBe* дає можливість налаштувати два види Розумних будильників: по-перше, будильник за часом зі змінним інтервалом. Цей будильник визначає стан у сні, виявляє REM-сон і спрацьовує одразу після закінчення цієї фази. Таким чином користувач легко прокинетися і почуватиметися більш активним. По-друге, будильник за якістю, такий будильник слідкує за тим, наскільки спокійним є сон, і розбудить користувача тільки тоді, коли сон досягне необхідної якості для максимально ефективного відпочинку.

Додаток *HEALBE GoBe* може бути підключений до Google Fit, відправляючи туди дані з сенсорів *GoBe*. Всі дані будуть відправлені автоматично, включно з витратою калорій, пульсом, а також інформацією про кроки, пройдену відстань і нічний сон. Крім того, можна налаштувати синхронізацію даних про вагу - отже, інформація про вагу завжди буде свіжою, не важливо, чи буде відправляти користувач дані з Google Fit (наприклад, з розумних ваг), чи додати зважування в застосунку *HEALBE GoBe*.

Додаток працює з більшістю сучасних смартфонів на Android з підтримкою технології Bluetooth LE, і версією Android починаючи з Android 5.0.

SparkPeople. Додаток для підрахунку калорій. В *SparkPeople*: 3,5-мільйонна база продуктів, яка постійно оновлюється, щоб користувачі могли знайти та додати у свою дієту будь-які смаколики та корисні речі. За допомогою додатку можна відстежувати спожиті калорії, додавати тренування, вибрати для себе дієту, наприклад, вегетаріанську. У додатку є демоверсії популярних кардіо і силових тренувань, щоб можна було поєднувати корисне харчування з фізичними навантаженнями.

Вести щоденник харчування не складно. Якщо користувач має певні стандартні харчові пріоритети, то він може повторити свій запис на декілька днів. У кінці кожного дня додаток надає інформацію про сумарну кількість калорій, вуглеводів, жирів і білків. Рецепти дуже просто додавати, і додаток має сканер штрих-коду, для реєстрації упакованих продуктів [35].

Under Armour – універсальний додаток-соціальна мережа, в якій користувач може слідкувати за іншими користувачами, що займаються спортом, розміщувати свої тренування, текстові пости, а також ділитися фото і відео своїх досягнень. Додаток допоможе підібрати вид спорту, яким користувач хоче займатися і людей, які могли б бути йому цікаві. У додатку є можливість вибору свого спортивного пристрою. Якщо в списку пристроїв користувач не може знайти необхідний тренажер, то можна запустити додаток на смартфоні і займатися разом з ним. Крім аналізу даних тренувань і щоденної активності *Under Armour* дозволяє робити перехресні порівняння даних, наприклад, кількості і якості сну і тренувань, кількості кроків і змін ваги, а також інші комбінації [9].

Lifesum – це спеціальна програма, яка допомагає користувачам отримати інформацію про продукти, які вони вживають у їжу, з метою покращення здоров'я. Цей додаток відрізняється від інших тим, що немає необхідності ручного введення даних - достатньо просто відсканувати штрих-код на упаковці

продукту, щоб отримати всю необхідну інформацію, яка автоматично збережеться в додатку [34].

Petralex - це додаток для корекції слуху, розроблений фахівцями в області обробки звуку. Він аналізує навколишнє звукове середовище та автоматично налаштовується під слух користувача. Користувач може використовувати свій смартфон з гарнітурою як повноцінний слуховий апарат з функціями посилення звуку та компресії. За допомогою Petralex люди з втратою слуху можуть чути всі звуки, що їх оточують. Додаток посилює лише необхідні частоти та захищає слух від дуже гучних звуків завдяки автоматичній компресії. Для перегляду телевізора потрібно налаштувати його на комфортну гучність, запустити додаток на смартфоні, створити новий профіль та пройти тестування в кімнаті з працюючим телевізором. При наступному перегляді телевізора достатньо буде просто активувати цей профіль [33].

2 РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ БЕЗПЕРЕРВНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ ПАЦІЄНТА

2.1 Загальний опис інформаційної системи аналізу стану пацієнта

Розробка інформаційних систем для аналізу стану пацієнта з використанням відкритих методик та даних ІоМТ-приладів потребує створення платформи інформаційних технологій, яка складається з таких компонентів: обладнання, програмне забезпечення, база даних і мережа. Системний аналіз великих даних допомагає управляти медичними ризиками, визначаючи напрями профілактичних заходів для збереження здоров'я та безпеки. Наше завдання - віддалений моніторинг стану пацієнта. Формально описуємо систему контролю за основними фізіологічними показниками і застосованих заходів в екстрених ситуаціях (різке підвищення температури, тиску, втрата свідомості тощо).

Користувач, який застосовує медичні мобільні пристрої, що вимірюють різні показники його здоров'я та визначають місцезнаходження за допомогою ОРБ-системи, повинен отримувати аналітичну інформацію та відповідні рекомендації. Для цього необхідно створити систему моніторингу, яка складається з багатьох агентів. З цією метою у прилади кожного пацієнта встановлено два види агентів [21]:

- агенти-пацієнти, які контролюють такі фактори, як: температура тіла; тиск; пульс; ритм серця; насичення киснем; рівень цукру в крові; швидкість руху; виявлення падіння; рівень УФ-випромінювання; споживання калорій; положення тіла;

- агенти-оповіщення, які забезпечують швидку реакцію на невідкладні випадки: ОРБ-координатор; генератор текстових повідомлень; екстрена допомога.

Людина має нормальні та небезпечні (тобто такі, що виходять за межі нормальних) рівні фізичного стану (рис. 2.1). Нехай нормальні рівні лежать в межах (H_i, M_i) , де $i = \{1, 2, \dots, N\}$ – це основні фізичні величини, а небезпечні рівні – це все, що поза цими межами, тобто $(-\infty, H_i] \cup [M_i, +\infty)$, де $i = \{1, 2, \dots, N\}$ – це ті ж самі величини. Слід зазначити, що кожна величина окремо може мати небезпечний рівень через фізичну активність і не бути шкідливою для здоров'я людини, але якщо багато величин відхиляються від норми разом, то це може призвести до невідкладної ситуації (непритомності, серцевого нападу, гіпоксії тощо), яка потребує термінової медичної допомоги. Отже, для того, щоб агенти могли прийняти правильне рішення, їм потрібно «спілкуватися» один з одним, оцінювати ризик за кожною величиною і в цілому, і на основі отриманих даних виробляти відповідну стратегію.

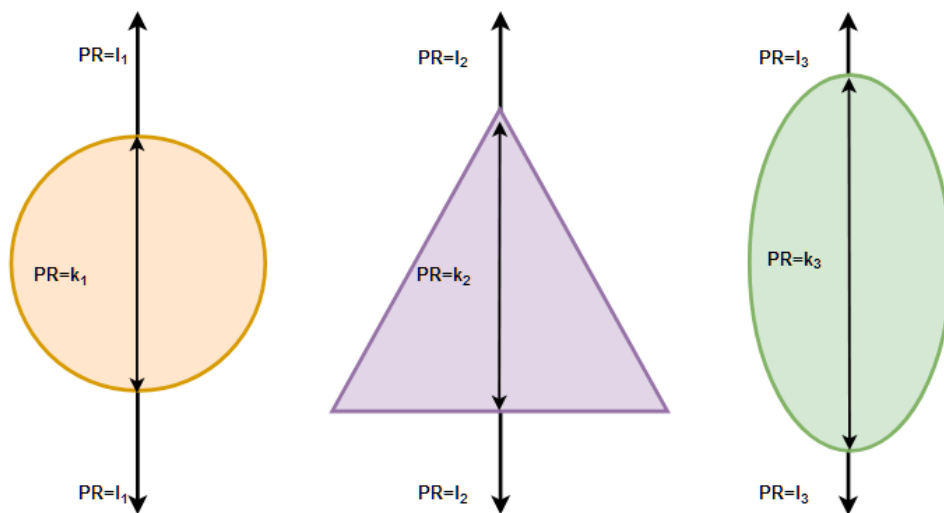


Рисунок 2.1 – Параметр ризику (PR) для кожного з агентів

Джерело: Систематизовано автором на основі даних [21]

На рисунках 2.1 та 2.2 зображені способи обробки даних, які отримали агенти окремо і разом. Коли кожен агент має нормальні дані, параметр ризику дорівнює k_i , коли кожен агент має небезпечні дані, параметр ризику дорівнює k_i відповідно, де $i = \{1, 2, 3\}$.

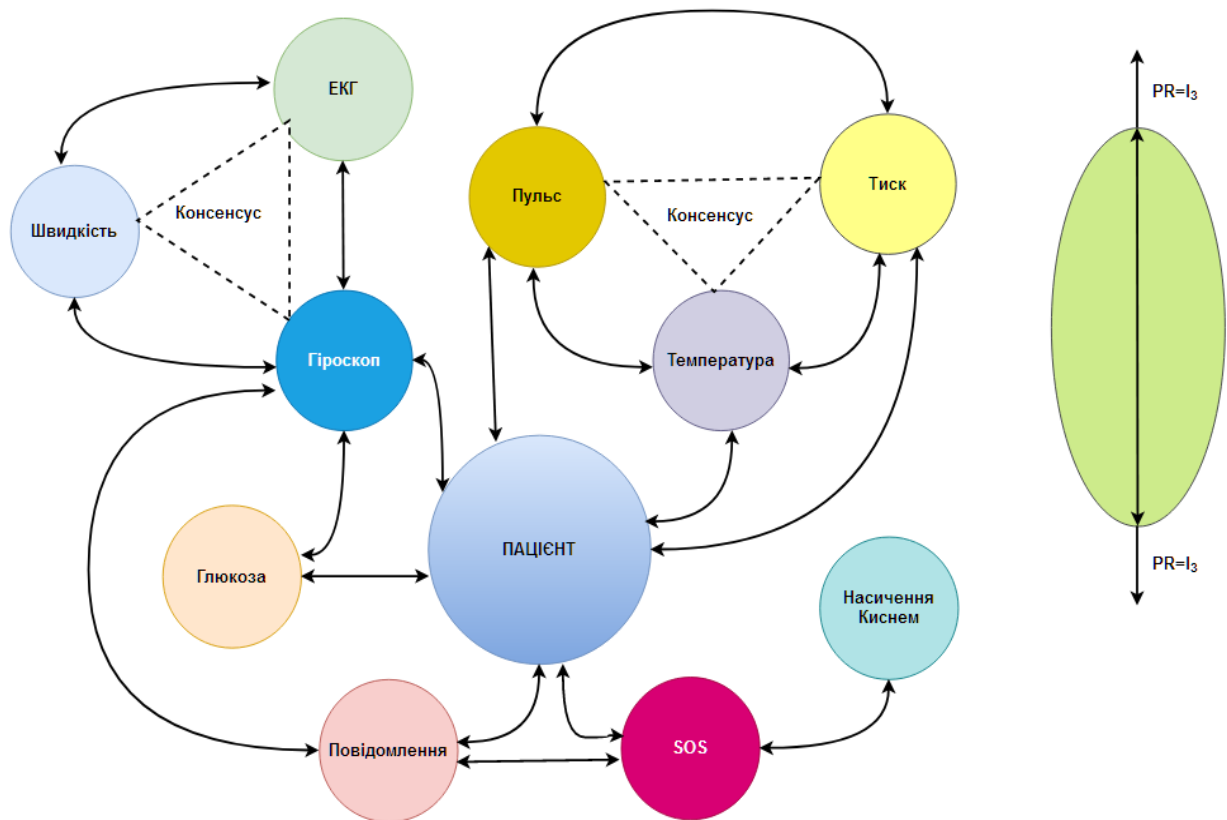


Рисунок 2.2 – Взаємодія агентів для спільного аналізу PR

Джерело: Систематизовано автором на основі даних [21]

Після аналізу даних від різних агентів система порівнює загальний показник ризику (PR) із небезпечно критичним (PR_{crit}). Якщо PR більше PR_{crit} , то система терміново інформує лікаря про стан пацієнта, його місцезнаходження і вимагає виклику швидкої. Якщо серед агентів виникає суперечка, система намагається досягти згоди.

Наприклад, о 19:05 агент «гіроскоп» виявив падіння пацієнта ($PR_1=3$) і запитав думки інших агентів. Показники пульсу ($PR_2=3$) і тиску ($PR_3=3$) були дуже низькими, температура нормальна ($PR_4 = 1$). Загальний показник ризику (PR) перевищив критичний (PR_{crit}), що свідчило про синкопу (втрату свідомості) пацієнта. Система зафіксувала інцидент і зателефонувала до швидкої. Однак, о 19:06 агент «Темп руху» виявив активність пацієнта. Це суперечило даним інших агентів і створило конфлікт в моніторинговій аналітичній системі (MAC). Агенти домовилися: на телефон пацієнта надійшло повідомлення, що передбачає

відповідь користувача протягом не більше ніж 30 секунд – запит на зворотний зв'язок, одночасно система відправила лікарю пацієнта його фізичні показники за останні 10 хвилин для аналізу. Таким чином, якщо пацієнт вчасно відповість на повідомлення, система не залучатиме агента «SOS» для виклику швидкої, але лікар буде поінформований про ситуацію і зможе зв'язатися з пацієнтом при потребі [22].

Для кожного пацієнта ми отримуємо важливі фізичні показники (пульс, температура, тиск, ритм, кисень, глюкоза), контроль калорій, корекцію постави, рівень УФ-променів, виявлення падіння, темп руху і реальний стан людини через ОРБ-систему. Назвемо агенти за їх функціями та розглянемо детальніше агенти нашої системи.

2.2 Аналіз даних моніторингових пристроїв інформаційної системи

2.2.1 Мета-агент «пацієнт»

Цей агент (пацієнт) продукує інформацію для агентів, які постійно стежать за його станом. Він аналізує цю інформацію і попереджає людину про можливі ризики через збільшене фізичне навантаження або потребу прийняти ліки, використовуючи агента «Текстові повідомлення», і сповіщає медичних працівників у разі небезпечних ситуацій, відправляючи запит агенту «SOS».

2.2.2 Агенти «Термометр, тонометр, пульсометр, глюкометр, ЕКГ»

Оскільки ці агенти (термометр, тонометр, пульсометр, глюкометр, електрокардіограф) працюють за схожим алгоритмом, ми об'єднали їх опис в один блок. Ці агенти використовують наручний пристрій і натільний датчик у пацієнта для вимірювання основних фізіологічних показників, таких як температура, тиск, пульс, глюкоза, ритм серця. Аналіз PR кожного агента в певний час показано на рис. 2.3.

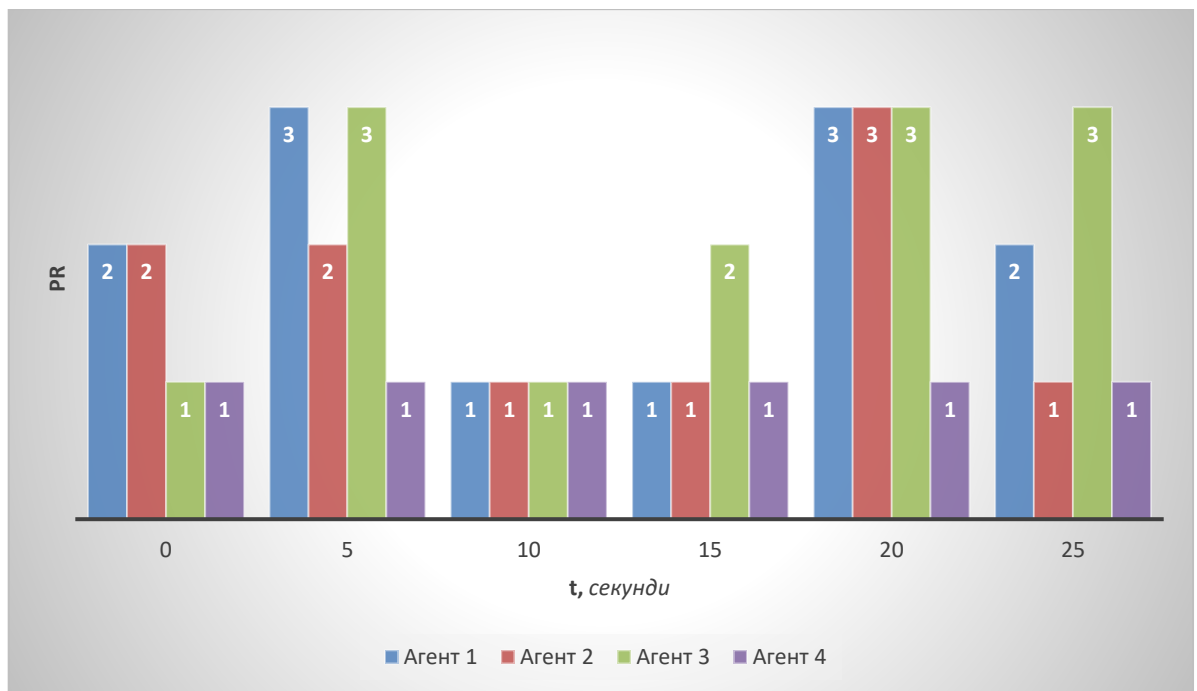


Рисунок 2.3 – Аналіз параметрів ризику кожного з агентів в момент часу t

Джерело: Систематизовано автором на основі даних [14]

Агент працює в режимі сну, поки показники не перевищують нормальні межі. Якщо показник датчика – параметр ризику (PR) агента – виходить за межі норми, які лікар встановив для кожного пацієнта окремо. Потім агент «спілкується» з іншими агентами і разом вони приймають релевантне рішення. Приклади роботи агентів наведено нижче [19]:

Пацієнт має середню частоту пульсу в спокої 72 удари за хвилину. Під час бігу пульс зростає до 120 ударів за хвилину і виходить за порогові значення. Параметр ризику агента «Пульсометр» підвищується до 3. Агент «Пульсометр» починає взаємодію з іншими агентами. Система аналізує сукупні результати з агентом «Темп руху» і самостійно оповіщає пацієнта про потребу зменшити навантаження через вібрацію браслета і висилає повідомлення на мобільний пристрій (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Приклад бази даних для агента «Термометр»

Temp_ID	Order_ID	pulse	date	time
1	1	72	2023-03-20	14:23:00
2	3	100	2023-03-20	14:45:00

Джерело: Систематизовано автором на основі даних [14]

Пацієнт рухається повільно. Його пульс досягає 120 ударів за хвилину. Агент «Пульсометр» помічає перевищення допустимих меж і «радиться» з іншими агентами. Враховуючи, що одночасно збільшуються частота серцевих скорочень і людина зупиняється (симптоми свідчать про серцевий напад), система надсилає сигнал агенту «SOS», який терміново повідомляє лікаря про інцидент і викликає швидку допомогу, показуючи координати знаходження пацієнта.

Алгоритм роботи агенту:

```

procedure Thermometer
  t = поточний час, T = поточне значення температури, отримане з датчика;
  PR1 = значення параметра ризику; завдання зсуву s за часом t;
  коефіцієнт впливу фізіологічного показника до зберігається в БД;
  максимально допустима температура Tmax зберігається в БД;
  мінімально допустима температура Tmin зберігається в БД;
  верхня межа критичної температури Temprmax зберігається в БД;
  нижня межа критичної температури Temprmin зберігається в БД;

  repeat
    if (GetTemperature (t, T) > Tmin) and (GetTemperature (t, T) < Tmax) then
      PR1 = 1;
    end if
    if ((GetTemperature (t, T) == Tmax) and (GetTemperature (t, T) == Tmin))
      then PR1 = 2;
    надіслати агентам повідомлення про виниклу проблему і необхідності
    порадитися в Conclusion (PR1, t);
  else
    PR1 = 3;
    присвоїти інциденту ідентифікаційний номер;
    сповістити лікаря and зв'язатися з диспетчером швидкої допомоги;

```

```

очікування вказівок від диспетчера;
end if
Add T to Database;
t = t + s;
until браслет надітий;
end procedure
function GetTemperature (t, T)
отримання значення температури тіла T в момент часу;
end function
function Conclusion (PRi, t)
PR = PR + PRi;
if PR >= PRcrit then
присвоїти інциденту ідентифікаційний номер;
сповістити лікаря and зв'язатися з диспетчером швидкої допомоги;
очікування вказівок від диспетчера;
end if
end function

```

Приклад роботи функції Conclusion (по вертикалі – параметр ризику, по горизонталі – час) наведено в рис. 2.4.

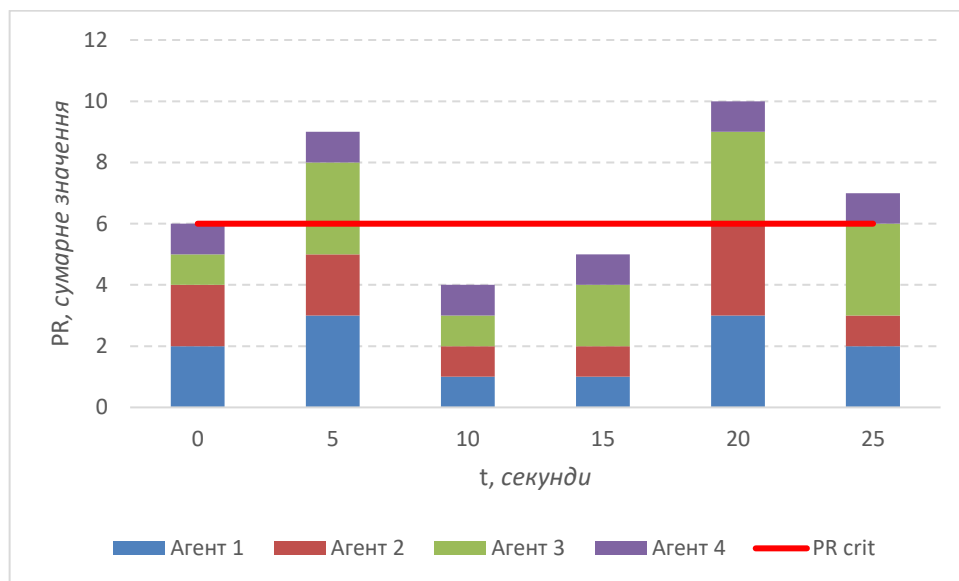


Рисунок 2.4 – Приклад роботи функції Conclusion (по вертикалі – параметр ризику за накопиченим підсумком, по горизонталі – час)

Джерело: Систематизовано автором на основі даних [14]

Процедури Pressure, Pulse, Glucose і ECG працюють аналогічним чином і передають у функцію Conclusion значення PR_2 , PR_3 , PR_4 , PR_5 відповідно.

У базу даних заносяться показники температури, артеріального тиску, частоти пульсу пацієнта, рівня глюкози в крові і серцевого ритму в момент часу t .

2.2.3 Агенти «Сатурація» та «Темп руху»

Агенти «Сатурація» відстежує рівень кисню в артеріальній крові, який називається сатурацією (SpO_2). Це важливий показник, який однаковий для всіх людей і не залежить від індивідуальних особливостей пацієнта. Нормальна сатурація артеріальної крові становить від 95% до 100%. Якщо сатурація опускається нижче 94%, це свідчить про нестачу кисню (гіпоксію) і потребує термінової медичної допомоги, оскільки гіпоксія може пошкодити клітини, серце і мозок [16]. У разі зменшення сатурації нижче допустимої межі необхідно викликати швидку допомогу. З урахуванням цього, зазначимо, що агент «Сатурація» не має спілкуватися з іншими агентами, а навпаки, він повинен негайно звернутися до агентів «SOS» для виклику швидкої допомоги і агенту «Текстові повідомлення» для інформування лікаря і родичів про критичну ситуацію. Блок-схема алгоритму роботи агента «Сатурація» показана на рис. 2.5.

Алгоритм роботи агента «Сатурація»:

```

procedure Saturation
   $t$  = поточний час,  $O$  = поточне значення сатурації, отримане з пристрою;
   $PR$  = значення параметра ризику;
  repeat
    if (GetSaturation ( $t$ ,  $O$ )  $\geq$  95) and (GetSaturation ( $t$ ,  $O$ )  $\leq$  100) then  $PR = 1$ ;
  end if
  if GetSaturation ( $t$ ,  $O$ )  $<$  95 then
     $PR = 3$ ;
    присвоїти інциденту ідентифікаційний номер;
    надіслати запит агенту «SOS»;
    надіслати запит агенту «текстові повідомлення»;
  end if
  Add to Database;
   $t = t + s$ ;
  until браслет надітий;
end procedure
function GetSaturation ( $t$ ,  $O$ )
  отримання значень насичення крові киснем  $O$  в момент часу;

```

end function

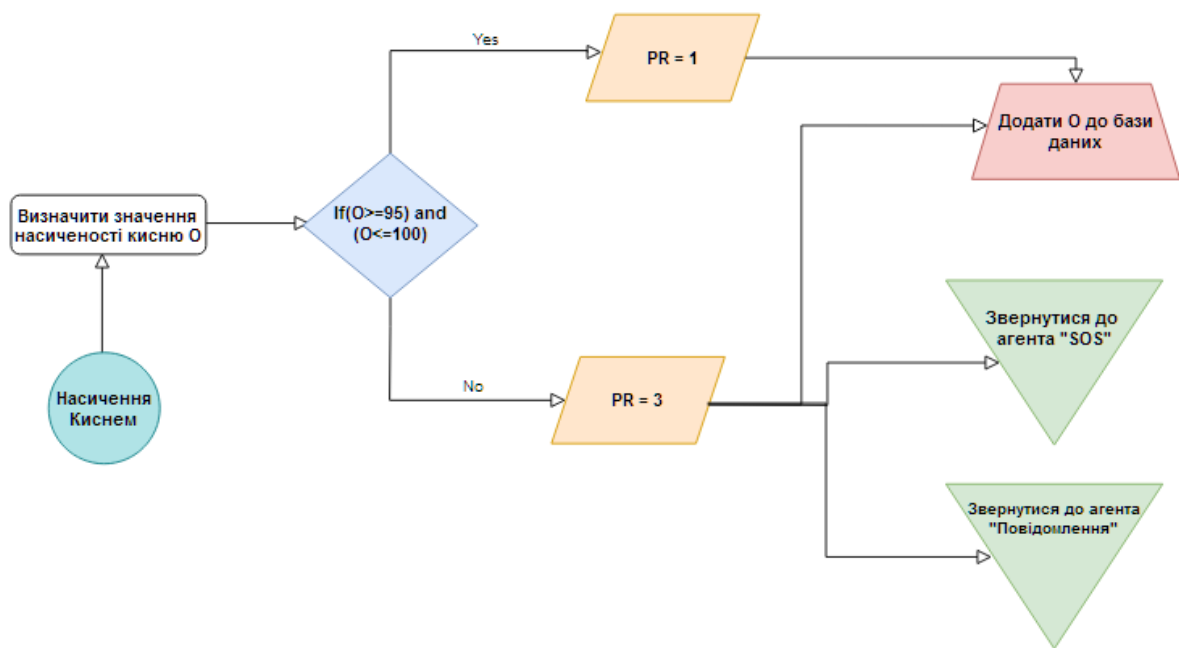


Рисунок 2.5 – Блок-схема алгоритму роботи агента «Сатурація»

Джерело: Систематизовано автором на основі даних [16]

Агент «Темп руху» визначає, як і з якою швидкістю пацієнт пересувається. Датчик вимірює цю величину у метрах за секунду і надає їй відповідний параметр ризику (PR) за попередньо заданими критеріями. Якщо темп руху відрізняється від норми, агент спілкується з іншими агентами і передає PR у функцію Conclusion. Наприклад, якщо людина не рухається і її фізичний стан раптово погіршується, то після «обміну даними» між агентами буде прийнято рішення негайно сповістити лікаря і службу швидкої допомоги; якщо пацієнт пересувається швидше, ніж рекомендовано, то потрібно повідомити його про необхідність уповільнити рух за допомогою повідомлення на мобільний пристрій. Алгоритм роботи агента показано на блок-схемі на рис. 2.6. У базу даних записується значення темпу швидкості в м/с, отримане з датчика в момент часу t .

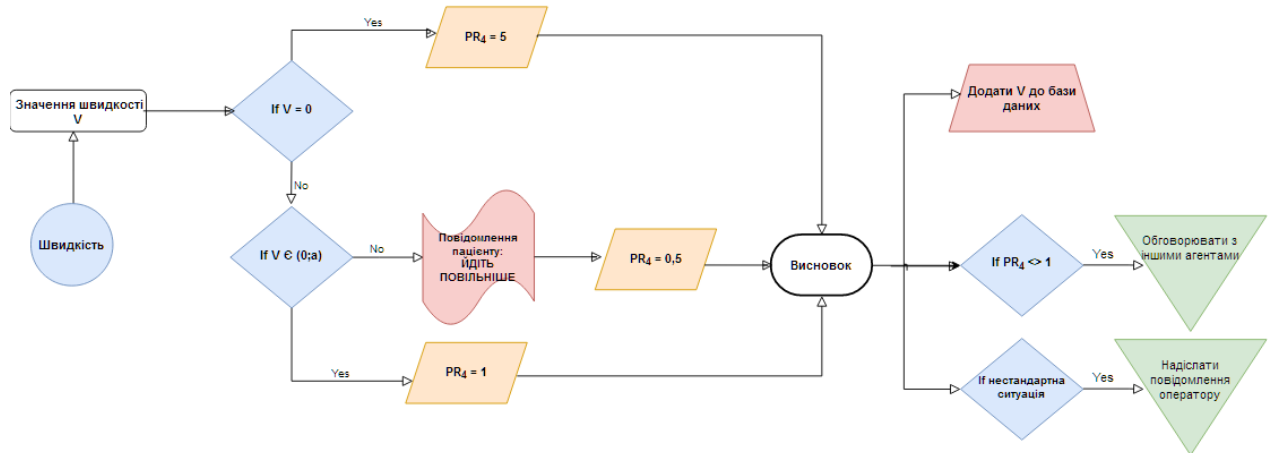


Рисунок 2.6 – Алгоритм роботи агента «Темп руху»

Джерело: Систематизовано автором на основі даних [16]

2.2.4 Агенти «Гіроскоп, УФ-випромінювання, калорії, постава»

Агент «Гіроскоп» використовує мікроелектромеханічні системи (MEMS) датчики з вбудованим контролером, що реєструють раптові зміни положення тіла пацієнта. Такі зміни можуть бути наслідком синкопи або непритомності, яка може бути спричинена гіпоксією, інфекцією, порушенням ендокринної системи, хворобами серця тощо. Втрата свідомості також може бути ознакою ослаблення організму або різкого погіршення стану здоров'я. Якщо після «обміну даними» з агентами зроблено висновок про падіння, то потрібна допомога, щоб вчасно запобігти ускладненням або своєчасно почати лікувати. Алгоритм роботи агента «Гіроскоп» показано на блок-схемі на рис. 2.7.

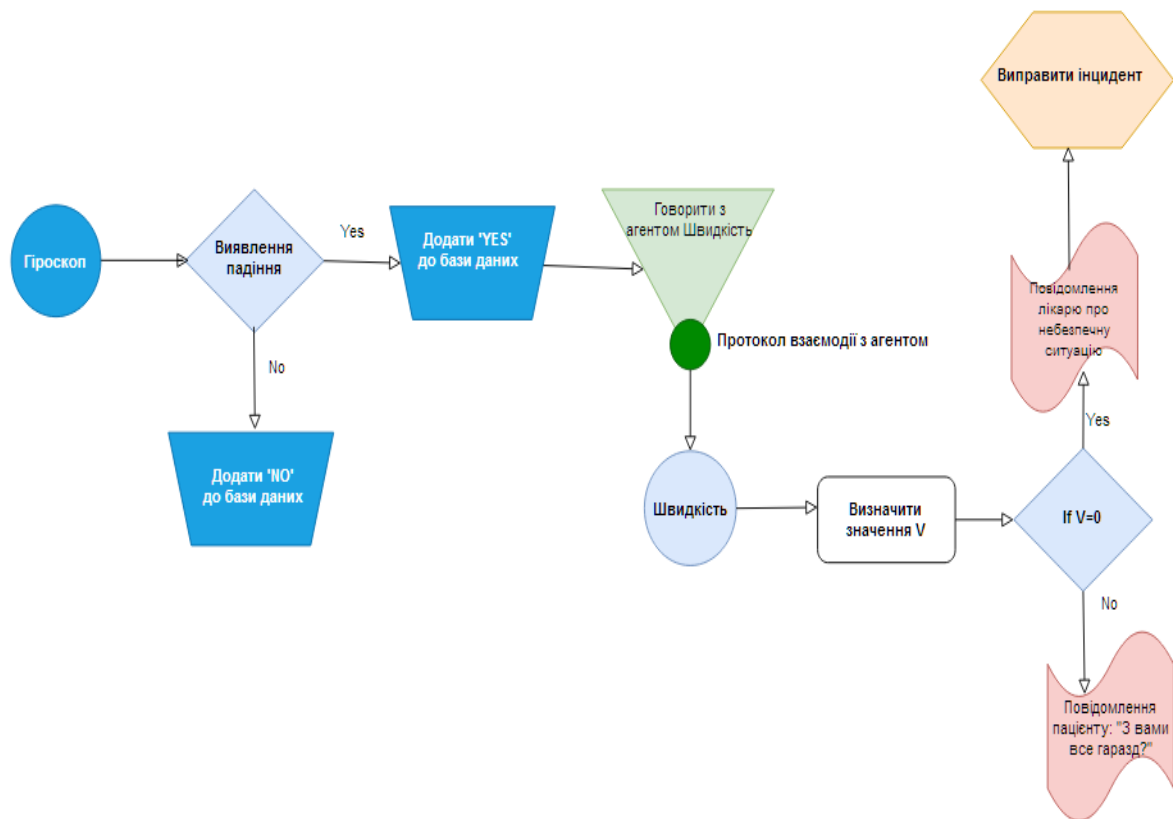


Рисунок 2.7 – Алгоритм роботи агента «Гіроскоп»

Джерело: Систематизовано автором на основі даних [10]

Приведемо фрагмент алгоритму роботи агента:

```

procedure Gyroscope
repeat
  if показання датчика вказують на падіння then
    надіслати агенту, відповідальному за темп ходьби, повідомлення про необхідність
    передати поточні дані через протокол взаємодії;
    if дані агента «Темп руху» нульові then
      присвоїти інциденту ідентифікаційний номер; сповістити лікаря and зв'язатися з
      диспетчером швидкої допомоги; очікувати вказівок від диспетчера;
      Add 'yes' to Database;
    else
      надіслати повідомлення пацієнту на мобільний пристрій для підтвердження
      нормального самопочуття або виклику швидкої медичної допомоги за допомогою кнопки
      екстреного реагування;
    end if
    Add 'no' to Database; until датчики одімі;
end procedure
  
```

Схема роботи агента наведена в таб. 2.2.

Таблиця 2.2 –Схема роботи агенту «Гіроскоп»

Fall_ID	Order_ID	Fal_detection	date	time
1	1	yes	2023-04-20	18:42:00
2	3	no	2023-04-21	19:12:00

Джерело: Систематизовано автором на основі даних [10]

У таблицю заноситься чи був факт падіння в момент часу t.

Агент «УФ-випромінювання», «Калорії», «Постава» не вимірюють безпосередні фізіологічні показниками пацієнта, але надають інформацію із навколишнього середовища, тому мають значний вплив на стан здоров'я пацієнта (Додаток 3). Ультрафіолетове випромінювання (UV), зокрема промені спектрів А і В, оточує людину протягом усього дня незалежно від погоди і пори року. Промені UVA і UVB спричиняють утворення вільних радикалів (нестабільних сполук і атомів, що можуть мутувати в ДНК клітинах). Надмірна дія цих променів може призвести до низки медичних проблем, таких як фотостаріння, гіперчутливість до сонця, порушення пігментації, а також рак шкіри.

Стресові ситуації, як фізіологічні оперативні втручання, так і емоційні перенавантаження небезпечні для людини і потребують корегування, зокрема через дотримання правил збалансованого харчування. Дієтологи рекомендують дотримуватись певної калорійності або збільшувати кількість білків і вітамінних продуктів у своєму раціоні.

Крім того, надлишкова вага і ожиріння можуть негативно впливати на багато функцій тіла: – підвищується ризик захворювань серця і судин, атеросклерозу і діабету, страждає опорно-руховий апарат; – важливу роль грає неправильна постава, яка спотворює хребет і порушує кровообіг і положення внутрішніх органів. Неправильна постава заважає легням розкриватися при диханні, спричиняючи штучну гіпоксію.

Робота цих агентів пов'язана з постійним контролем, сповіщенням або нагадуванням про необхідність зробити певні дії у визначених ситуаціях, направляючи запити агенту «Текстові повідомлення».

2.2.5 Мета-агенти «Текстові повідомлення» та «SOS»

Функції даних агентів безпосередньо пов'язані з створенням текстових повідомлень, що відповідають ситуації і особі, якій вони будуть надіслані (пацієнту, лікарю, диспетчеру швидкої допомоги, родичу пацієнта). Агент «Текстові повідомлення» отримує запит від агентів групи «Пацієнт» або агенту «SOS» із проханнями повідомити або попередити пацієнта, донести до відома лікаря і найближчого родича інформацію про критичну ситуацію, вислати запит на мобільний пристрій пацієнта тощо. Наведемо список текстових повідомлень для нашої інформаційної системи [6]:

– пацієнту: ваш тиск (температура тощо) зросли; зменште темп руху; прийміть ліки N у кількості m штук; Ви почуваетесь добре? збільште / зменште фізичне навантаження; випийте більше води; зв'яжіться з лікарем у зручний для Вас час; запишіться на прийом до лікаря; високий рівень UV-випромінювання; змініть калорійність до N калорій на день.

– диспетчеру швидкої медичної допомоги: пацієнту ПІБ потрібна термінова медична допомога за адресою N. лікар ПІБ: телефон.

– лікарю: пацієнту ПІБ потрібна термінова медична допомога за адресою N. диспетчер швидкої допомоги оповіщений; пацієнт ПІБ записався до Вас на прийом: дата і час.

Агент «SOS». Цей агент реагує на критичні ситуації, які виявляють агенти групи «Пацієнт» під час постійного спостереження. Він отримує дані про ситуацію, запитує місцезнаходження пацієнта з ОРБ-контролера і надсилає запити до агента «Текстові повідомлення». Наведемо приклад роботи агента «SOS». Нехай агент «Гіроскоп» фіксує падіння пацієнта. Агент «SOS» висилає запит пацієнту «Чи все в порядку?» на мобільний пристрій пацієнта, щоб переконатися у серйозності змін в його стані і привернути увагу перехожих.

Якщо пацієнт реагує на запит обумовленими діями, то агент «SOS» повідомляє систему про необхідність працювати в звичайному режимі. Якщо ж відповідь не надходить протягом 30 секунд, то агент відправляє дані з датчика ОРБ-навігації агенту «Текстові повідомлення» для створення необхідних повідомлень службі швидкої допомоги, лікарю і найближчому родичу. Крім того, на мобільному пристрої пацієнта будуть висвічені його основні фізіологічні показники для прискорення роботи бригади швидкої допомоги, яка прибуде за викликом.

2.3 Процес моніторингу та архітектура рівня додатків та інфраструктура

Отримання неперервного потоку метеоданих допомагає запобігати багатьом небезпекам, пов'язаним з аномаліями в навколишньому середовищі, і комплексно оцінювати стан пацієнта враховуючи як дані з його медичного браслета, так і метеодані. Серед відомих можливостей «розумних» пристроїв – спостереження за метеоумовами, сейсмічною небезпекою, станом атмосфери і води. Це важлива інформація, яка може бути використана у природоохоронній сфері і у галузі охорони здоров'я. Сьогодні активно розробляються і тестуються нові продукти на основі IoT-систем, спрямовані на розв'язання кросдисциплінарних (екологічних, метеорологічних, безпекових, соціальних, поведінкових тощо) проблем. Їх масове впровадження ускладнюється певними технічними недоліками, наприклад, різними протоколами роботи IT-пристроїв, недосконалістю бездротової інфраструктури тощо.

Особливо популярними в останні роки стали персональні екологічні датчики і мобільні додатки для отримання аналітичних даних. Спектр їх можливостей досить широкий: від вимірювання параметрів навколишнього середовища: якість повітря, температура, вологість, вміст вуглекислого газу, рівень УФ-випромінювання, рівень радіації. Є й такі, за допомогою яких можна перевіряти кількість нітратів в продуктах. Невеликий розмір і робота через

модулі WiFi, Bluetooth, GPS, 2G / 3G і т. п., дозволяє оцінювати стан навколишнього середовища та калорійність і корисність продуктів, що дозволить покращити якість життя та рівень безпеки в цілому.

Для створення недорогих та ефективних систем спостереження за навколишнім середовищем можна використовувати різноманітні датчики. Деякі параметри середовища, такі як концентрація вуглекислого газу та інтенсивність сонячної радіації (особливо ультрафіолетового випромінювання) можуть бути небезпечними для здоров'я людини. Багато людей працює в офісних приміщеннях, де знаходиться багато людей, тому важливо контролювати рівень вуглекислого газу в повітрі, оскільки його збільшення понад норму може погіршити самопочуття людини, знизити її робочу здатність та спричинити проблеми зі здоров'ям у майбутньому [10].

Коли людина довго знаходиться на вулиці, особливо у весняно-літній період, вона повинна звертати увагу на такий параметр, як УФ-індекс – це показник, що визначає рівень ультрафіолетового випромінювання. Захворювання на рак шкіри серед людей із світлою шкірою по всьому світу часто пов'язують з надлишковим впливом сонячного УФ-випромінювання або з впливом штучних джерел випромінювання, наприклад соляріїв. Поточний рівень захворюваності свідчить про те, що особисті звички людей щодо перебування на сонці є найбільш серйозним особистим фактором ризику негативних наслідків від УФ-випромінювання. Рівні ультрафіолетового випромінювання (рис. 2.8) і значення УФ-індексу змінюються протягом доби. Зазвичай показують максимальне значення ультрафіолетового випромінювання в даний день, яке досягається в 4-годинний період близько сонячного полудня. Сонячний полудень залежить від географічного положення і переведення годинникової стрілки на літній або зимовий час і припадає на період між 12-ою та 14-ою годинами. Люди зазвичай, проглядаючи прогноз погоди, звертають увагу на температуру та можливість опадів, тоді як УФ-індекс також відіграє надзвичайно важливу роль у формуванні безпеки життєдіяльності людини.

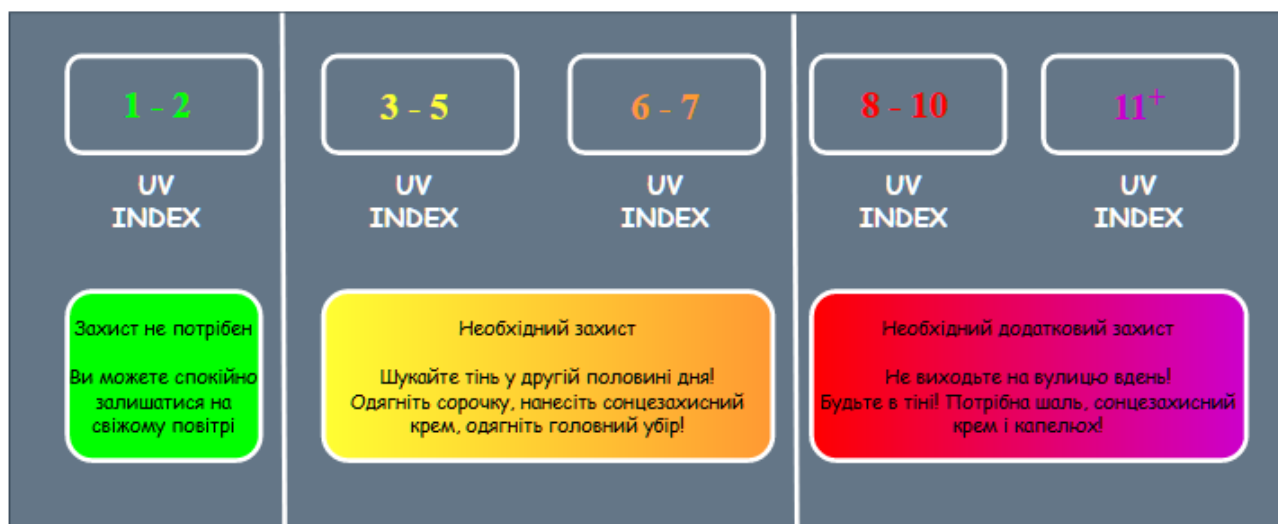


Рисунок 2.8 – Рекомендації індикації браслету при оцінці стану пацієнта від впливу УФ-випромінювання

Джерело: Систематизовано автором на основі даних [24]

Сенсор ультрафіолету на ML8511 вимірює інтенсивність потоку випромінювання з довжиною хвилі від 290 до 390нм. На аналоговому виході датчика напруга лінійно змінюється пропорційно від потужності випромінювання на мВт/см². Цей сенсор використовується як частина персональної метеостанції і може повідомляти людину про поточний рівень ультрафіолетового випромінювання, щоб допомогти вибрати необхідні сонцезахисні засоби та відповідний верхній одяг.

Система прогнозування погоди Weather Research and Forecasting Model (WRF) призначена для використання як у дослідженнях атмосфери, так і у високоточних прогнозах погоди. WRF — це набір програмного забезпечення для моделювання та прогнозування погоди за допомогою комп'ютерної моделі. WRF модель написана на мові Fortran з використанням бібліотеки MPI, що дозволяє її виконувати паралельно на обчислювальному кластері. Модель отримує вхідні метеодані з метеостанцій і надає вихідні дані у форматі прогнозу погоди на заданий період і передається на браслет пацієнта.

Сьогодні найпопулярнішим інструментом для створення веб-додатків є фреймворк MeteorJS, який є відкритим і безкоштовним фреймворком, написаним на Node.js. Meteor - це платформа для розробки так званих real-time web apps -

сучасних веб-додатків, де сервер і браузер обмінюються даними в реальному часі без перезавантаження сторінки. Однією з головних особливостей веб-додатку, який відрізняється від інших подібних метеоресурсів, є функція аналітики, яка дозволяє переглядати середнє, мінімальне і максимальне значення метеопараметрів, подання даних у вигляді діаграм, збір та аналіз метеоданих для виявлення статистичних закономірностей [24]. Функція збору і виведення надає можливість дізнатися прогноз температури, хмарності, опадів, тиску, вологості, швидкості і напрямку вітру, ймовірності грози і туману передається на браслет пацієнта і аналізується системою для оцінки ризиків для здоров'я. Поведінку системи можна представити у вигляді бізнес-процесу (рис. 2.9).

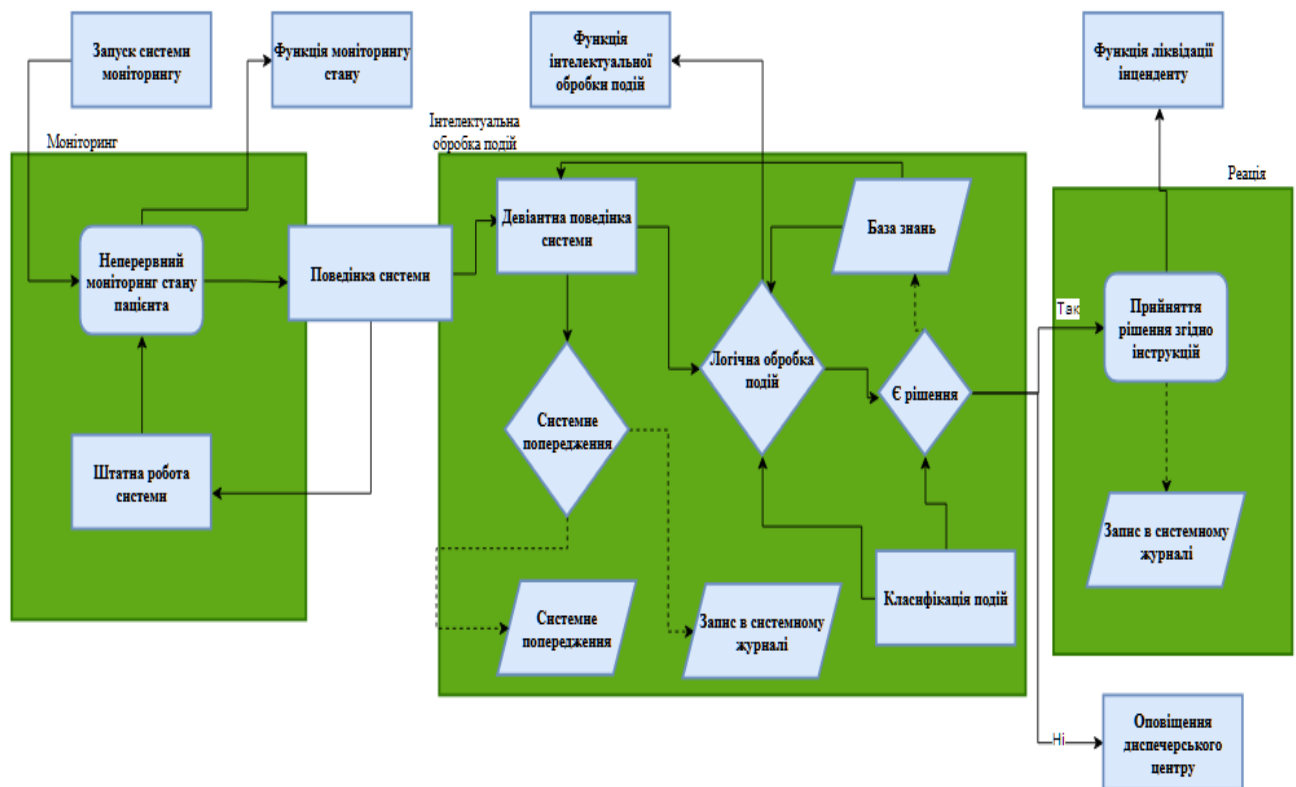


Рисунок 2.9 – Схема процесу моніторингу із застосуванням мультиагентного підходу

Джерело: Систематизовано автором на основі даних [27]

Опишемо алгоритм вибору рішень у разі, коли спостерігаються значення показників, що надають різні датчики, виходять за межі нормальних значень:

- якщо деякі фізіологічні показники пацієнта, які контролюються зазначеними вище агентами, під час моніторингу стану пацієнта виходять за допустимі межі – це може свідчити про наявність проблеми;

- проблема виявляється та фіксується;

- подія обробляється раціонально: проблема класифікується і оцінюється за шкалами відповідних метрик;

- вибирається найбільш оптимальне рішення на основі алгоритму роботи системи;

- якщо неможливо самотійно впоратися з ситуацією, інформується лікар про нестандартну ситуацію або несправність датчика;

- завершується вирішення проблеми і ставиться дата її виявлення.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЄКТУ ТА ЙОГО ПЕРСПЕКТИВИ

3.1 Технології зв'язку, що використовуються у пристроях медичного призначення

Зона покриття впливає на вибір мережевої технології. Якщо потрібно передавати дані на невелику відстань (наприклад, усередині квартири), пристрої можуть користуватися персональною мережею (Personal Area Network, PAN), яка включає бездротові технології BLE (Bluetooth Low Energy), ZigBee, 6lowpan, а також провідні інтерфейси або USB. Якщо дані слід передавати на досить велику відстань (наприклад, у приміщенні офісу), можна скористатися локальною мережею (Local Area Network, LAN). Провідні локальні мережі зазвичай базуються на технологіях Ethernet і оптоволокна, а бездротові – на технології Wi-Fi. Для створення глобальної мережі (Wide Area Network, WAN) застосовуються технології WiMax, LTE тощо. За останні п'ять років стали широко використовуватися технології LPWAN, які дозволяють підключати пристрої з низьким споживанням енергії до глобальної мережі [3].

При виборі мережевої технології для певної ситуації важливо враховувати швидкість передачі даних і споживання енергії. 4G (LTE, LTEAdvanced) підходить для пристроїв, які обмінюються великою кількістю даних. BLE, ZigBee, Z-Wave використовуються в пристроях з обмеженим ресурсом енергії і потребують шлюзу для інкапсуляції даних і надсилання в IP-мережу. Далі розглянемо ці технології зв'язку більш детально: Технологія Bluetooth LE. Bluetooth – це бездротова технологія передачі даних, яка дозволяє обмінюватися даними на коротких відстанях між пристроями, що підтримують цю технологію. Bluetooth забезпечує комунікацію між такими пристроями, коли вони перебувають у радіусі до 10 метрів один від одного. Структура Bluetooth Low Energy показана на рисунку 3.1.

BLE дозволяє встановлювати зв'язок одразу з кількома пристроями. На відміну від класичного Bluetooth, який підтримує топологію «Точка-Точка», BLE підтримує «Мовлення» і «Чарункову мережу». Мовлення – периферійний

пристрій надсилає дані кільком центральним. Чарункова мережа – пристрої з'єднані один з одним. Тобто в мережі є кілька пристроїв і кожен має кілька з'єднань.

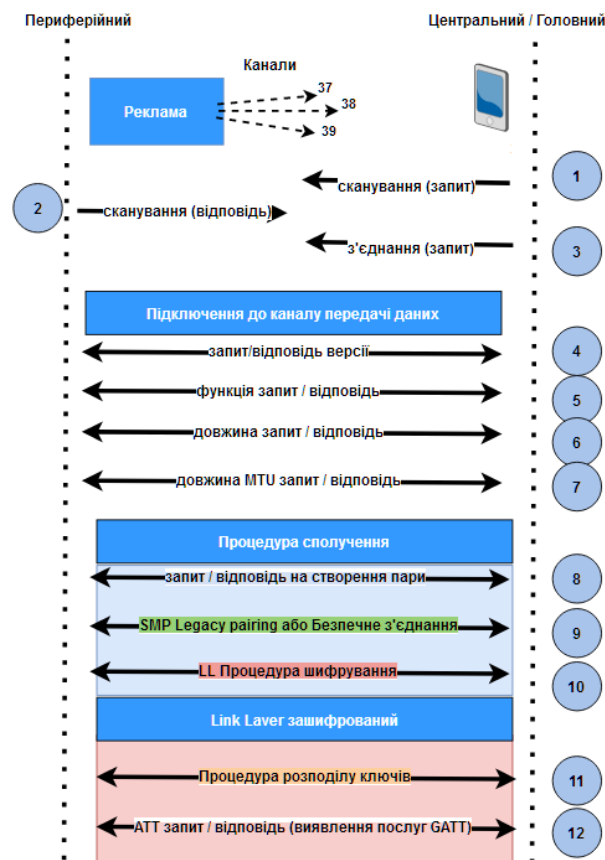


Рисунок 3.1 – Структура Bluetooth Low Energy

Джерело: Систематизовано автором на основі даних [30]]

Низку переваг має технологія Bluetooth версії 5.0 (і вище). На відкритій території передача даних із достатньою валідністю забезпечується на відстані до 100–150 м, що схоже на дальність надійного зв'язку бездротових вузлів на основі протоколу ZigBee. У приміщеннях надійна передача даних гарантується на відстані 30–35 м, що підходить для умов прикладного завдання медичного моніторингу. Пристрої BLE працюють в діапазоні 2.4 ГГц. У стандарті встановлено 40 частотних каналів з відстанню в 2 МГц між каналами. На фізичному рівні застосована GFSK модуляція (Gaussian Frequency Shift Keying) з індексом модуляції в межах від 0.45 до 0.55, що дозволяє знизити пікове споживання енергії. Швидкість передачі на фізичному рівні 1 Мбіт/с. У стандарті

BLE чутливість приймача визначена як рівень сигналу на приймачі, при якому частота бітових помилок (Bit Error Rate – BER) досягає рівня 10^{-13} , і повинна бути – 70 дБм або краще. Розрізняють два типи каналів – канали оголошення і канали даних. Канали оголошення застосовуються для пошуку пристроїв, установлення з'єднання, широкомовних передач, а канали даних застосовуються для двостороннього обміну даними між пристроями, між якими установлено з'єднання [3].

Три частотні канали в центральній частині смуги виділено для оголошення, що дозволяє уникнути перекриття з каналами 1, 6 і 11 стандарту IEEE 802.11. Залишаються 37 каналів для передачі даних (див. рис. 3.2).

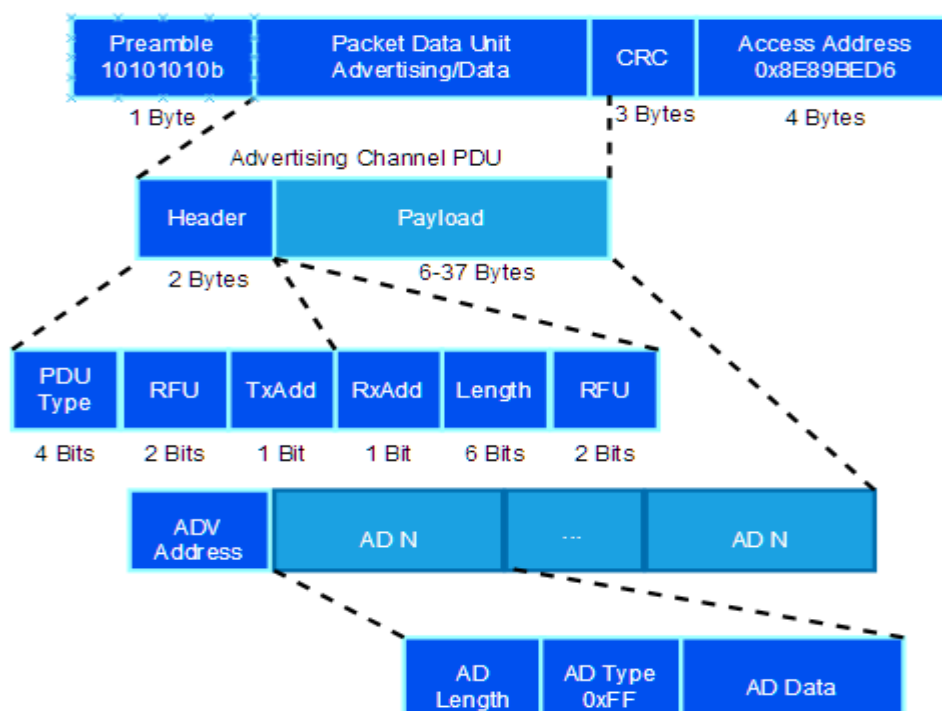


Рисунок 3.2 – Структура пакету даних

Джерело: Систематизовано автором на основі даних [2]

L2CAP в BLE - це спеціальна і оптимальна версія аналогічного протоколу в Bluetooth 2. x / 3. x. Його головна функція в BLE - це об'єднувати дані трьох протоколів (ATT, SMP, Link Layer) для каналу зв'язку канального рівня. Він також відповідальний за створення логічного з'єднання. Він не розбиває або збирає пакети, оскільки максимальний розмір L2CAP в BLE - 23 байти. Пакет

даних Bluetooth Low Energy показано на рисунку 3.3. Встановлює комунікаційні канали між двома пристроями, які є клієнтом і сервером у рамках цього протоколу. Сервер має набір атрибутів, які є структурованими даними, що дозволяють доступ до інформації, якою керує протокол GATT. Ролі клієнта і сервера визначені протоколом GATT і не пов'язані з роллю пристрою в з'єднанні (майстер / слейв) [30].

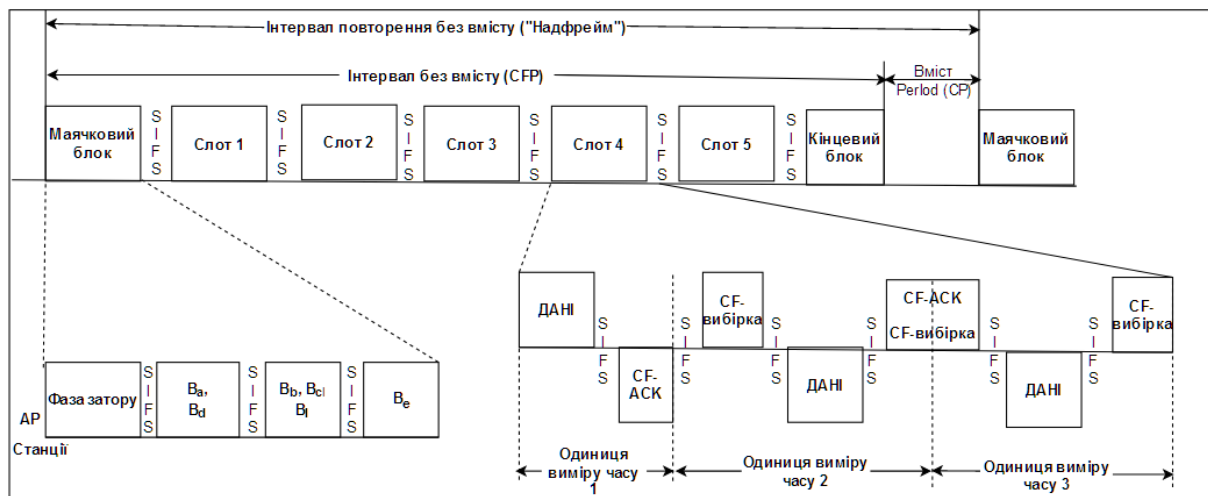


Рисунок 3.3 – Пакет даних Bluetooth Low Energy

Джерело: Систематизовано автором на основі даних [30]

BLE організовує роботу пристрою в одному з двох варіантів: – CENTRAL, або CLIENT, або GATT CLIENT, або MASTER – це пристрій, який з'єднується з периферійними; – PERIPHERAL, або SERVER, або GATT SERVER, або SLAVE. GATT – це стандарт для обміну короткими частинами даних (атрибути), він встановлює ієрархію даних, тобто те, як пристрої взаємодіють за допомогою повідомлень. Кожен пристрій BLE має профіль. Він може складатися з 1 і більше сервісів, у сервісу має бути хоча б одна характеристика. Характеристика завжди має мати хоча б два атрибути: опис характеристики і значення характеристики. Центральний пристрій шукає Advertising пакети, а периферійний – надсилає їх. Коли центральний пристрій виявляє периферійний пристрій, вони

переключаються на канал обміну даними. У BLE використовується 3 канали для Advertising пакетів і 37 каналів для обміну даними [13].

У таблиці 3.1 відображено систематизацію характеристик технологій BLE, Bluetooth, ZigBee, 6LoWPAN, Z-Wave.

Таблиця 3.1 – Характеристики технологій BLE, Bluetooth, ZigBee, 6LoWPAN, Z-Wave

Параметр	ZigBee	6LoWPAN	Z-Wave	BLE	Bluetooth
Частотний діапазон, МГц	868 / 915 / 2400	868 / 915 / 2400	868 / 908, 2400 (не всі версії пристроїв)	2400	2400
Бітова швидкість, Кбіт/с	20 / 40 / 250		9.6 / 40,200	1000	<721 (v1. 2), 3000 (v2 + EDR), <24000 (v3 – HS)
Тип модуляції сигналу	BP3K / BP3K / OQPSK	BPSK / BPSK / 0 – OPSK	BPSK	GFSK	GFSK (v / .2), GFSK / 4 – DOPSK / SDPSK (v2 + EDR), 802.11 (v3 – HS)
Метод розширення спектра	DSSS	DSSS	немає	FHSS (ширина каналу 2 МГц)	FHSS (ширина каналу 1 МГц)
Чутливість приймача, дБм	-92 для 868 / 915 МГц; – 85 для 2400 МГц	-92 для 868 / 915 МГц; – 85 для 2400 МГц	-101	<-70–87... – 93	-90
Вихідна потужність передавача, дБм	-32... 0	-32... 0	-20... 0	-20... 10	20 / 4/0 (клас 1 / 2/3)
Розмір даних пакета, байт	до 127		до 64	Від 8 до 47	до 358
адресація	16 і 64-біт MAC, 16-біт ідентифікатор мережі	16 і 64-біт MAC, 128 – біт адресу IPv6	32–6 іт ідентифікатор будинку; 8-біт адресу вузла	48-біт відкритий адреса Bluetooth або випадкова адреса	48-біт відкритий адреса Bluetooth

Джерело: Систематизовано автором на основі даних [18]

Основною перевагою Bluetooth LE є мале витрачання енергії і енергозбереження в режимі очікування, дуже низьке пікове витрачання енергії. Пристрої, що використовують Bluetooth LE, витрачають менше енергії, ніж Bluetooth-пристрої попередніх версій. Ця версія Bluetooth забезпечує підтримку широкого спектру додатків для домашнього розваги, медичного та охоронного обладнання і дозволяє зменшити розмір кінцевого пристрою для зручного використання.

Технологія Wi-Fi. Wireless LAN стандарту WiFi 802.11 створювалася для надання бездротового широкосмугового з'єднання з мережами передачі даних на великих швидкостях. За допомогою Wi-Fi можна створити мережу без необхідності прокладати кабель, мати доступ до мережі з мобільних пристроїв. В рамках Wi-Fi зони декілька користувачів з комп'ютерів, ноутбуків, планшетів, телефонів і т.д. можуть підключатися до мережі Інтернет.

ZigBee (6lowpan) - це технологія, яка базується на стандарті IEEE 802.15.4 і розроблена для побудови бездротових персональних мереж (WPAN) з використанням радіопередавачів низької потужності та невеликого розміру. ZigBee орієнтована на застосування, які вимагають довшого часу незалежної роботи від батареї та підвищеної безпеки при обміні даними на низьких швидкостях [17]. ZigBee застосовується в медичних діагностичних апаратах пацієнта, медичному устаткуванні та біосенсорах, а також для контролю стану спортсмена, при цьому максимальна швидкість передачі даних складає 250 кб/с. На рисунку 3.4 показано приклад системи дистанційного медичного спостереження з використанням розглянутих технологій.

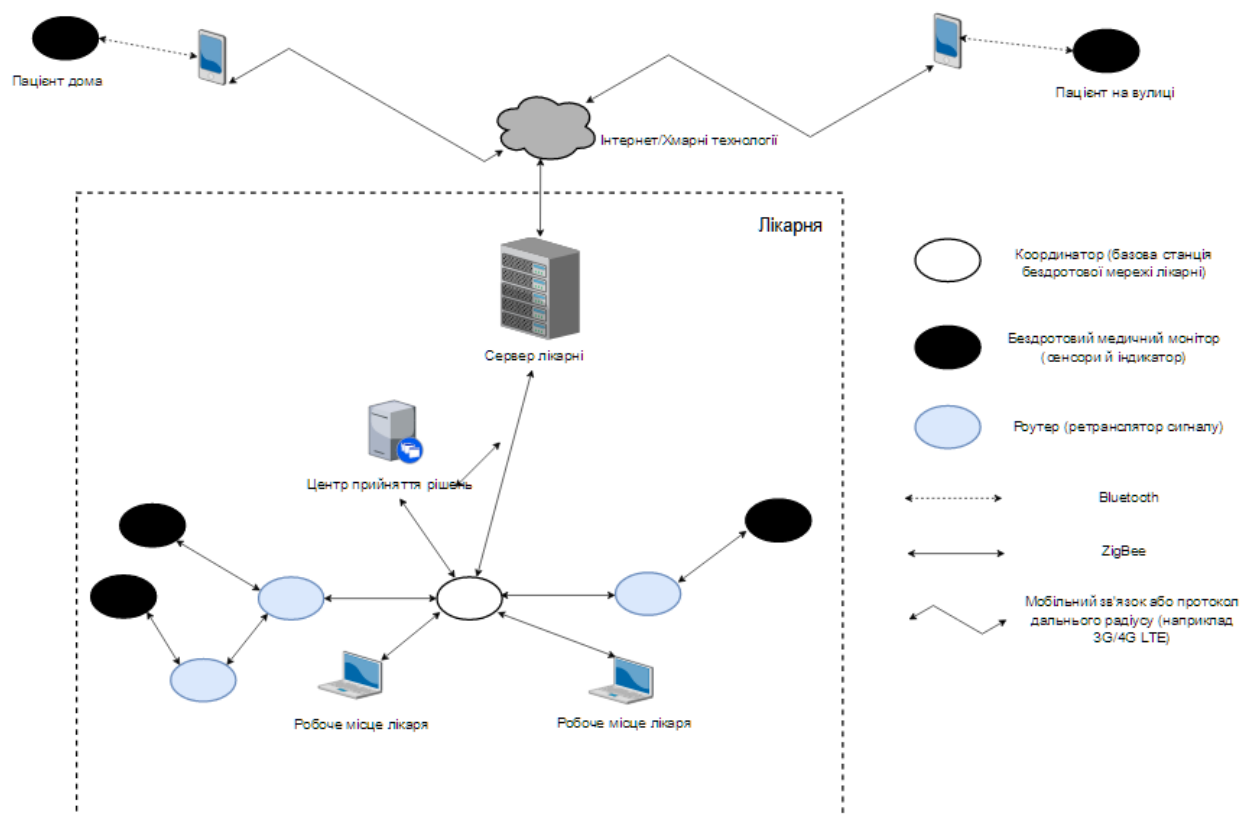


Рисунок 3.4 – Приклад системи дистанційного медичного моніторингу

Джерело: Систематизовано автором на основі даних [17]

ZigBee-пристрої можуть швидко переходити з режиму сну в активний режим за 15 мілісекунд або менше, що суттєво перевершує технологію Bluetooth, для якої затримка при такому переході становить близько 3-х секунд [29]. Основним обмеженням використання ZigBee-сумісних бездротових мереж є те, що бездротові медичні монітори не можуть працювати за межами лікарні або її території, тобто дуже далеко від координатора мережі або проміжних пристроїв. Це викликає нову потребу користувачів, яка полягає в тому, щоб мати можливість спостерігати за станом пацієнтів, коли вони знаходяться поза лікарнею, наприклад, вдома або на вулиці досить далеко від лікарні.

ANT+ - це стандарт бездротової комунікації, який дозволяє обмінюватися даними між пристроями, що підтримують ANT+ [12]. Він використовує ту саму частоту, що і Bluetooth, але має більший радіус дії - до 30 метрів. Для роботи з цим стандартом пристрої мають мати спеціальний чіп. Альянс, який розробив

цей стандарт, орієнтувався на сфери домашнього використання та медицини. Серед членів Альянсу - такі компанії, як Philips, Samsung, Sony, HbbTV, France Televisions. Основна перевага цього стандарту - економія енергії, оскільки з'єднання по ANT+ споживає на 70% менше енергії, ніж по Bluetooth.

GPS - це система супутникової навігації, яка дозволяє вимірювати час і відстань і визначати координати об'єктів у світовій системі WGS 84. GPS працює майже за будь-яких погодних умов, на Землі і в космосі. Основна ідея системи - це вимірювання часу прийому синхронізованого сигналу від навігаційних супутників антеною користувача [28].

3G / 4G LTE - це третє покоління технології мобільного зв'язку. Це поєднання технології зв'язку, яка створює канал передачі даних, і високошвидкісного мобільного доступу з послугами Інтернету. Під цим терміном розуміють технологію UMTS з розширенням HSPA. 3G - це покоління технології мобільного зв'язку, яке використовує пакетну передачу даних. Мережі 3G працюють в діапазоні близько 2 ГГц, в межах дециметрового і сантиметрового діапазону, і можуть передавати дані зі швидкістю до 3,6 Мбіт/с [27].

4G LTE - це покоління технології мобільного зв'язку, яке надає високошвидкісний бездротовий доступ до даних для мобільних та інших пристроїв. LTE є розвиненням стандартів GSM / UMTS і використовує новий метод модуляції і цифрової обробки сигналів. LTE також спрощує і реконструює архітектуру мереж на основі IP, зменшуючи затримки при передачі даних у порівнянні з архітектурою 3G мереж. Бездротовий Інтерфейс LTE працює на окремій частоті, оскільки не сумісний з 2G і 3G.

LTE - це специфікація технології мобільного зв'язку, яка дозволяє досягати швидкості завантаження до 326,4 Мбіт/сек, швидкості віддачі до 172,8 Мбіт/сек, і зменшувати затримку в передачі даних до 5 мілісекунд [23].

NFC - це технологія бездротового зв'язку високої частоти з малим радіусом дії, яка дозволяє обмінюватися даними між пристроями, що розташовані на

відстані до 10 сантиметрів один від одного. NFC призначена переважно для використання в цифрових мобільних пристроях.

Технологія NFC є розширенням стандарту безконтактних карт, яке об'єднує функції смарт-карти і зчитувача в одному пристрої. Пристрій NFC може зв'язуватися з смарт-картами і з іншими пристроями NFC, тому сумісний з наявною інфраструктурою безконтактних карт [18]. Також слід зазначити, що з розширенням використання медичних пристроїв, підключених до Інтернет, збільшується обсяг мережевого трафіку, що створюють ці пристрої. З огляду на це варто розробляти прогностичні сценарії розвитку мережі в найближчі роки.

3.2 Вибір та опис складових компонентів інформаційної системи

Пристрій, що розроблено у даній роботі, базується на платі Arduino Nano, яка відповідає за керування датчиками та надсилення інформації з них на плату NodeMCU, що створена на базі модулю ESP8266. До Arduino Nano підключені цифровий датчик температури DS18B20 та імпульсний датчик серцевого ритму Pulse Sensor. Плата NodeMCU має вбудований WI-FI модуль, який дозволяє передавати дані з датчиків на Google Диск, у режимі реального часу, де можна переглянути всі показники та час їх вимірювання. Для створення інтерфейсу використовувався локальний Web – сервер XAMPP – середовище розробки, яке обробляє скрипти PHP, містить кросплатформене ПЗ Apache, систему управління БД MySQL, мову програмування Perl і бібліотеки для запуску повноцінного веб-сервера [26].

Для розробки інформаційної системи було обрано мови програмування C # та C++, які є одними з найбільш популярних, структурованих та визнаних мов програмування у світі. До переваг C# та C++ над іншими мовами належать:

- об'єктно-орієнтованість. C # є мовою, яка базується на об'єктах, це дозволяє створювати модульні програми та код для повторного використання;

- автоматичне очищення сміття. C # має дуже ефективну систему для видалення всього сміття, яке накопичується в системі;

- не має проблем з витоком пам'яті. На відміну від багатьох популярних мов C # має чіткий ліміт у кількості виділеної пам'яті під час роботи.

Нами були застосовані додаткові програмні засоби:

- SQL – мова програмування для створення, зміни та управління даними в реляційній БД;

- phpMyAdmin – застосунок, написаний на мові PHP, який є інтерфейсом для адміністрування СУБД MySQL.

Arduino – це електронна система з відкритим кодом, яка працює на простих та зручних апаратних та програмних компонентах. Плати Arduino можуть отримувати вхідні дані, такі як інтенсивність світла на датчику, повідомлення у Twitter або нажаті кнопки та перетворювати їх на вихідний сигнал, запалювати світлодіод, запускати мотор, управляти «розумним» будинком або надсилати інформацію в мережу. Можливість завантажувати на мікроконтролер на платі Arduino набір команд забезпечує мова програмування Arduino (заснована на Wiring) та програмне забезпечення Arduino (IDE), яке засноване на Processing. Протягом багатьох років контролер Arduino був «мозком» тисяч проєктів, від побутових речей до складних наукових приладів [45].

Структура бази даних складається з 11 таблиць (рис. 3.5):

- doctors – містить всю інформацію про зареєстрованих користувачів (лікарі і родичі пацієнтів): логіни і паролі для входу в систему моніторингу стану пацієнта;
- patients – містить інформацію про імена пацієнтів, за станом здоров'я яких ведеться контроль;
- normalCondition – містить інформацію про допустимі/нормальні показники за фізіологічними параметрами (температура, тиск, пульс та інші) індивідуально для кожного пацієнта;

- `criticalLimits` – містить інформацію про критичні показники за фізіологічними параметрами (температура, тиск, пульс та інші) індивідуально для кожного пацієнта;
- `newOrder` – містить інформацію про лікаря і / або родича, пацієнта, допустимих і критичних показниках температури, тиску, частоти пульсу;
- `temperature` – містить інформацію про поточні показники температури пацієнта з номером з колонки `order_ID`;
- `pressure` – містить інформацію про поточні показники тиску пацієнта з номером з колонки `order_ID`;
- `pulse` – містить інформацію про поточні показники частоти пульсу пацієнта з номером з колонки `order_ID`;
- `glucose` – містить інформацію про вміст глюкози в крові пацієнта з номером з колонки `order_ID`;
- `stepSpeed` – містить інформацію про темп кроку пацієнта з номером з колонки `order_ID`;
- `gyroscope` – містить інформацію про факт падіння пацієнта з номером з колонки `order_ID`.

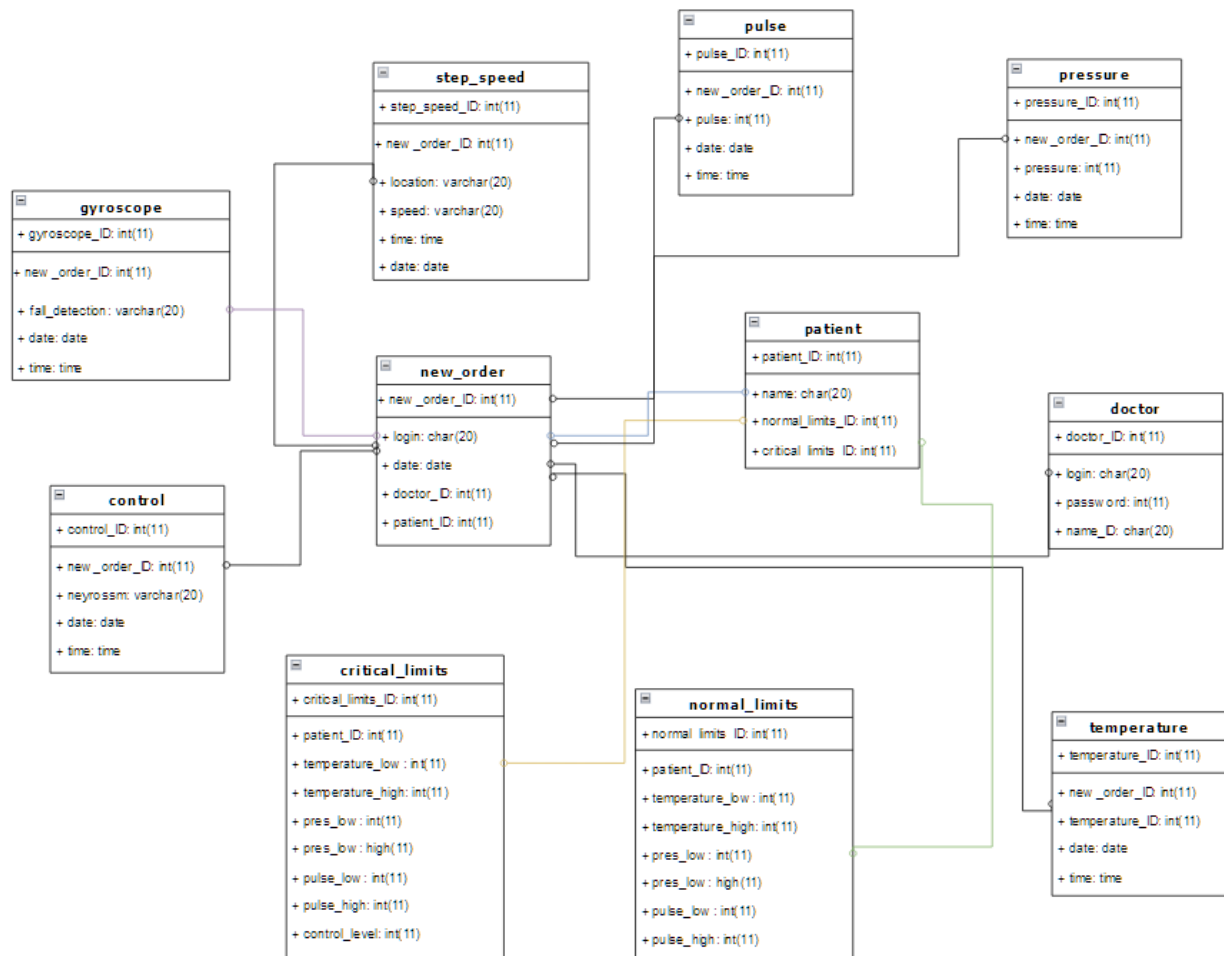


Рисунок 3.5 – Структура бази даних

Джерело: розроблено автором

Microsoft Active Server Pages (ASP) - це технологія, яка дозволяє розширити функціонал мобільних пристроїв для оцінки стану пацієнтів. ASP, який працює на стороні сервера, відправляє інформацію в веб-браузер користувача, дозволяючи серверу створювати динамічні веб-сторінки залежно від дій користувача. Процес роботи системи на основі активних серверних сторінок показано на рисунку 3.6. Діаграма декомпозиції IDEF0 наведена в додатку В.

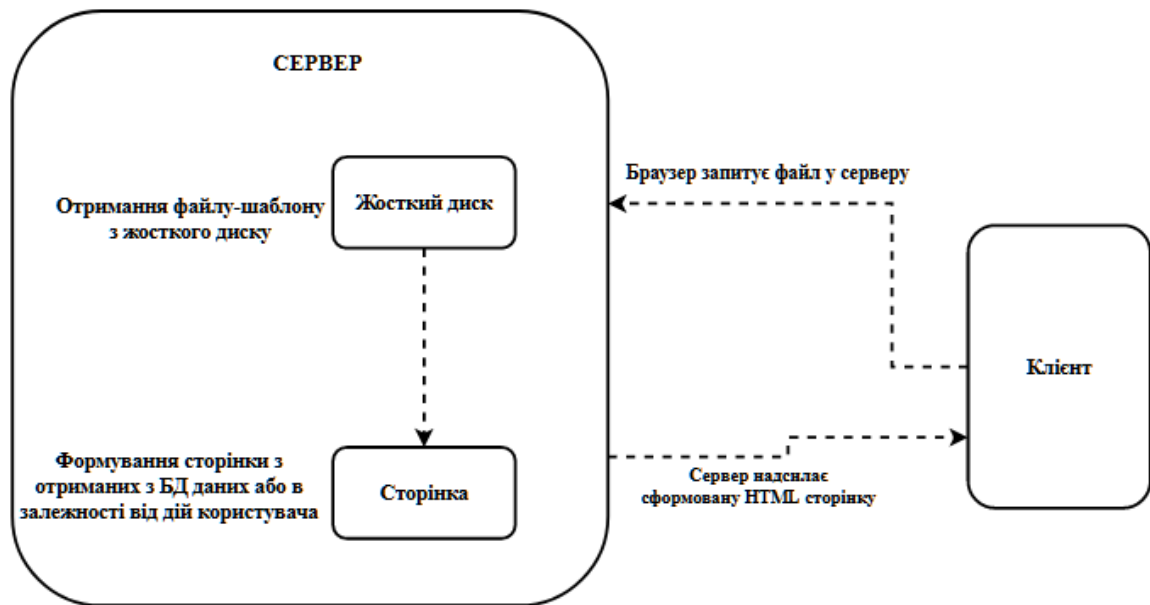


Рисунок 3.6 – Процес роботи системи на базі активних серверних сторінок

Джерело: розроблено автором

В цьому дослідженні було обрано розробку власного пристрою на основі плати Arduino Nano (рис. 3.7 а). Ця плата має малі розміри, що є великою перевагою для реальних проектів. Arduino Nano - це компактна та легка для прототипування плата мікроконтролера, створена італійською Arduino. cc на базі мікросхеми ATmega328p або ATmega168. Arduino Nano Pinout складається з 14 цифрових виводів, 8 аналогових виводів, 2 виводи для роботи кнопки скидання та 6 виводів живлення [46].

- Vin. Це вхідна напруга живлення для плати Arduino, напругу через цей вивід можна подавати від батареї (рис. 3.7 б).

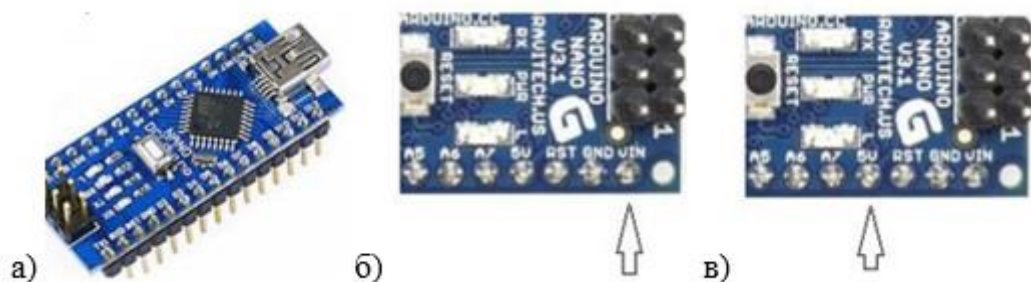


Рисунок 3.7 – Плата Arduino Nano а) та розташування на ній Vin б) та 5V в)

Джерело: розроблено автором

- 5V. Вивід для забезпечення напруги у 5 V. Напруга має бути стабільною, оскільки вона подається безпосередньо на мікроконтролер, що розташований на платі (рис. 3.7 в).
- 3.3V: Вихідний пін від стабілізатора мікросхеми FT232R з виходом 3,3 вольтів і максимальним струмом 50 мА (рис. 3.8 а).
- GND. Це вивід, що забезпечує заземлення. На платі Arduino є декілька таких контактів, які за необхідності можна з'єднати (рис. 3.8 б).

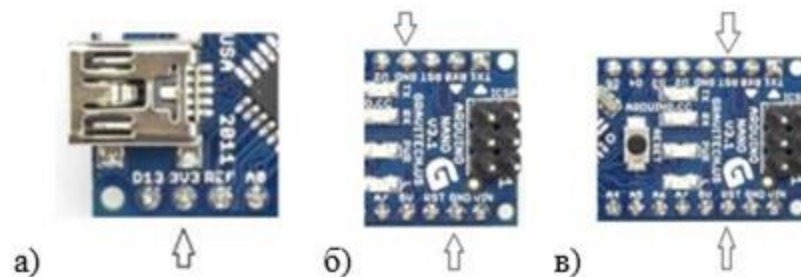


Рисунок 3.8 – Розміщення на платі 3.3V а), GND б), Reset в)

Джерело: розроблено автором

- Reset. Використовується для перезапуску прошивки без завантаження її з комп'ютера. Встановлення на виводі логічного нуля призводить до скидання процесора.
- Rx, Tx. Використовуються для послідовної передачі даних. Виводи 0 і 1 за замовчуванням є выводами RX і TX, які використовуються для прийому і передачі даних відповідно. Вони також можуть використовуватися як GPIO виводи. (рис. 3.8 в).
- 13. На більшості плат Arduino це пін, до якого під'єднано світлодіод.
- AREF. Це аналогове опорне значення, яке використовується для встановлення зовнішньої опорної напруги для верхньої межі аналогових входних выводів. За замовчуванням це 5 V.
- PWM (Pulse Width Modulation). ШІМ (широтно-імпульсна модуляція). піни 3,5,6,9,10 і 11 дають змогу виводити аналогові значення у вигляді ШІМ-сигналу. Розрядність ШІМ не змінюється і встановлена у 8 біт.

- SPI (Serial Peripheral Interface – послідовний периферійний інтерфейс). Ці пini 11(MOSI), 12(MISO), 13(SCK) і 10(SS), які використовуються для спілкування з периферією за інтерфейсом SPI.
- External Interrupts. Два, три спеціальних виводи, які використовуються для того, щоб викликати переривання в програмі, коли змінюється їх логічне значення або вони знаходяться в певному стані. Оскільки ця функція зазвичай використовується для моніторингу зовнішніх логічних сигналів, ці виводи називаються виводами зовнішніх переривань [47].
- I2C. Зв'язок дає змогу за двома інформаційними дротами під'єднувати до них як різні датчики, розширювачі дискретних входів-виходів, цифро-аналогові та аналого-цифрові перетворювачі, так і інші контролери, що використовується для синхронізації даних між пристроями на шині I2C.

В даному дослідженні використовується пристрій для контролю стану пацієнта, який має кілька датчиків та модуль WI-FI. Для вимірювання температури використовується цифровий термометр DS18B20. Для визначення пульсу людини застосовується аналоговий датчик Pulse sensor. У якості WI-FI модуля обрано платформу NodeMCU на базі ESP8266. Цей модуль може отримувати та передавати дані через Інтернет. Розглянемо детальніше кожен складову.

DS18B20. Це цифровий термометр, який дозволяє вимірювати температуру в градусах Цельсія з роздільною здатністю 9–12 біт і має функцію тривоги, яка спрацьовує, якщо температура виходить за межі, задані користувачем. Діапазон температур, які може вимірювати датчик, становить від $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $125\text{ }^{\circ}\text{C}$, з точністю $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в діапазоні від $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Крім того, він може живитися безпосередньо з лінії даних, що знижує потребу в зовнішньому джерелі живлення. Також він підтримує режим «паразитного живлення», коли електронний пристрій живиться напругою будь-яких сигналів (замість використання окремої шини живлення). Напруга, яку споживає прилад, повинна бути достатньо низькою, щоб не заважати роботі сигнальної лінії [49].

DS18B20 має унікальний 64-бітний ідентифікатор, який дозволяє йому працювати на одній шині з одним проводом разом з іншими датчиками (рис. 3.5 а). Це означає, що один мікропроцесор може контролювати багато DS18B20, розміщених на великій території. Це може бути корисно для вимірювання температури в будинку, машині або лікарняній палаті, де кілька пацієнтів підключені до одного пристрою. З рисунку 3.9 продемонстровано три виводи датчика.

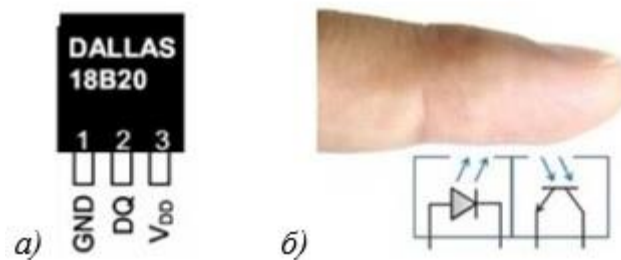


Рисунок 3.9 – Призначення виводів DS18B20 а) та принцип роботи датчику б)

Джерело: розроблено автором

DS18B20 має такі три виводи:

- земля.
- DQ – вивід сигналу даних. Через нього також здійснюється живлення в режимі «паразитного живлення».
- Vdd – вивід зовнішнього живлення. Якщо використовується «паразитне живлення», то цей вивід має бути з'єднаний із «землею».

Метод встановлення місцезнаходження пацієнта описано в додатку Г роботи. Також слід пам'ятати, що незалежно від типу підключення, інформаційний вивід DQ треба підключати до виводу живлення через резистор 4.7кОм. Якщо використовується тільки один датчик, можна вибрати резистор на 10кОм.

Pulse sensor. Це аналоговий датчик імпульсу, який дозволяє вимірювати пульс людини. Цей датчик функціонує за рахунок світлодіода та фотодетектора, які встановлені на ньому. Вони розміщені так, що фотодетектор отримує промінь світла, який відсвічується від перешкоди, наприклад, пальця, вуха або зап'ястя. Коли судини наповнюються кров'ю, вони поступово змінюють свою оптичну

густину, що впливає на зміну кількості відсвіченого світла. Тому, якщо рівень світлового потоку, який випускається світлодіодом, буде сталим, інтенсивність світла, яка може фіксуватися фотодетектором, буде залежати від наповненості судин кров'ю. Метод встановлення достатності перевірок стану пацієнта описано в додатку Д роботи.

Датчик пульсу має електричну схему, яка реагує тільки на динамічну зміну прийнятого світлового потоку. Якщо світловий потік сталий (без різниці, наскільки він сильний), то напруга на виході датчика наближена до половини напруги живлення. Якщо світловий потік змінюється, то напруга на виході датчика також змінюється в бік збільшення або зменшення, залежно від зміни світлового потоку. Тому датчик не потребує індивідуального налаштування для кожної людини. Розмір датчика пульсу близько 16 мм в діаметрі та 3 мм в товщині. Напруга живлення датчика 5 В, а струм споживання 4 мА. На рисунку 3.10 показано три виводи на задньому боці датчика.



Рисунок 3.10 – Виводи датчику Pulse Sensor

Джерело: розроблено автором

S: Це сигнальний вивід, що під'єднується до будь-якого аналогового контакту мікроконтролера.

+ : Це живлення, від 3 до 5 В.

- : Це земля, під'єднується до виводу GND мікроконтролера.

NodeMCU V3 ESP8266. Це модуль на базі ESP8266 – це Wi-Fi мікрочіп з низькою вартістю, який має як TCP / IP стек, так і функції мікроконтролера (рис. 3.11). Він випущений компанією Espressif Systems з Шанхая, Китай. Чіп призначений для пристроїв з Інтернету Речей, а ця плата спрощує розробку, оскільки на ній вже є USB-з'єднання, регулятор живлення і всі контакти чіпа на гребінках з кроком 2,54 мм, що дозволяє використовувати його з макетною платою і створювати прототип без паяння. Крім того, плата вже має прошивку NodeMCU, яка дозволяє програмувати її мовою Lua або Arduino IDE. Плата має такі параметри: Wi-Fi за стандартом 802.11 b / g / n; Підтримка режимів STA / AP / STA + AP; Струм на контакті 15 мА; Живлення в діапазоні 4,5–10В максимум; Швидкість передавання даних 110–460800 бод за секунду; Діапазон робочих температур від – 40 до +125 °С; Вага плати 18 г.

Опис та призначення виводів.

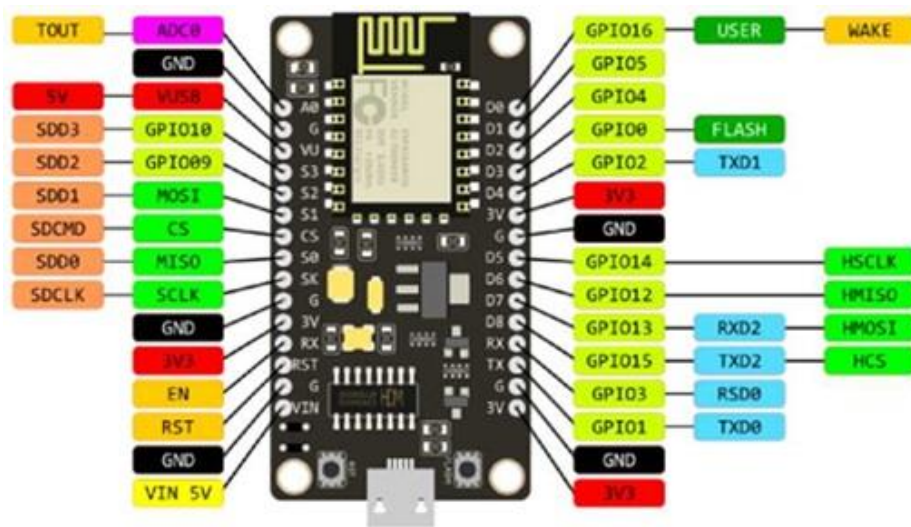


Рисунок 3.11 – Призначення виводів NodeMCU

Джерело: розроблено автором на основі даних [8]

GND. На платі є 5 контактів GND, які означають «землю», як показано на рис. 3.7.

Виводи живлення:

Vin – вивід для підключення зовнішнього джерела живлення 5В. Стабілізатор AMS1117–3.3 дозволяє використовувати Vin з різними напругами в межах 5–10 В.

3.3V – вивід, на який виходить стабілізована напруга.

Виводи GPIO (General Purpose Interput Output) – це контакти вводу / виводу для різних цілей. Вони можуть бути налаштовані як входи або виходи і мати різні функції за програмою.

Виводи керування.

Вивід Reset служить для перезавантаження мікроконтролера ESP8266.

Вивід EN вмикає і вимикає мікроконтролер ESP8266 за допомогою сигналу високого або низького рівня.

Вивід WAKE дозволяє пробудити чіп ESP8266 з режиму глибокого сну.

АЦП (ADC). ADC0 / TOUT - це вивід вбудованого 10-бітного аналого цифрового перетворювача. Перетворені значення належать інтервалу 0–1023. Плата розробки NodeMCU V3 має внутрішній дільник напруги, тому вхідний діапазон становить від 0 до 3.3 В. Для АЦП на кристалі ESP8266 вхідний діапазон напруги від 0 до 1 В.

UART. Асинхронний послідовний інтерфейс забезпечує зв'язок з іншими пристроями через шину UART. У контролера ESP8266 є два модулі UART. Заявлена виробником максимальна швидкість передачі даних 4,5 Mbps.

SPI. Послідовний периферійний інтерфейс NodeMCU має два SPI (SPI та HSPI) у режимах ведучого та підлеглого.

SDIO. Інтерфейс безпечних цифрових входів / виходів, призначений для підключення до зовнішньої флеш пам'яттю стандарту SD по послідовній шині.

Reserved. Виводи, що не мають призначення.

FLASH. Кнопка Flash на NodeMCU з'єднує GPIO0 з землею. Її можна використовувати як звичайну кнопку.

Для вимірювання температури та пульсу використовуються датчики, які з'єднуються з платою Arduino Nano. Ця плата отримує дані від датчиків і передає їх до модуля ESP для надсилання даних. Датчик пульсу підключається до GND,

5V і A0 на Arduino Nano. Датчик температури DS18B20 підключається до 3V, GND і D2 на Arduino Nano. Wi-Fi модуль ESP8266 з'єднується з Arduino Nano через D5 і D6 (рис. 3.12). Ці контакти служать для обміну інформацією між платами. На схемі наведено пристрій, який складається з наступних компонентів: Датчик пульсу, Датчик температури DS18B20, Резистор 4.7 кОм, Arduino Nano, Модуль Wi-Fi NodeMCU ESP8266.

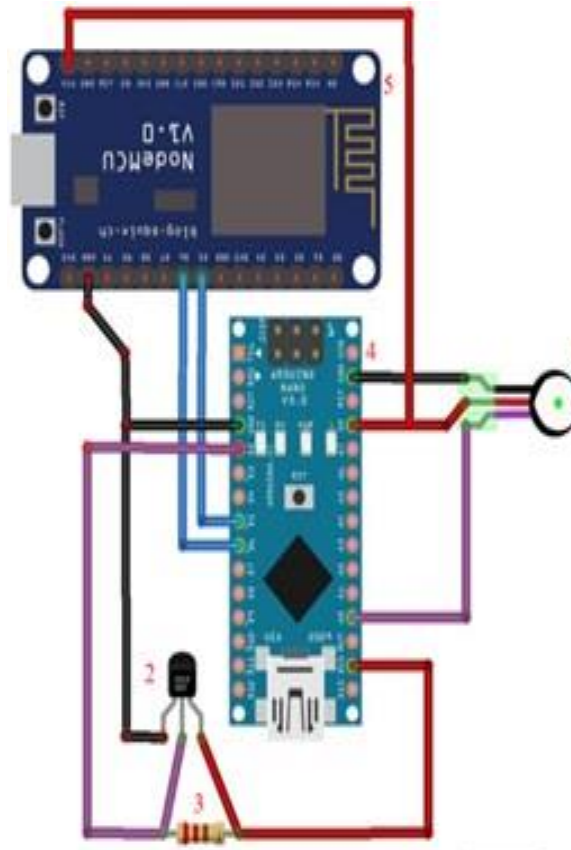


Рисунок 3.12 – Схема пристрою

Джерело: розроблено автором

3.3 Програмна реалізація та перспективи пристроїв для автоматичної оцінки стану пацієнта

Перед тим як завантажити код на Arduino Nano, треба зрозуміти які функції він має виконувати. По-перше, він має в реальному часі читати дані з датчиків температури та пульсу. Та потім кожні 8 секунд надсилати дані на Wi-Fi модуль.

Блок-схема алгоритму наведена в додатку Е та його основний функціонал описаний в додатку Є.

Запис константи `#define`:

```
#define USE_ARDUINO_INTERRUPTS true
#define ONE_WIRE_BUS 2
```

Директива `#define` використовується для надання імені константам до компіляції програми. Константи, що визначені цією директивою не займають програмної пам'яті, оскільки компілятор замінює всі посилання на них, їх значенням на етапі компіляції. Отже вони служать для зручності програміста та більшої читабельності коду. Нам важливо встановити константі `USE_ARDUINO_INTERRUPTS` значення `true` для налаштування низьких рівнів переривань для найбільш точної математики пульсу та оскільки цього потребує бібліотека `PulseSensorPlayground.h` яку ми використали для роботи з датчиком пульсу. А встановлення `ONE_WIRE_BUS` значення `2` означає, що контакт для даних ми підключили до цифрового піна `2`.

Підключення сторонніх бібліотек:

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <PulseSensorPlayground.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
```

Директива `#include` дозволяє підключати до нашого скетча зовнішні бібліотеки. Це розширює можливості стандартних бібліотек та бібліотек, що розроблені спеціально для Arduino. Бібліотека `SoftwareSerial.h` реалізує програмний послідовний інтерфейс на будь-яких цифрових пінах Arduino. Це дозволяє створювати декілька послідовних портів програмно та працювати з ними на швидкості до 115200 бод. Бод – це одиниця вимірювання кількості імпульсів за 1 секунду. За допомогою цієї бібліотеки ми будемо передавати дані з плати Nano на модуль ESP8266. Бібліотека `PulseSensorPlayground.h` допоможе нам керувати датчиком пульсу та отримувати з нього дані. Бібліотека `OneWire.h` потрібна для роботи з датчиками виробництва Dallas, до яких належить і наш датчик температури. `DallasTemperature.h` працює разом з `OneWire.h`. Н. Фрагмент коду, що описує оголошення змінних наведено нижче.


```
SoftwareSerial a [5,6);
OneWire oneWire (ONE WIRE BUS);
DallasTemperature sensors (JsoneWire);
const int PulseWire = 0; float Threshold = 550;
```

У першому рядку коду ми задаємо 5 та 6 цифрові піни для передачі даних між платами. Потім ми ініціалізуємо об'єкт OneWire для роботи з однопроводними пристроями, наприклад, з температурним датчиком. Далі ми передаємо об'єкт OneWire як параметр об'єкту sensors. Наприкінці, ми створюємо функцію setup, що має дві змінні, одна з яких вказує на те, що датчик пульсу підключений до нульового аналогового піну. Інша змінна використовується для встановлення порогу сигналу, який вважатиметься за удар серця, а який пропускатиметься. Функція setup наведена нижче.

```
void setup () {
  delay (10000);
  s. begin (9600);
  Serial. begin (9600);
  pulseSensor. analogInput (PulseWire);
  pulseSensor. setThreshold (Threshold);
  if (pulseSensor. begin () ) {
    Serial. println («Start pulse»);
    sensors. begin();
  }
}
```

Функція setup служить для налаштування системи. У цій функції мікроконтролер виконує команди один раз при запуску системи після завантаження. Delay (10000) «командує» мікроконтролеру зупинитися на 10 секунд перед тим як продовжити роботу. Це потрібно для того, щоб датчики налаштувалися та відразу давали правильний результат. S. begin (9600), ця інструкція запускає роботу з послідовним портом, який буде надсилати дані на іншу плату, на швидкості у 9600 імпульсів за секунду. Далі за допомогою pulseSensor, який є об'єктом класу PulseSensorPlayground ми показуємо мікроконтролеру з якого аналогового піна будуть отримуватися дані з датчика пульсу. У моєму випадку це пін A0. Потім задаємо які дані пульсу будуть пропускатися. Через умовний оператор if ми говоримо програмі, що бібліотека

sensors має працювати тільки після того як датчик пульсу налаштується та почне надавати актуальні дані.

Цей мікроконтролер має виконувати декілька задач. По-перше, він має отримувати дані діагностики з іншої плати кожні 8 секунд і зберігати їх у відповідних змінних. По-друге, він має надсилати ці дані на Google Диск через Wi-Fi. По-третє, він має додавати до кожного результату моніторингу час його отримання, щоб лікар міг аналізувати динаміку. Оскільки пристрій не підключений до комп'ютера і працює самостійно (рис. 3.13), він має синхронізуватися з сервером світового часу при кожному з'єднанні з Google Диском і перетворювати час у зручний формат.

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiUdp.h>
#include "HTTPSRedirect.h"
#include "DebugMacros.h"

SoftwareSerial s(D6, D5);
```

Рисунок 3.13 – Підключення необхідних бібліотек

Джерело: розроблено автором

Для роботи NodeMCU потрібно не тільки запрограмувати його, але і налаштувати Google Диск для прийому даних з Arduino. Бібліотека SoftwareSerial.h використовується для комунікації з Arduino Nano і має ті ж функції, що і раніше. Бібліотека ESP8266Wi-Fi.h дозволяє підключити модуль до Wi-Fi і обмінюватися даними через мережу. Далі ми використовуємо бібліотеку для роботи з UDP-протоколом (рис. 3.13). UDP це мережевий протокол, який дозволяє надсилати повідомлення між IP-хостами без попереднього встановлення з'єднання. Бібліотека HTTPSRedirect.h базується на бібліотеці Wifi і спрощує комунікацію з серверами по http і https. Для https потрібно мати сертифікати або «відбитки пальців» сайтів. Бібліотека DebugMacros.h допомагає зберегти і обробити запити в цьому рядку. Нарешті, ми оголошуємо, що сигнали між платами йдуть по цифровим пінам D6 і D5.

```

unsigned int puls;
unsigned int temp;
String sheetPulse = "";
String sheetTemp = "";
const char* ssid = "TP-Link_BA54";
const char* password = "slastion4"; //Put WiFi password within the quotes
const char* host = "script.google.com";
const char *GScriptId = "AKfycbzqZP-nVgw1DcSAQYdtFsza__IUCySWWIw4o0KjDLFfhIAdxBSO"
const int httpsPort = 443; //the https port is same

```

Рисунок 3.14 – Задання змінних

Джерело: розроблено автором

Ми починаємо з оголошення змінних типу `unsigned int` для збереження показників пульсу та температури. Цей тип даних схожий на `int`, але відрізняється тим, що не має від’ємних значень і може приймати числа від 0 до 65535. Потім ми створюємо змінні типу `String`, де будуть записані дані моніторингу. Ці змінні потім об’єднуються в одну, яка буде надсилатися на Google Диск. Далі ми задаємо змінні типу `char`, які містять інформацію для підключення до Wi-Fi та Google Диска. Цей тип даних займає 1 байт і зберігає символи у вигляді чисел за таблицею ASCII-код символів. Змінним `ssid` та `password` присвоюються назва і пароль точки доступу до Інтернету (рис. 3.14). Їх можна змінити за потреби. Змінна `host` має назву сайту, до якого має звертатися мікроконтролер для вивантаження даних. Змінна `GScriptId` містить ідентифікатор скрипту, який є частиною URL веб-додатку. Вона потрібна коду Arduino для роботи з листом Google. Цей код можна отримати під час налаштування Google Диска. Для `https` за замовчуванням використовується порт 443, тому змінній `httpsPort` присвоюється таке значення.

```

const char* ntpServerName = "0.ua.pool.ntp.org";
const int NTP_PACKET_SIZE = 48; // NTP time stamp
byte packetBuffer[ NTP_PACKET_SIZE]; //buffer to

```

Рисунок 3.15 – Задання змінних серверного часу

Джерело: розроблено автором

Ми задаємо змінну `ntpServerName`, де буде ім’я серверу, до якого мікроконтролер звертатиметься за реальним часом. Це сервер в Україні, тому час

відповіді буде невеликим. `NTP_PACKET_SIZE` – це змінна типу `int`, яка дорівнює 48. Це тому, що часова мітка в повідомленні сервера міститься в перших 48 байтах (рис. 3.15).

NTP (network time protocol) – це мережевий протокол для синхронізації годинників комп'ютерів з точним часом. NTP – це стандартний протокол Інтернету, який розробив професор Девід Мілс з університету штату Делавер. В нашій роботі ми використовуємо NTP протокол не для налаштування часу комп'ютера, а для отримання реального часу, який будемо записувати в електронну таблицю разом з даними вимірювань. В кінці ми оголошуємо змінну буфер, де будуть повідомлення для обміну даними. Буфер потрібен тільки для передачі і прийому даних. Нижче показано фрагмент коду для створеної системи (рис. 3.16).

```

client = new HTTPSRedirect(httpsPort);
client->setInsecure();
client->setPrintResponseBody(true);
client->setContentTypeHeader("application/json");
Serial.print("Connecting to ");
Serial.println(host);

bool flag = false;
for (int i = 0; i < 5; i++) {
    int retval = client->connect(host, httpsPort);
    if (retval == 1) {
        flag = true;
        break;
    }
    else
        Serial.println("Connection failed. Retrying...");
}
if (!flag) {
    Serial.print("Could not connect to server: ");
    Serial.println(host);
}

```

Рисунок 3.16 – Задання буферних змінних

Джерело: розроблено автором

Головне вікно та вікно з інформацією про серцеву активність пацієнта в створюваному пристрої дано в додатку Ж роботи.

Використання бездротових датчиків і пристроїв у медичній сфері дозволяє покращувати якість і ефективність медичної допомоги, оскільки лікарі або когнітивні центри можуть віддалено слідкувати за станом пацієнта і отримувати достовірну інформацію про його здоров'я, зазвичай в реальному часі, для

проведення діагностики та встановлення попереднього діагнозу. У деяких ситуаціях при такому віддаленому медичному спостереженні пацієнт може перебувати вдома або в умовах, що йому зручні, що сприяє його психологічному комфорту і позитивному результату лікування.

Останнім часом активно розвивається технологія Інтернету розумних речей (ІоТ), яка передбачає застосування штучного інтелекту в комунікаційних мережах. Сенсорні мережі стають незамінними помічниками лікарів у задачах віддаленого контролю здоров'я пацієнтів. Зазначимо, що розумні пристрої та датчики також поширюються в електронних побутових пристроях, гаджетах, мобільних телефонах або планшетах. Все це надає можливість згаданим пристроям функціонувати самостійно.

Ще один перспективний напрямок використання віддаленого моніторингу – це його інтеграція з комплексом технологій, який називають е-медициною (eHealth). Така інтеграція може створювати широкі персоналізовані медичні рішення, які можуть давати змогу підключати будь-які портативні пристрої до «хмар», забезпечувати аналіз даних про стан пацієнта в режимі реального часу; моніторинг життєво необхідних показників здоров'я, збираних за допомогою портативних пристроїв; формування діагностичних схем і їх візуалізацію на основі збираних даних.

Телемедицина – це застосування цифрових технологій інформації та комунікації, наприклад, комп'ютерів та мобільних пристроїв, для віддаленого надання та управління медичними послугами. Онлайн-консультації стали дуже популярними в наш час, особливо під час пандемії. Штучний інтелект (ШІ) відкрив багато можливостей для віддаленої оцінки стану пацієнта, імітуючи особисте спілкування між пацієнтами та лікарями: вдалося забезпечити віддалений зв'язок та зменшити контакти, щоб запобігти поширенню інфекційної хвороби. Онлайн-консультації, крім зручності, дозволяють пацієнтам заощадити час і полегшити доступ до лікарської допомоги, а також уникнути непотрібного візиту до лікарні.

Завдяки розширенню застосування ШІ у телемедицині лікарям буде легше аналізувати, перевіряти та діагностувати різні стани пацієнтів віддалено. Найбільш поширеною технологією комунікації як і раніше є відео- та аудіочати з лікарями. Окрім цього, з'являються нові галузі телемедицини: телепсихіатрія, офтальмологія, оптометрія та теледерматологія.

ВИСНОВКИ

1. У вступі до дослідження підкреслено, що ринок «розумних» медичних пристроїв стрімко зростає і стає значно більшим за обсягом щороку. Виробники прагнуть додавати в свої нові пристрої якнайбільше додаткових функцій, що сприяє виробництву багатофункціональних пристроїв.

2. У теоретичній частині роботи описано системи контролю стану пацієнтів та проведено огляд пристроїв для оцінки стану пацієнта. Підкреслено, що створення та впровадження кіберфізичних систем привертає значну увагу серед вітчизняних та зарубіжних дослідників, що свідчить про значущість та актуальність даної проблеми.

3. Окремо розглянуто технології зв'язку, які застосовуються у пристроях медичного призначення. Зазначено, що портативні пристрої можуть аналізувати вхідні дані, а також взаємодіяти з користувачем і навколишнім середовищем. У порівнянні з традиційними методами надання лікувально-профілактичних послуг мобільна охорона здоров'я має ряд переваг, оскільки надає зручний доступ до інформації та послуг за допомогою портативних пристроїв в режимі реального часу.

4. В аналітичному розділі розглянуто основні кроки створення інформаційної системи для моніторингу стану пацієнта. Дано загальну характеристику системи та визначено найважливіші агенти у розробці. Оцінено наявність пристроїв, які можуть враховувати вплив погодних умов на стан пацієнта за допомогою браслета. Наведено приклади такої взаємодії на основі тривалості впливу УФ-променів.

5. У фінальному етапі дослідження описано необхідні компоненти та проаналізовано потрібне початкове програмне забезпечення. Зроблено порівняння переваг плати Arduino. Охарактеризовано всі виводи плати та вказано її слабкості і сильні сторони. Наведено послідовність роботи розроблюваної системи.

6. Наведено програмну реалізацію розробки та розглянуто перспективи пристроїв для автоматичної оцінки стану пацієнта.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дратований М. В. Інформаційна технологія оптимізації параметрів ансамблю моделей штучного інтелекту для прогнозування наявності опадів за даними метеомоніторингу. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2020. № 6. С. 76–83.
2. Лебедєв Г. С. Побудова телемедичної системи моніторингу стану здоров'я та підтримки соціальної адаптації дітей з розладами аутистичного спектру. *Сучасні наукомісткі технології*. 2018. № 12–2. С. 295–302.
3. Мінцер О. П. Інформаційні та мікроелектронні технології для застосування в мобільній медицині. *Надії та обмеження. Медична інформатика та інженерія*. 2018. № 2. С. 13–27.
4. AlZubi A. A., Al-Maitah M. & Alarifi, A. Cyber-attack detection in healthcare using cyber-physical system and machine learning techniques. *Soft Comput.* 2021. № 25. P., 12319–12332.
5. Arthur Gatouillat, Youakim Badr. Internet of Medical Things: A Review of Recent Contributions Dealing with Cyber-Physical Systems in Medicine. *IEEE internet of things journal*, IEEE. 2018. 5 (5). P. 3810–3822.
6. Arugula M. A. Biosensors for Detection of Genetically Modified Organisms in Food and Feed. *Genetically Modified Organisms in Food*. 2016. P. 97–110.
7. Bahadır E. B., Sezgentürk M. K. Electrochemical Biosensors for Hormone Analyses. *Biosensors and Bioelectronics*. 2015. Vol. 68. P. 62–71.
8. Berger C. Characterization of Cyber-Physical Sensor Systems. *Procedia CIRP*. 2016. Vol. 41. P. 638–643.
9. Cardin O. Classification of cyber-physical production systems applications: proposition of an analysis framework. *Computers in Industry*. 2019. Vol. 104. P. 11–21.
10. De Fazio R. Innovative IoT Solutions and Wearable Sensing Systems for Monitoring Human Biophysical Parameters: A Review. *Electronics*. 2021. Vol. 10, № 14. P. 1660.

11. Ding X., Zhang Y. T. Pulse transit time technique for cuffless unobtrusive blood pressure measurement: from theory to algorithm. *Biomedical engineering lett.* 2019. Vol. 9, № 1. P. 37–52. doi: 10.1007 / s13534–019–00096-x.
12. Emerging telemedicine tools for remote COVID–19 diagnosis, monitoring, and management. *ACS Nano*. 2020. Vol. 14, № 12. P. 16180–16193. doi: 10.1021 / acsnano. 0c08494.
13. Evolution of wearable devices with real-time disease monitoring for personalized healthcare. *Nano-materials*. 2019. Vol. 9, № 6. P. 813.
14. Ibarra-Esquer J. E. Tracking the evolution of the internet of things concept across different application domains. *Sensors*. 2017. №17 (6). P. 1379.
15. Han S., Alam M. Wearable Internet of Things for Personalized Healthcare: Study of Trends and Latent Research. *Health Informatics: A Computational Perspective in Healthcare*. Singapore: Springer, 2021. P. 43–60. doi: 10.1007 / 978–981–15–9735–0_3.
16. Hailing Fu, Zahra Sharif-Khodaei, M. H. Ferri Aliabadi. An energyefficient cyber-physical system for wireless on-board aircraft structural health monitoring. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2019. Vol. 128. P. 352–368.
17. Jijesh J. J., Shivashankar & Keshavamurthy A Supervised Learning Based Decision Support System for MultiSensor Healthcare Data from Wireless Body Sensor Networks. *Wireless Personal Communications*. 2021. Vol. 116, № 3. P. 1795–1813. doi: 10.1007 / s11277–020–07762–9.
18. Fahier N., Fang W. – C. An Advanced Plug-and-Play Network Architecture for Wireless Body Area Network Using HBC, ZigBee and NFC. *IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*. 2014. № 3. Pp. 165–166.
19. Faraone J, Gambardella G, Boland D, Fraser N, Blott M, Leong PHW. Customizing low-precision deep neural networks for FPGAs. In: *28th International Conference on Field Programmable Logic and Applications (FPL)*, IEEE. 2018. P. 97–80.
20. Grispos G., Glisson W. B. Medical Cyber-Physical Systems Development: A Forensics-Driven Approach. In *Proceedings of IEEE. ACM Conference on*

- Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE 2017)*. Philadelphia, Pennsylvania, USA. 17–19 July. 2017. P. 108–114.
21. Guo K., Li N., Kang J., Zhang J. Towards efficient federated learning-based scheme in medical cyber-physical systems for distributed data. *Software: Practice and Experience*. 2021. № 51 (11). P. 2274–2289.
 22. Kirichek R. The Model of Data Delivery from the Wireless Body Area Network to the Cloud Server with the Use of Unmanned Aerial Vehicles. *30th European Conference on Modelling and Simulation Proceedings (ECMS)*. 2016. pp. 603–606. DOI: 10.7148 / 2016–0603.
 23. Krening S., and M. Feigh, K. Interaction algorithm effect on human experience with reinforcement learning. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction*, 2018. Vol. 7. P. 1–22.
 24. Kyoung-Dae Kim An Overview and Some Challenges in Cyber-Physical Systems Some Challenges in Cyber-Physical Systems. *Cyber-physical Systems Architecture for SelfAware Machines in Industry 4.0 Environment, IFAC-Papers On Line*. 2015. Vol. 48. Issue 3. P. 1622–1627.
 25. Liu X., Wei Y., Qiu Y. Advanced Flexible Skin-Like Pressure and Strain Sensors for Human Health Monitoring. *Micromachines*. 2021. Vol. 12, № 6. P. 695. doi: 10.3390 / mi12060695.
 26. Lu Y. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*. 2017. № 6. P. 1–10.
 27. Massoomi M. R., Handberg E. M. Increasing and evolving role of smart devices in modern medicine. *European Cardiology Review*. 2019. Vol. 14, № 3. P. 181–186. doi: 10.15420 / ecr. 2019.02.
 28. Martsenyuk V., Sverstiuk A. Cyber-physical model of the immunosensor system at the hexagonal lattice with the use of differential equations of the population dynamics. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2019. № 1. P. 75–83.

29. Martseniuk V. P. Pro model kiber-fizychnoi systemy z atakamy stanu ta vymiriuvan na osnovi stokhastychnykh riznytsevykhriuvniam. *Zakhyst informatsii*. 2019. Tom 21. № 1. С. 5–12.
30. Melnik A. Cyber-physical systems multilayer platform and research framework. *Advances in cyber-physical systems*. 2016. Vol. 1. Number 1. R. 1–6.
31. Nawaf Hazim Barnouti, Sinan Sameer Mahmood. Pathfinding in Strategy Games and Maze Solving Using A Search Algorithm. *Journal of Computer and Communications*. 2016. Vol. 4. № 11. P. 15–25.
32. On Architecture of Self-Sustainable Wearable Sensor Node for IoT Healthcare Applications. *Wireless Personal Communications*. 2021. Vol. 119, № 5. P. 1–15. doi: 10.1007 / s11277–021–08229–1.
33. Özdemir Vural. The big picture on the «AI turn» for digital health: The internet of things and cyber-physical systems. *OMICS: A Journal of Integrative Biology*. 2019. № 23. P. 308–311.
34. Quevat A., Heinze A. The digital transformation of preventive telemedicine in France based on the use of connected wearable devices. *Global Business and Organizational Excellence*. 2020. Vol. 39, № 6. P. 17–27.
35. Patient Monitoring System with Miniaturization of Sensors. *International J. of Engineering and Advanced Technology (IJ EAT)*. 2019. Vol. 9, iss. IS4. P. 495–501. doi: 10.35940 / ijeat. A1111.1291 S. 419.
36. Rathee K., V. Dhull, R. Dhull Biosensors Based on Electrochemical Lactate Detection: A Comprehensive Review. *Nauka ta naukoznavstvo. Biochemistry and Biophysics Reports*. 2016. № 3. Vol. 5. P. 35–54.
37. Shah A. A, Zaidi Z. A, Chowdhry B. S, Daudpoto J. Real time face detection / monitor using raspberry pi and MATLAB. In: *IEEE 10th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*. 2016. P. 1–4.
38. Shi M. A. Iqbal Advances in healthcare wearable devices, I. Mahgoub, E. Du *Flexible Electronics*. 2021. Vol. 5, № 1. P. 1–14.

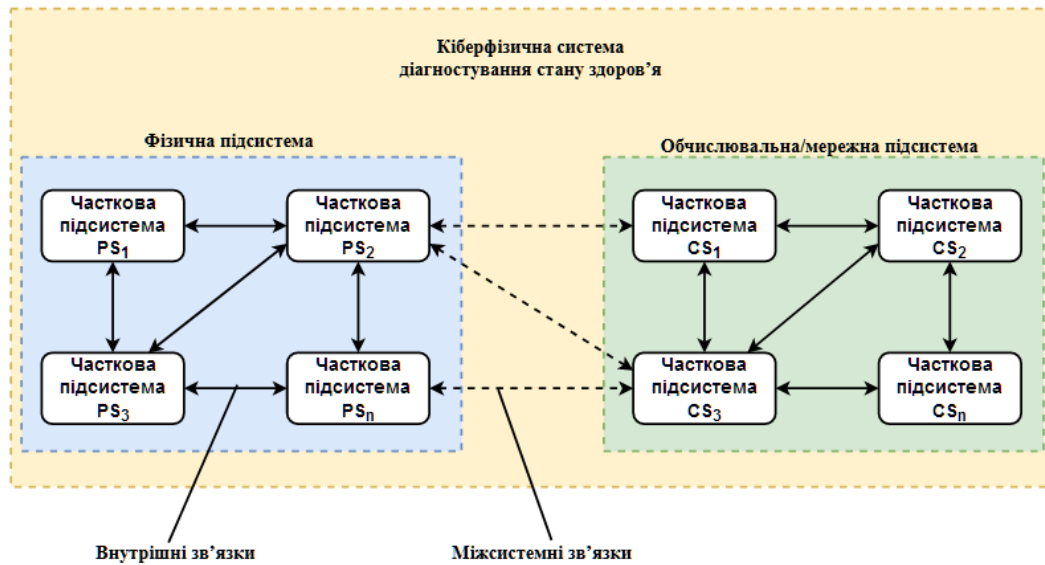
39. Silva L. C. Model-Based Approach to Support Validation of Medical Cyber-Physical Systems. *Sensors*. 2015. № 15 (11). P. 27625–27670.
40. Self-sustainable smart ring for long-term monitoring of blood oxygenation. *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. P. 115400–115408. doi: 10.1109 / ACCESS. 2019.2928055.
41. Schroeder B. L., Fraulini N. W. Using a Non-player Character to Improve Training Outcomes for Submarine Electronic Warfare Operators. In: Sottolare R., Schwarz J. (eds) *Adaptive Instructional Systems*. HCII 2020. Pp. 210-217.
42. Hillege, R.H.L., Lo, J.C., Janssen, C.P., Romeijn, N. (2020). The Mental Machine: Classifying Mental Workload State from Unobtrusive Heart Rate-Measures Using Machine Learning. In: Sottolare, R.A., Schwarz, J. (eds) *Adaptive Instructional Systems*. HCII 2020. Lecture Notes in Computer Science(), vol 12214. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50788-6_24.
43. Sverstiuk A. S. Modeliuvannia kiberfizychnoi imunosensornoï systemy na priamokutnii reshittsi z vykorystanniam reshitchastykh dyferentsialnykh rivnian iz zapiznenniam. *Sensorna elektronika ta mikrosystemni tekhnolohii*. 2019. № 2. S. 53–65.
44. Tamura T. Current progress of photoplethysmography and SPO2 for health monitoring. *Biomedical engineering lett*. 2019. Vol. 9, № 1. P. 21–36. doi: 10.1007 / s13534–019–00097-w.
45. Tracy T., Fu Y., Roy I., Jonas E. High Performance Computing. ISC High Performance 2016. *Lecture Notes in Computer Science*, 2016. Vol 96–97. Springer, Cham. P. 200–218.
46. Weghorn H. Efforts in Developing Android Smartphone Sports and Healthcare Apps Based on Bluetooth Low Energy and ANT+ Communication Standards. *15th International Conference on Innovations for Community Services*. 2015. pp. 1–7.
47. Zhang W., Asiri A. M., Liu D. Nanomaterial-Based Biosensors for Environmental and Biological Monitoring of Organophosphorus Pesticides and Nerve Agents. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2014. Vol. 54. P. 1–10.

48. Zhybak M. Creatinine and Urea Biosensors Based on a Novel Ammonium. *Ion-Selective CopperPolyaniline Nano-Composite. Biosensors and Bioelectronics*. 2016. Vol. 77. P. 505–511.
49. Zh. Ma, Sh. Li Advanced electronic skin devices for healthcare applications. *J. of Materials Chemistry B*. 2019. Vol. 7, № 2. P. 173–197.

ДОДАТКИ

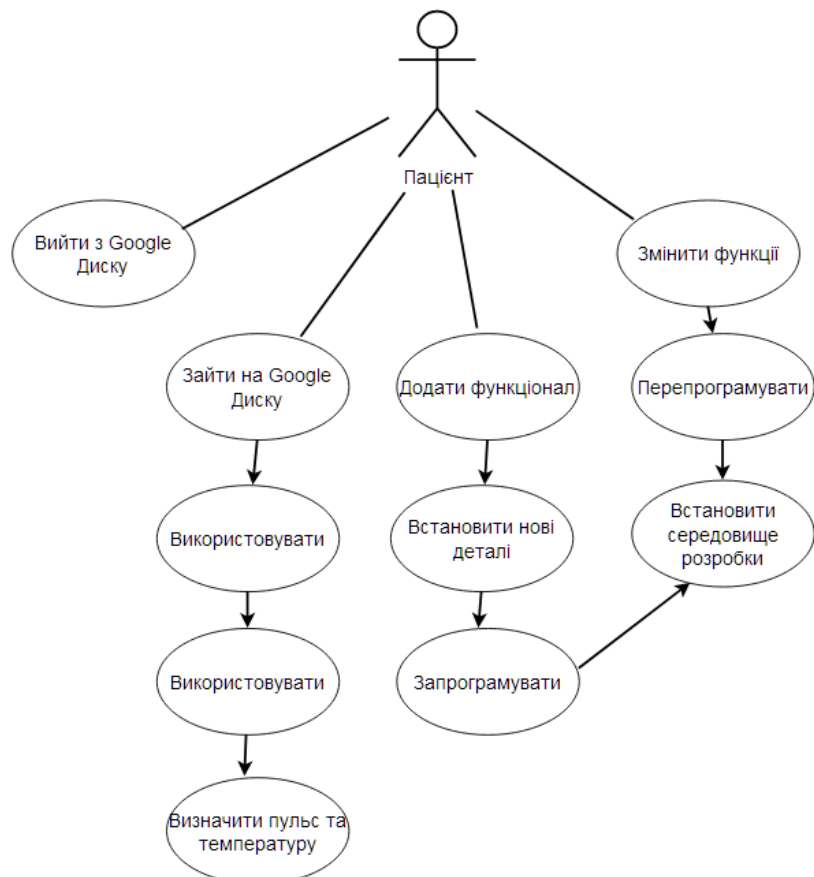
Додаток А

Концептуальна модель КФС діагностування стану здоров'я

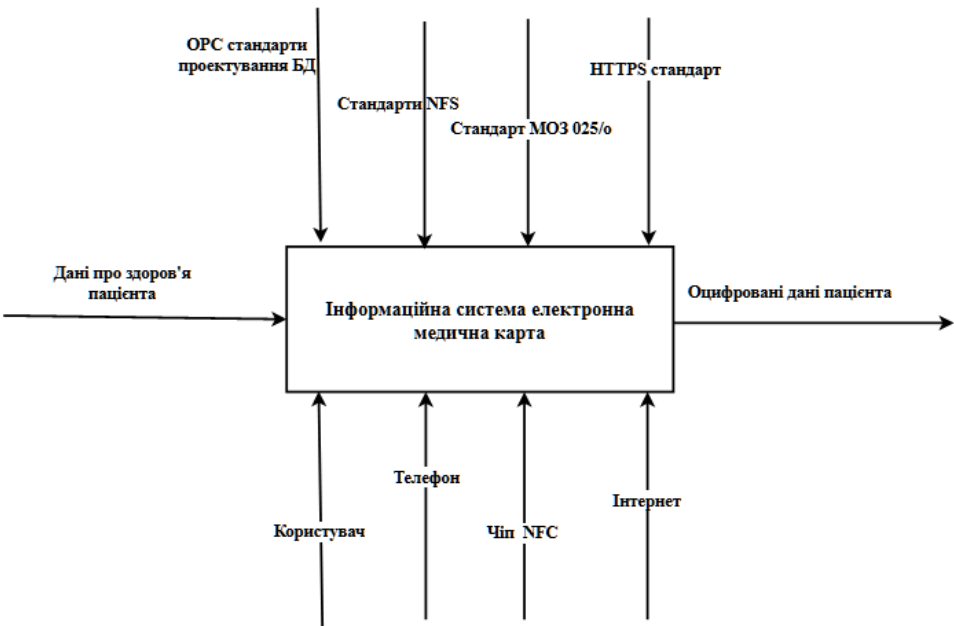


Додаток Б

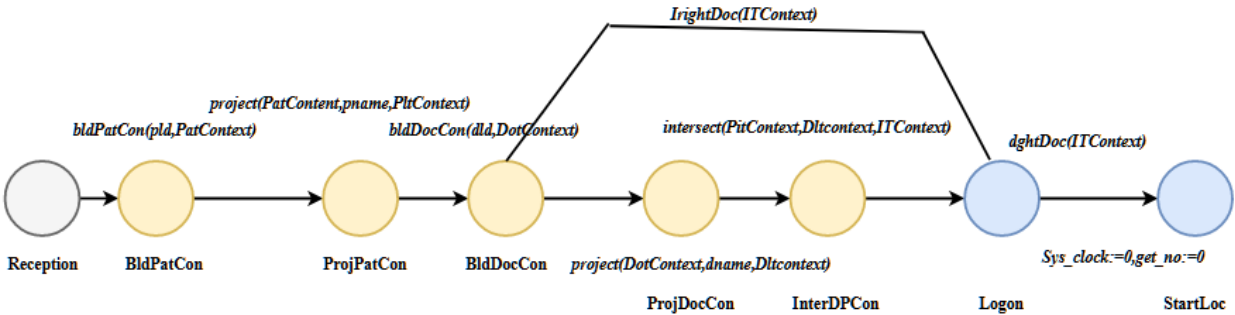
Структурна схема сценарію використання



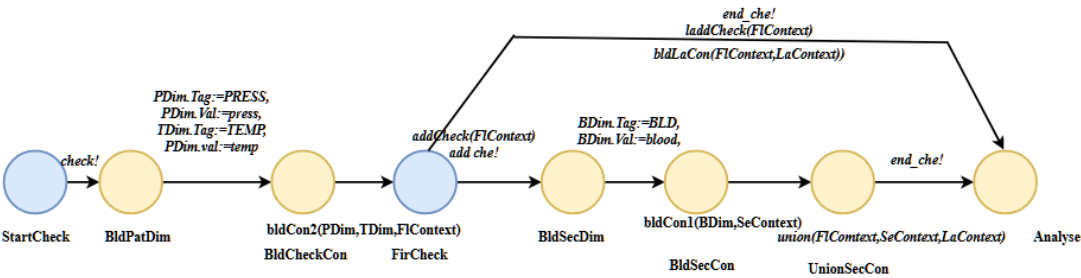
Діаграма декомпозиції IDEF0



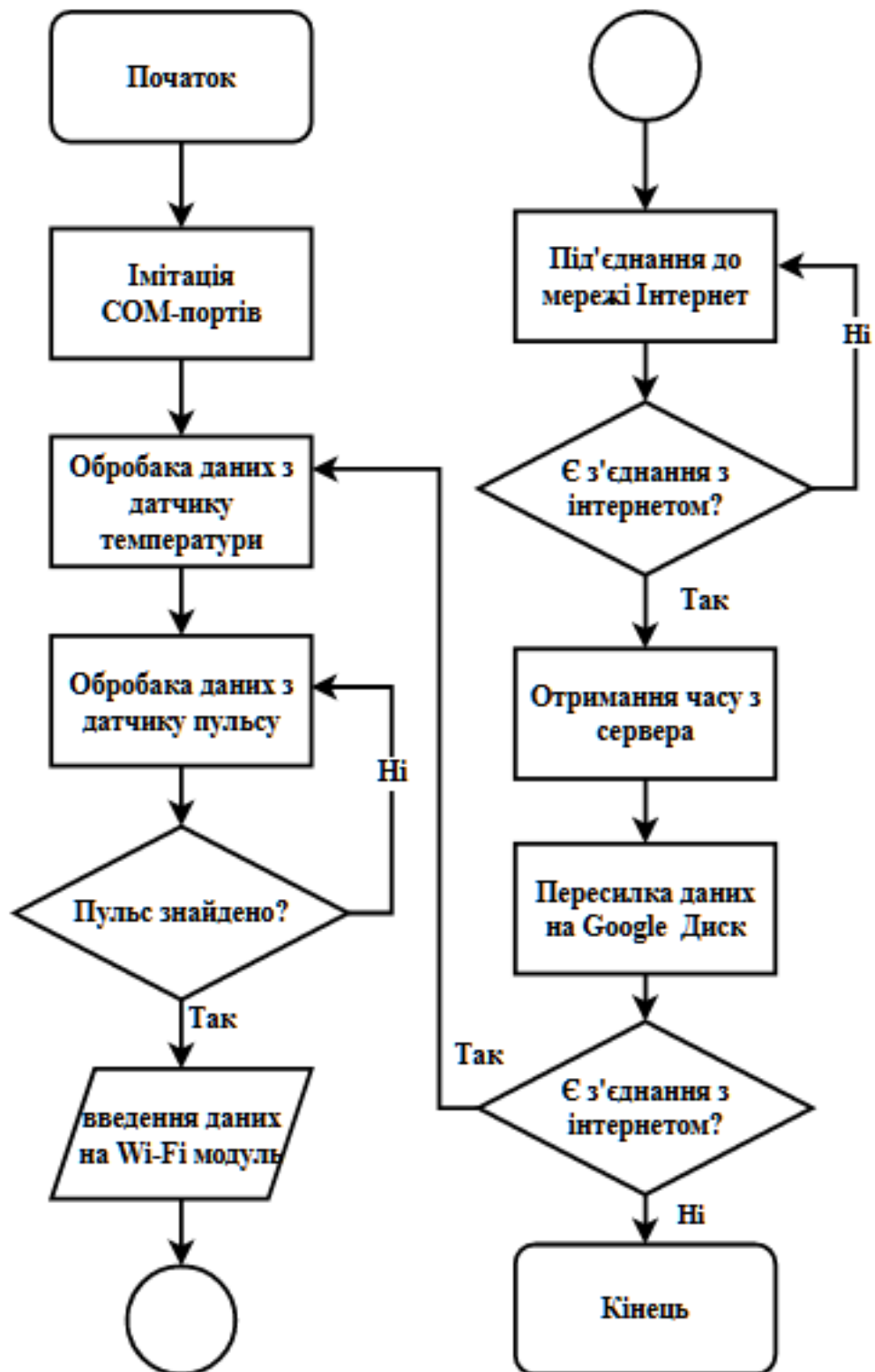
Механізм визначення місцеположення пацієнта



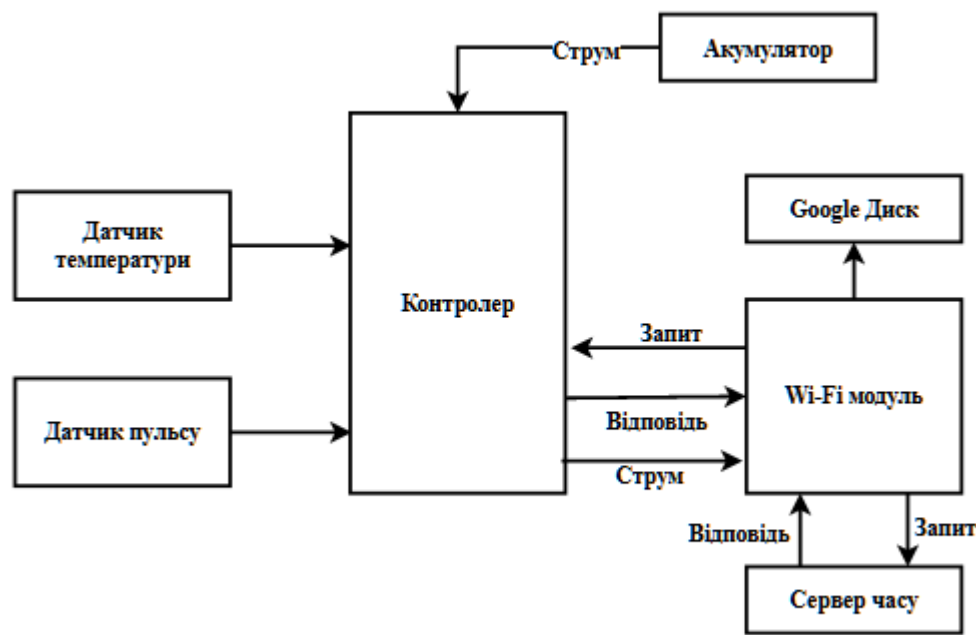
Механізм визначення достатності перевірок стану пацієнта



Блок-схема алгоритму



Функціональна схема алгоритму



Головне вікно та вікно з інформацію про серцеву активність пацієнта



Вікна з вимірюванням руху та калорій



Алгоритм перевірки ПЗ КФС

