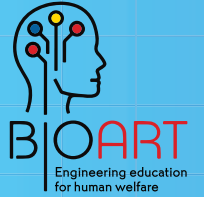


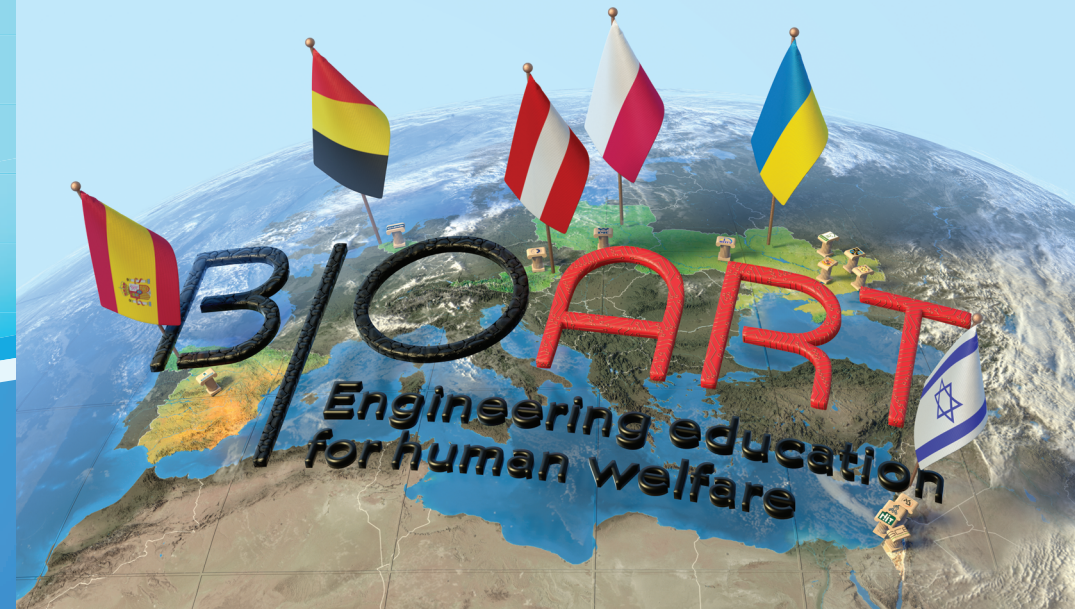


Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



ВБУДОВАНІ БІОМЕДИЧНІ СИСТЕМИ ТА БЕЗДРОТОВІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК



2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»



Пархоменко А.В., Туленков А.В. Гладкова О.М., Залюбовський Я.І.

**ВБУДОВАНІ БІОМЕДИЧНІ СИСТЕМИ ТА БЕЗДРОТОВІ
СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ**

Навчальний посібник

Житомир
Видавець ПП «Свро-Волинь»
2021

УДК 004.031.6

B23

*Рекомендовано Вченою радою НУ Запорізька політехніка
(протокол № 2 від 02.03.2020)*

Рецензенти:

Тарасов О.Ф., д.т.н., професор, завідувачий кафедрою комп'ютерних інформаційних технологій Донбаської державної машинобудівної академії;

Теслюк В.М., д.т.н., професор кафедри систем автоматизованого проектування Національного університету «Львівська політехніка».

B23 Вбудовані біомедичні системи та бездротові сенсорні мережі: навчальний посібник. / Пархоменко А. В., Туленков А.В., Гладкова О. М., Залюбовський Я. І. – Житомир: ПП «Євро-Волинь», 2021. – 200 с.

ISBN 978-617-7992-12-6

Розглянуто особливості процесу проектування вбудованих біомедичних систем, зокрема носимих пристроїв для контролю показників фізичного стану людини. Викладено основні принципи побудови бездротових сенсорних мереж. Наведено практичні приклади створення систем віддаленого моніторингу показників фізичного стану пацієнтів, а також мікроклімату медичних приміщень. Посібник призначений для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальностями галузей знань 12 «Інформаційні технології», 17 «Електроніка та телекомунікації» та 15 «Автоматизація та приладобудування», а також може використовуватись інженерами, аспірантами та студентами інших спеціальностей для отримання знань та практичного досвіду роботи з вбудованими біомедичними системами.

Видання здійснено за підтримки міжнародного освітнього проекту «Innovative Multidisciplinary Curriculum in Artificial Implants for Bio-Engineering BSc/MSc Degrees» (BIOART, реєстр. номер 586114-EPP-1-2017-1-ES-EPPKA2-CBHE-JP) програми Erasmus+ Європейського Союзу. Зміст матеріалу відображає думку авторів. Європейська комісія не несе відповідальності за використання інформації, що міститься у виданні.

УДК 004.031.6

© Пархоменко А.В., Туленков А.В., Гладкова О.М.,
Залюбовський Я.І., НУЗП 2021

ISBN 978-617-7992-12-6

© Видавець ПП «Євро-Волинь», видання, 2021

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ФІЗИЧНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ.....	11
1.1 Аналіз показників фізичного стану людини.....	11
1.2 Класифікація та огляд існуючих носимих пристроїв.....	14
1.2.1 Розумні годинники.....	20
1.2.2 Фітнес-трекери.....	22
1.2.3 Огляд існуючих прототипів носимих пристроїв.....	23
1.3 Висновки до розділу 1.....	26
1.4 Контрольні питання.....	27
1.5 Практичні завдання.....	27
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РЕАЛІЗАЦІЇ БЕЗДРОВОТИХ ТЕХНОЛОГІЙ, СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ.....	28
2.1 Огляд та порівняльна характеристика бездротових мереж.....	28
2.2 Особливості реалізації Wi-Fi технології.....	31
2.3 Особливості використання RTLS систем у медичній галузі.....	34
2.4 Особливості використання RFID систем у медичній галузі.....	38
2.5 Організація Mesh-мережі.....	40
2.6 Висновки до розділу 2.....	42
2.7 Контрольні питання.....	42
2.8 Практичні завдання.....	42
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ ПОКАЗНИКІВ ФІЗИЧНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ.....	43
3.1 Архітектура системи віддаленого моніторингу.....	43
3.2 Структурна схема проєктованого носимого пристрою....	46
3.3 Розробка апаратного забезпечення.....	48
3.3.1 Аналіз та вибір електронних компонентів.....	48
3.3.2 Вибір середовища проєктування.....	60
3.3.3 Проєктування механічної частини носимого пристрою.....	61
3.3.4 Виготовлення фізичного прототипу.....	73
3.4 Розробка програмного забезпечення.....	74

3.5 Висновки до розділу 3.....	78
3.6 Контрольні питання.....	79
3.7 Практичні завдання.....	79
4 ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ.....	80
4.1 Дослідження особливостей моніторингу кардіо- параметрів людини.....	80
4.1.1 Поняття про електрокардіографію.....	80
4.1.2 Структура серцевого циклу.....	82
4.1.3 Розробка системи моніторингу кардіо- параметрів.....	85
4.1.4 Виведення ЕКГ на портативний пристрій.....	92
4.1.5 Завдання до лабораторної роботи.....	95
4.1.6 Зміст звіту.....	96
4.1.7 Контрольні питання.....	96
4.2 Система моніторингу загальних характеристик стану пацієнта.....	96
4.2.1 Огляд існуючих систем самодіагностики.....	96
4.2.2 Апаратне та програмне забезпечення системи моніторингу.....	99
4.2.3 Завдання до лабораторної роботи.....	105
4.2.4 Зміст звіту.....	105
4.2.5 Контрольні питання.....	105
4.3 Система віддаленого моніторингу показників фізичного стану мобільних пацієнтів.....	106
4.3.1 IoT сервіс.....	106
4.3.2 Wi-Fi модуль ESP32.....	107
4.3.3 Налаштування Wi-Fi модуля ESP32 та хмарного сервісу Thingier.io.....	108
4.3.4 Завдання до лабораторної роботи.....	116
4.3.5 Зміст звіту.....	117
4.3.6 Контрольні питання.....	117
4.4 Система моніторингу показників мікроклімату приміщення перебування пацієнта.....	117
4.4.1 Апаратне та програмне забезпечення контролю температури і вологості.....	117
4.4.2 Налаштування застосунку eWeLink.....	119
4.4.3 Завдання до лабораторної роботи.....	127
4.4.4 Зміст звіту.....	128

4.4.5 Контрольні питання.....	128
4.5 Дослідження телемедичної системи на основі шилда Waveshare.....	128
4.5.1 Характеристики комунікаційного шилда GSM / GPRS / GNSS / Bluetooth HAT.....	128
4.5.2 Здійснення телефонного дзвінка за допомогою комунікаційного шилда.....	133
4.5.3 Визначення геолокації за допомогою комунікаційного шилда.....	137
4.5.4 Взаємодія GSM/GPRS/GNSS/ Bluetooth HAT та Raspberry Pi.....	141
4.5.5 Завдання до лабораторної роботи.....	162
4.5.6 Зміст звіту.....	162
4.5.7 Контрольні питання.....	162
4.6 Дослідження та розробка носимих пристроїв для пацієнтів з особливими потребами	162
4.6.1 Адаптація системи Розумний будинок для людей з особливими потребами.....	162
4.6.2 Дослідження варіантів організації взаємодії носимого пристрою зі смартфоном.....	164
4.6.3 Особливості Bluetooth технології.....	168
4.6.4 Підсистема керування жестами.....	170
4.6.5 Порядок виконання роботи.....	172
4.6.6 Завдання до лабораторної роботи.....	183
4.6.7 Зміст звіту.....	183
4.6.8 Контрольні питання.....	183
Висновки.....	184
Перелік джерел посилання.....	185
Додаток - Текст програми.....	192
Алфавітно-предметний покажчик.....	199

ВСТУП

Всесвітня тенденція розвитку цифрової охорони здоров'я, технічних засобів діагностування, самодіагностування та віддаленого діагностування біологічних параметрів життя людини сприяє тому, що «розумні» медичні пристрої вже складають суттєву частину всесвітнього ринку «розумних» міст [1]. Згідно з дослідженнями компанії Aruba, що належить Hewlett Packard, на сьогоднішній день шість з десяти організацій охорони здоров'я у світі вже використовують технології Інтернету речей (IoT). Основними напрямками застосування «розумної» техніки та IoT технологій в медицині є: моніторинг та технічне обслуговування медичного обладнання (73%), догляд за пацієнтами (42%), послуги геолокації обладнання (47%), функції віддаленого управління та контролю за обладнанням та приладами (50%) [2].

На даний час в Україні реалізується електронна система охорони здоров'я [3], що передбачає організацію віддаленої інформаційної взаємодії пацієнта з лікарем (електронні медичні картки пацієнтів, документообіг) та можливість підключення різноманітних інформаційних сервісів та обладнання [4-5].

Впровадження інформаційних технологій в медицину створює підґрунтя для удосконалення методів віддаленого моніторингу біологічних параметрів життя людини, засобів діагностування та самодіагностування [6-8].

Частота серцевих скорочень (ЧСС), артеріальний тиск і температура тіла є основними показниками, які контролюються як лікарями в медичних закладах, так і особисто пацієнтами вдома. Ці дані є надзвичайно важливими та дозволяють робити обґрунтовані висновки про стан здоров'я людей різних вікових груп. Через пандемію, спричинену коронавірусною хворобою, важливим показником стану здоров'я пацієнта є також насиченість крові киснем. Клінічний досвід показує, що відхилення цих показників від норми – це перший сигнал про різні захворювання [9]. Тому, раннє виявлення патологічних станів, при яких потрібна невідкладна медична допомога або лікування, є дуже важливим.

На сьогоднішній день в медичній практиці використовуються різноманітні кардіомонітори, що відрізняються умовами застосування, набором контрольованих параметрів,

експлуатаційними властивостями, методами обробки і візуалізації інформації [10]. Більшість з них є стаціонарними та не забезпечують підключення до мережі Інтернет, або до локальної інформаційної мережі лікарні для передачі даних, які є важливими для надання термінової допомоги або вибору стратегії подальшого лікування.

Серед десяти найважливіших технологій у 2019 році Білл Гейтс назвав використання для моніторингу серцевої діяльності носимих пристроїв, які дозволяють своєчасно виявити критичний стан людини та допомогти їй уникнути наслідків [11].

На ринку представлено багато різних моделей пульсометрів, фітнес-годинників і навіть бездротових навушників, які можна використовувати для отримання кардіо-даних [12-13]. Типовий їх недолік - низька точність. Тому провідні компанії (Apple, AliveCor, Withings) працюють над розробкою носимих пристроїв з функцією електрокардіограми (ЕКГ), які надають більш високу точність. Недоліком цих пристроїв є досить висока вартість (наприклад, для Apple Watch Series 6 це близько 450 євро) [14]. Проблема також в тому, що дані моніторингу зазвичай відображаються та зберігаються локально без можливості візуалізації для лікаря, передачі в інформаційну мережу медичного закладу та подальшої обробки для прийняття рішень щодо лікування. Тому, подальше удосконалення носимих біомедичних пристроїв віддаленого моніторингу показників фізичного стану людини для роботи у складі інформаційної мережі медичних закладів є актуальною задачею.

В першому розділі виконано огляд параметрів моніторингу фізичного стану людини, а також аналіз функціональних можливостей існуючих носимих пристроїв.

В другому розділі проведено дослідження бездротових технологій, зокрема Wi-Fi технології, та особливостей їх реалізації, в тому числі на основі побудови Mesh-мережі.

В третьому розділі представлено розробку архітектури системи моніторингу; структурної схеми носимого пристрою; аналіз та вибір апаратної частини для забезпечення необхідного функціоналу носимого пристрою (отримана вартість комплексу компонентів електронної частини склала 22,60 \$); проєктування конструкції носимого пристрою на основі сучасної САПР;

дослідження особливостей технології 3D друкування для виготовлення конструкції прототипу; розробку програмного забезпечення для носимого пристрою.

В четвертому розділі пропонується лабораторний практикум, метою якого є вивчення апаратних та програмних засобів моніторингу біомедичних показників стану людини та технологій бездротової передачі даних, що збираються та аналізуються. Виконання робіт забезпечить студенту розуміння принципів створення вбудованих біомедичних систем та використання бездротових технологій при розробці апаратів та систем медичної діагностики.

Пропонуються наступні напрямки практичних досліджень: моніторинг кардіо-параметрів та загальних характеристик стану пацієнтів у стані спокою та в динаміці; моніторинг показників мікроклімату приміщення перебування пацієнта; розробка телемедичної комунікаційної системи та підсистеми керування жестами на основі спеціальних засобів та протоколів передачі даних.

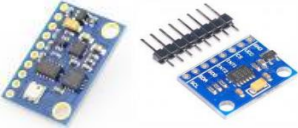
В рамках дослідження системи моніторингу кардіо-параметрів пацієнта передбачається робота з даними пульсу, електрокардіограмою пацієнта з графічним виводом на монітор та дисплей. Система моніторингу загальних характеристик стану пацієнта дозволяє провести особисте самостійне діагностування біомедичних показників стану пацієнта (температура та вологість тіла, пульс, тиск, насиченість крові киснем, рівень цукру в крові) на основі використання набору датчиків. Віддалений моніторинг показників фізичного стану мобільних пацієнтів передбачає використання IoT-сервісів, технології Wi-Fi, HTTP протоколу, мультимедійних пристроїв виводу інформації, засобів пост-обробки та інтерпретації інформації. Пропонується також дослідження телемедичної системи на основі мінікомп'ютера Raspberry Pi та комунікаційного шилда GSM / GPRS / GNSS / Bluetooth HAT. Розробка підсистеми управління жестами передбачає використання технологій Bluetooth/BLE, засобів візуалізації даних та застосування акселерометра-гіроскопа. Крім того, актуальним є вивчення принципів оптимізації живлення для портативних пристроїв, що використовують акумулятори, а також використання енергоефективних технологій для передачі даних.

Обладнання для виконання лабораторного практикуму студентами Національного університету «Запорізька політехніка» було придбане за кошти міжнародного освітнього проєкту BIOART "Інноваційна мультидисциплінарна освітня програма зі штучних імплантів для біоінженерії для бакалаврів та магістрів" Європейського Союзу (див. табл.1).

Таблиця 1 – Перелік придбаного обладнання для лабораторного практикуму

Зображення обладнання	Опис
	3.5" 320x480 TFT LCD (ASC201) кольоровий дисплей для Arduino Mega 2560
	Модуль ЕКГ Lead Heart Rate Monitor на основі чіпа AD8232 (для Arduino) та набір електродів Skintact
	Модуль барометра BMP180 (датчик атмосферного тиску) (ADC-148) для Arduino
	Датчик пульсу MAX30102 (ADC218) для Arduino
	Датчик вологості та температури DHT22 (ADC124) для Arduino

Продовження таблиці 1.

Зображення обладнання	Опис
	Wi-Fi модуль LuaNode32 с ESP-32 для Arduino (AOC515)
	Wi-Fi перемикач Sonoff TH 10A 16A від Itead
	Цифровий датчик температури Sensor-DS18D20 для Sonoff TH 10A 16A от Itead (AOC211) для Arduino
	Модуль GSM/GPRS/GNSS/Bluetooth HAT для RaspberryPi від Waveshare (DPC311)
	GY-801 IMU 10-DOF, L3G4200D+ADXLS345+HMC5883L+BM P180
	Bluetooth модуль HC-05 для підключення Arduino до інших пристроїв (AOC165)

1 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ФІЗИЧНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ

1.1 Аналіз показників фізичного стану людини

Пульс представляє собою процес коливання стінок судин внаслідок скорочень м'язів серця. Цей показник дає можливість оцінювати роботу серця та стан судин пацієнта. Є певні вимоги до результатів вимірювань, зокрема інтервали між пульсаціями повинні бути подібними. Якщо є певна нерівномірність ударів серця, то це можна вважати ознакою проблем в організмі. Лікар має поставити діагноз, який може вказувати як на проблеми з серцево-судинною системою, так і на захворювання ендокринної системи [15].

В принципі пульс визначають на різних артеріях: променевій, плечовій, стегновій або підключичній. Вимірювати його можна на внутрішньому боці зап'ястя руки, на шиї, де проходить сонна артерія, або на скроні. Для здорової людини можливо вимірювати пульс протягом 30 секунд та далі множенням на два, розраховувати результат. Для підвищення точності вимірів показники фіксують на обох руках, а також вимірювати пульс 60 секунд.

З метою діагностики складних захворювань, знімають електрокардіограму (ЕКГ), а також проводять підрахунок пульсу за добу (це так зване вольтерівське монтування) [15]. Інколи, для контролю стану хворих після інфаркту міокарда, стентування, аорто-коронарного шунтування застосовують метод дослідження стану серця при фізичному навантаженні (тредміл-тест). Таким чином оцінюють серцевий ритм та артеріальний тиск [16].

Для дорослих пацієнтів норма пульсу в стані спокою становить 60-90 ударів. Через певні серцево-судинні захворювання, нервові напруження або інші причини, частота серцевих скорочень може зростати на певний проміжок часу, або триматися підвищеною постійно [15].

Факторами можуть вважатися вік, нервові стреси, гормональні порушення, фізичні вправи, прийом їжі, зміна положення тіла, температура та інші чинники зовнішнього середовища. Такі величини як кількість серцевих скорочень та кількість пульсових хвиль за хвилину відповідають одна одній.

Показники пульсу у жінок та чоловіків, дорослих та дітей різняться. Зазвичай пульс в нормі у жінок на 5-8 ударів вище, ніж у чоловіків. У немовлят пульс в 140 ударів розглядається як нормальний, а для дорослого це тахікардія, яка може бути ознакою захворювання серця або інших органів, або тимчасовим функціональним станом. ЧСС найбільш висока в період з 15 до 20 години, оскільки суттєво залежить від добових біоритмів людини. Норми пульсу в залежності від віку у жінок і чоловіків наведено у таблиці 1.1 [15].

Таблиця 1.1 – Таблиця нормативних показників

Вік	Пульс min-max	Середнє значення	Норма артеріального тиску (сistol./діастол.)	
			Жінки	Чоловіки
До 50 років	60-80	70	116-137/70-85	123-135/76-83
50-60	65-85	75	140/80	142/85
60-80	70-90	80	144-159/85	142/80-85

Пульсоксиметрія (оксигеметрія, гемоксиметрія) представляє собою метод визначення ступеня насиченості крові киснем та використовує спектрофотометричний спосіб оцінки кількості гемоглобіну в крові. Проводиться за допомогою пульсоксиметра [17].

Показання для пульсоксиметрії:

- дихальна недостатність або явна підозра на неї;
- контроль стану пацієнта;
- під час наркозу та в післяопераційному періоді;
- під час кисневої терапії;
- в ході лікування важких пацієнтів;
- діагностика деяких порушень сну, наприклад, синдрому обструктивного апное.

Норми показаників:

- 95-98% у здорових випробовуваних;
- більш високі значення бувають при кисневій терапії;
- значення нижче цього рівня вказують на дихальну недостатність [17].

Температура тіла є комплексним показником теплового стану організму людини та одним з основних та найстаріших біомаркерів. З медичної точки зору вимірювання температури тіла відіграє важливу роль. Це пояснюється тим, що багато захворювань супроводжуються характерними змінами температури тіла. Більш того, протікання деяких захворювань контролюється шляхом вимірювання температури тіла, отже лікар може оцінювати ефективність свого призначення. Підвищення температури – це реакція на збудника будь-якого захворювання, при якому центр терморегуляції змінює температуру для активізації захисної системи організму на боротьбу проти механізмів захворювання. Жар – це найпоширеніша форма патологічного підвищення температури тіла [18].

Показники температури тіла багато в чому залежать від того, в якому місці тіла її вимірюють. Тому, всупереч одностайно сформованій думці, "нормальної температури" просто не існує. Крім того, температура тіла здорової людини змінюється в залежності від фізичної активності і часу доби. Відмінність відбувається через різницю рівня внутрішньої температури та зовнішньої температури тіла, яка вимірюється на поверхні шкіри, і являє собою комбінацію внутрішньої температури тіла та температури навколишнього середовища. Внутрішня температура вимірюється термометром, який поміщається в різні порожнини тіла, де вимір відбувається на слизовій тканини [18].

Сучасна медицина довела, що у кожної людини своя норма, що може знаходитись в інтервалі від 35,9 до 37,2°C. Для вимірювання температури використовують як традиційні термометри, так і сучасні безконтактні термометри на основі інфрачервоних датчиків. Для останніх важливо враховувати технічну точність пристрою та умови експлуатації.

Таким чином, описаний набір параметрів є важливим при оцінюванні фізичного стану людини та його вимірювання може бути забезпечене на основі використання носимих пристроїв.

1.2 Класифікація та огляд існуючих носимих пристроїв

Для контролю за показниками фізичного стану людини, окрім професійного медичного обладнання сьогодні активно використовуються різноманітні носимі пристрої. Носимі пристрої можна класифікувати на основі їх функцій, зовнішнього вигляду, близькості до тіла людини та іншими параметрами. В таблиці 1.2 представлено класифікацію носимих пристроїв за їх властивостями, функціональними можливостями та галузями застосування [19].

Сучасні носимі пристрої можуть оснащуватися різноманітними сенсорами та застосовуватися в різних галузях людської діяльності. Вони дають можливість контролювати параметри людини та симптоми захворювань. Крім того, вони надають засоби збору даних з метою подальшої обробки та формування рекомендацій щодо лікування. Ця технологія зробила можливим безперервний моніторинг за пацієнтом без його госпіталізації і це стало новим трендом в медицині. Трекери активності надають інформацію про пульс, температуру тіла пацієнта, рухи м'язів, активність мозку, а також інші відомості. Спортсмени та їх тренери використовують трекери для контролю показників під час тренування, зокрема вимірювання пітливості.

Фітнес-браслет – це пристрій, який містить в собі датчики для відстеження показників фізичної активності користувача, таких як пульс, кількість пройдених кроків, швидкість переміщення. Пристрій як правило синхронізується зі смартфоном за допомогою Bluetooth [20].

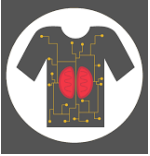
Сучасні фітнес-браслети дуже умовно можна розділити на декілька груп: трекери, смарт-браслети та браслети здоров'я.

Фітнес-трекер або трекер активності дозволяє проводити моніторинг групи показників, пов'язаних з активністю людини: пройдена відстань, показники серцевого ритму, кількість спожитих калорій, якість сну. Цей носимий пристрій може синхронізуватися з персональним комп'ютером або смартфоном для моніторингу даних.

Таблиця 1.2 – Класифікація носимих пристроїв

Тип	Властивості	Можливості	Застосування
Розумний годинник 	Низька робоча потужність; зручний інтерфейс користувача з командами на основі дотику та голосу.	Відображення конкретної інформації; оплата; відстеження фізичної активності; комунікація; навігація	Бізнес, адміністрування; маркетинг, страхування; професійний спорт, тренування; освіта; інформаційні розваги.
Розумні окуляри 	Керованість на основі торкань екрану, руху головою, голосових команд та стискання руки; низька робоча потужність; посилення звуку безпосередньо на вухо	Візуалізація; мовна інтерпретація; комунікація; координація завдань	Хірургія; космос і оборона; логістика; освіта; інформаційні розваги.
Фітнес-трекер 	Висока точність; водонепроникність; легка вага; бездротова комунікація.	Фізіологічне оздоровлення; навігація; відстеження фізичної активності; моніторинг серцевого ритму	Фітнес; охорона здоров'я; професійний спорт; спорт на відкритому повітрі / в приміщенні

Продовження таблиці 1.2

Тип	Властивості	Можливості	Застосування
Розумний одяг 	Немає візуальної взаємодії з користувачем через дисплей або екран; дані отримуються тілом за допомогою датчики та виконавчих механізмів.	Відстеження частоти серцевих скорочень, щоденної діяльності, температури і положення тіла; нагрівання та охолодження тіла; автоматична оплата.	Професійний спорт-фітнес; лікування; військова сфера; логістика.
Носима камера 	Виконання захоплення від першої особи; прикріплюється на одязі або тілі; менші розміри; нічне бачення.	Захоплення фотографій та відео від першої особи в режимі реального часу; живе потокове передавання; відстеження фізичної активності.	Захист; фітнес; промисловість; освіта.
Носимі медичні пристрої 	Управління болем; фізіологічний моніторинг; моніторинг глюкози, сну, активності мозку.	Серцево-судинні захворювання; фізіологічні розлади; хронічні захворювання; діабет.	Хірургія, неврологія, дерматологія, реабілітація, фітнес, серцево-судинна медицина, психіатрія, хірургія, онкологія, дерматологія, респірологія

Смарт-браслети – це вдосконалені моделі трекерів. Крім фітнес-функцій, мають в своєму арсеналі індикацію дзвінків і повідомлень, нагадування про заняття, GPS, компас. В основному оснащені дисплеєм і нагадують «розумні» годинники.

Браслети здоров'я розроблені для професійного застосування в медицині або спорті. Основною відмінністю даного пристрою є вбудований тонометр для вимірювання тиску, а також датчики для вимірювання рівня кисню в крові.

Ппульсометр з оптичним датчиком користується популярністю у спортсменів і любителів активного відпочинку. При його виборі слід звернути увагу на тип датчика. Нагрудні ремінні моделі, до недавнього часу були найпоширенішими і вважалися максимально точними. Але в останні роки їх активно заміщує годинник (зап'ясний пульсометр) з оптичним пульсометром, який просвічує шкірний покрив світловим променем, а за пульсацією крові, що проходить через кровоносні судини, розраховується частота скорочення серцевого м'язу. Головна й безперечна перевага цих пристроїв – зручність. Тому, кращі оптичні пульсометри інтегрують в наручний браслет. У переважній більшості випадків, виробники намагаються не обмежуватися одним датчиком пульсу. Браслети з пульсометрами знімають показники не тільки в стані спокою, а й під час інтенсивних навантажень. Для того, щоб підрахувати пульс, людині не потрібно зупинятися. На внутрішній стороні корпусу пульсометра розташований електронний оптичний елемент, який вимірює пульс за допомогою вузького світлового пучка. Програмний блок фіксує кількість розсіяного в кровотоці світла та розраховує частоту пульсу. Щоб досягти максимального поглинання в оптичних пульсометрах використовується зелений світлодіод зі значенням довжини хвилі 525 нм. Багато виробників пропонують різні за стилем і дизайном браслети-ремінці, в які вставляється пульсометр з оптичним датчиком [21].

Розумний годинник (англ. Smartwatch) – комп'ютеризований наручний пристрій, який виконує вимірювання часу, прийом сповіщень та дзвінків з мобільного телефону, програвання музики, відслідковування маршрутів, збирання інформації з вбудованих та зовнішніх сенсорів (наприклад, термометру, акселерометру) тощо. На відміну від браслетів, «розумні» годинники дозволяють

користувачеві встановлювати сторонні застосунки, що розширюють їх функціональність [22].

Смарт-годинники – це комп'ютеризовані пристрої, що виконують роль годинника, фітнес-трекера, комутатора та пульта управління. Можуть виступати:

- застосунком для смартфона (трансляють дзвінки, повідомлення, передають голосові команди, запускають застосунки на телефоні, керують іншими видами смарт-техніки і т. п.);

- самостійним гаджетом (здійснюють дзвінки, відсилають повідомлення, фотографують, відтворюють музику і т. д).

Хоча фітнес-трекери мають обмежену кількість функцій у порівнянні з розумним годинником та зазвичай спрямовані лише на відстеження активності користувача, вони мають велику автономність, а також значно меншу вартість, що робить їх більш привабливими для використання [23].

Фітнес-браслети й розумні годинники пропонують власнику стандартний набір спортивної статистики, можуть сполучатися з мобільними пристроями, синхронізуються з мобільними застосунками (рис. 1.1-1.3).



Рисунок 1.1 – Приклад інтерфейсу застосунку Runtastic [24]

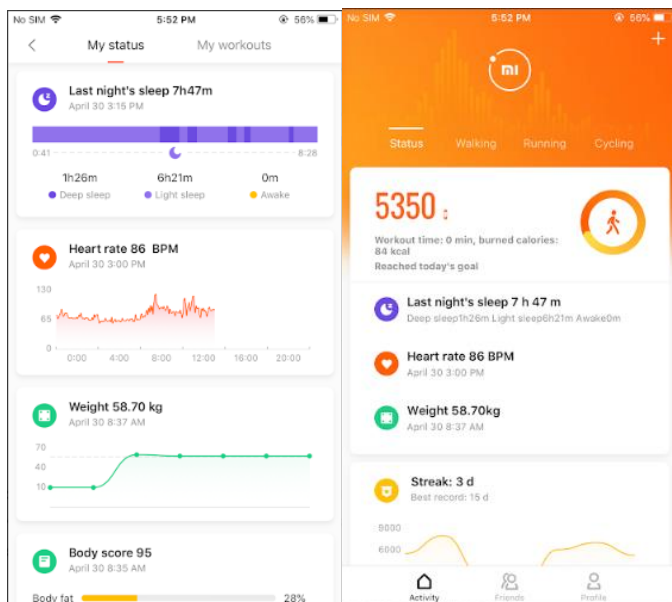


Рисунок 1.2 – Інтерфейс застосунку Mi Fit [25]

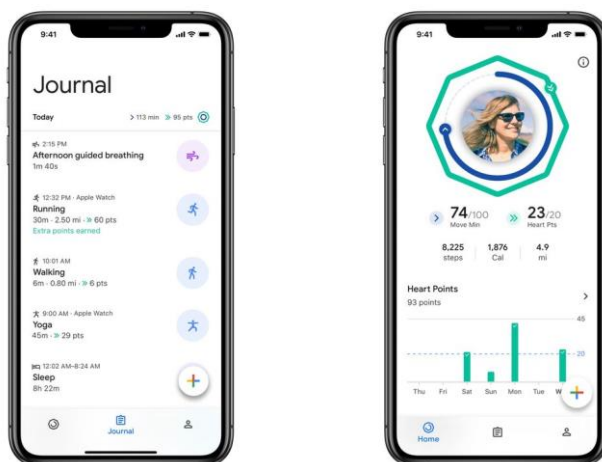


Рисунок 1.3 – Інтерфейс застосунку Google fit [26]

1.2.1 Розумні годинники

Сучасні розумні годинники забезпечують користувача низкою функцій та можливостей щодо відстежування активності та різноманітних шляхів для організації власного часу та комунікацій, але мають велику вартість, відносно малий автономний час через велику кількість виконуваних процесів. Також варто відмітити більші габарити у порівнянні з фітнес-трекерами.

Найбільш популярними смарт-годинниками в Україні за даними сайту HotLine [27] є наступні.

Samsung Galaxy Watch 46mm Silver (SM-R800NZSA) - це модель, що має всі сучасні функції та можливості, які необхідні для точного відстежування фізичної активності користувача за рахунок оптичного пульсометру, а також великий запас по автономності та апаратній частині взагалі відносно інших продуктів цієї категорії. Варто зазначити, що годинник має вбудований Wi-Fi модуль, що значно збільшує можливу зону використання цього пристрою для використання у закладах з необхідністю догляду за користувачами. Однак, ціна та велика кількість специфічних функцій, що не потрібні звичайному користувачеві, роблять їх специфічним продуктом, що не може бути використаний для досягнення мети, поставленої у цій роботі.

Amazfit GTS Black – це модель, яка виділяється через значно більший автономний час та вдвічі нижчу вартість, ніж Samsung Galaxy Watch. Має всі необхідні функції для звичайного користувача, але відсутня низка специфічних можливостей. Через відсутність Wi-Fi модулю та досить високу ціну для масового використання, не може бути використаний у якості пристрою для досягнення мети даної роботи.

Apple Watch Series 5 GPS 44mm має значно більше функцій для забезпечення комунікацій (включаючи дзвінки через пристрій), відсутні деякі функції з відстеження фізичної активності, що зазвичай включені до переліку схожих пристроїв, наприклад, відстеження сну. Варто зазначити, що використовує всі необхідні бездротові комунікації (Bluetooth, Wi-Fi, NFC та GPS). Має одну з найбільших вартостей, але в той же час відрізняється малим часом автономного використання, велику кількість зайвих функцій для реалізації мети даної роботи.

Результати порівняння розглянутих моделей розумних годинників наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Порівняльна характеристика розглянутих розумних годинників

Характеристика	Samsung Galaxy Watch 46mm	Amazfit GTS Black	Apple Watch Series 5 GPS 44mm
1	2	3	4
Типи фізичної активності	біг, ходьба, велосипед	біг, ходьба, плавання, велосипед	ходьба, біг, велоспорт, йога, плавання, високоінтенсивні інтервальні тренування
Пульсометр	+(оптичний)	+	+
Підрахунок кроків	+	+	+
Підрахунок сходинок	+	-	-
Відстеження сну	+	+	-
Дисплей, тип	Super AMOLED	AMOLED	OLED
Діагональ	1,3	1,69	немає даних
Роздільна здатність	360x360	348x442	368x448
Розміри, мм	46x49x13	43.25x36.25x9.4	44x38x10.74
Пило / вологозахист	+(5 ATM)	+(5 ATM)	+(50 метрів)
Вага, г (з ремінцем)	63	40	36.5
Тип акумулятора	вбудований	вбудований	Li-Ion
Ємність, мАгод	472	220	немає даних

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4
Час автономної роботи	До 7 днів	до 14 днів в режимі розумного годинника	18 годин
Процесор	Exynos 9110	немає даних	Apple S5
Обсяг оперативної пам'яті, ГБ	0.7	немає даних	немає даних
Об'єм вбудованої пам'яті, ГБ	4	немає даних	32
Динамік	+	-	+
Мікрофон	+	-	+
Вібромотор	+	+	-
Bluetooth	+	+	+
Wi-Fi	+	-	+
GPS	+	+	+

1.2.2 Фітнес-трекери

Фітнес-трекери, навпаки, мають обмежену кількість функцій, що зазвичай спрямовані лише на відстеження активності користувача, що дозволяє забезпечити більшу автономність, на підтримання якої достатньо більш ніж на два тижні. Ці переваги, а також значно менша вартість та складність виробництва, ніж у розумних годинників, що робить їх більш поширеними для використання. Відомі виробники: Jawbone, Polar, Fitbit, Garmin, Samsung, Xiaomi.

Найбільш популярними фітнес-трекерами в Україні за даними сайту HotLine [28] є наступні.

Xiaomi Mi Smart Band 4 Black - даний пристрій має всі необхідні функції для відстеження фізичної активності користувача, включаючи відстеження сну та пульсометр. Має великий запас часу автономної роботи, відносно невелику ціну та

набір додаткових функцій для комунікацій. Має вбудований вібромотор для сповіщень. Використовує лише один вид бездротових комунікацій – Bluetooth.

Honor Band 5 Black - відрізняється від попереднього пристрою часом автономної роботи та додатковими функціями, серед яких є функція вимірювання кисню в крові, що може мати значення для використання його у якості пристрою для відстеження фізичної активності людини в умовах знаходження у лікувальному закладі. Як і попередній пристрій має вбудований вібромотор для сповіщень та використовує лише один вид бездротових комунікацій – Bluetooth.

Xiaomi Mi Band 3 Black є молодшою моделлю першого пристрою та відрізняється лише дизайном, типом та розміром екрану. Xiaomi Mi Band 4 є скоріше еволюційною зміною одного з найпопулярніших фітнес-трекерів у світі, ніж кардинальною. Одним з головних нововведень варто відзначити кольоровий дисплей, який вперше з'явився в цій лінійці.

Порівняльну характеристику розглянутих фітнес-трекерів наведено в таблиці 1.4.

1.2.3 Огляд існуючих прототипів носимих пристроїв

Актуальність застосування носимих пристроїв для моніторингу фізичного стану пацієнтів призводить до постійного пошуку варіантів їх реалізації та спроб розробки нових конструкцій з меншою вартістю та можливістю гнучкого налаштування під власні потреби користувача.

У роботі [29] розглядається можливість створення прототипу на популярній платформі Arduino. Основою саморобного фітнес-трекера (рис. 1.4) є плата Arduino Pro Mini. Для зв'язку зі смартфоном і передачі даних використовується Bluetooth-модуль HC-06. Як датчик для відстеження фізичної активності застосовується акселерометр MPU-6050. Живиться весь пристрій від літій-полімерного акумулятора 3.7 В 110 мАг. При програмуванні Arduino використовується перехідник FTDI. Для фіксації всіх цих компонентів на руці на 3D принтері друкується спеціальний секційний корпус.

Таблиця 1.4 – Зведені характеристики розглянутих фітнес-трекерів

Характеристика	Xiaomi Mi Smart Band 4	Honor Band 5	Xiaomi Mi Band 3
Типи фізичної активності	ходьба, біг, плавання, велосипед	біг, ходьба, плавання, велосипед	ходьба, біг
Пульсометр	+(оптичний)	+	+(оптичний)
Підрахунок кроків	+	+	+
Відстеження сну	+	+	+
Дисплей, тип	AMOLED	AMOLED	OLED
Діагональ	0,95	0,95	0,78
Роздільна здатність	120x240	120x240	128x80
Розміри, мм	немає даних	43x17,2x11,5	17,9x46,9x12
Пило / вологозахист	+(5 ATM)	+	+(50 метрів)
Вага, г (з ремінцем)	30	22,7	24
Тип акумулятора	вбудований	вбудований	вбудований
Ємність, мАгод	135	100	110
Час автономної роботи	До 20 днів	До 14 днів	До 20 днів
Вібромотор	+	+	+
Bluetooth	+	+	+
Wi-Fi	-	-	-
GPS	-	-	-

Для прийому даних і аналізу фізичної активності пропонується застосунок для Android. Ця програма складається з чотирьох модулів: графічного інтерфейсу користувача (рис. 1.5), менеджера зв'язку з Bluetooth, розрахункових алгоритмів і допоміжних сервісів.

Після подачі живлення на Arduino і установки зв'язку згідно з застосунком на смартфоні, Arduino перевіряє наявність даних з акселерометра 20 раз в секунду. Відправка даних на мобільний пристрій здійснюється один раз в секунду.



Рисунок 1.4 – Прототип носимого устройства [29]



Рисунок 1.5 – Интерфейс застосунку для прототипу [29]

Акселерометр вимірює прискорення по всіх трьох осях X, Y і Z, тому трекер відсилає 60 значень (20 разів по трьох осях). Застосунок приймає дані на протязі двох секунд і вираховує інтервал, який подолав користувач. Також застосунок обраховує кількість спалених калорій на підставі ваги користувача, кількість пройдених кроків і формує дані по годинах, днях і місяцях. Але, через використання Bluetooth зона покриття є недостатньою, крім того, функції вимірювання температури та насиченості крові киснем в прототипі не реалізовано.

Відомий носимий пристрій UWatch Micro K Dark Blue [30] позиціонується як фітнес-трекер на основі Wi-Fi модулю. Проте, в ньому відсутня функція відстежування пульсу, що є важливою для моніторингу показників фізичного стану людини.

Таким чином, існуючі прототипи мають певні конструктивні та функціональні особливості, переваги, але виявлено й недоліки: надлишковий або навпаки недостатній функціонал, недостатня зона покриття, акумулятор малої ємності, відсутність екрану та звукового сповіщення персоналу та пацієнта та ін.

1.3 Висновки до розділу 1

Як показали проведені дослідження, задача моніторингу показників фізичного стану пацієнтів передбачає вимірювання різноманітних параметрів та може бути вирішена на основі використання сучасних носимих пристроїв.

Аналіз показав, що більшість існуючих носимих пристроїв націлені на мультифункціональне використання, в тому числі для комунікації. Багато з них мають певні недоліки, що пов'язані з високою вартістю, надлишковою або недостатньою функціональністю, а також з особливостями використання, що унеможлиблює їх застосування в якості парамедичних браслетів. Однією з проблем є також те, що зазвичай моніторингові дані відображаються та зберігаються локально, тому не можуть бути використані для передачі в інформаційну мережу для швидкого реагування та вироблення стратегії надання допомоги у відділенні екстреної допомоги. Варто зазначити, що існуючі пристрої використовують застосунки, створені розробником відповідного пристрою, отже немає можливості їх налаштування.

Тому, подальший розвиток методів та засобів віддаленого моніторингу показників фізичного стану людини є актуальною задачею.

1.4 Контрольні питання

1. Які існують методи дослідження стану серця людини?
2. Що таке пульсоксиметрія?
3. Які методи вимірювання температури тіла існують?
4. За якими ознаками можна класифікувати носимі пристрої?
5. Дайте характеристику груп носимих пристроїв.
6. Охарактеризуйте переваги та недоліки існуючих носимих пристроїв.
7. З якою метою створюються прототипи носимих пристроїв?
8. В чому полягає задача віддаленого моніторингу показників фізичного стану людини?

1.5 Практичні завдання

Завдання 1. Виконайте дослідження останніх досягнень в галузі розробки носимих пристроїв та підготуйте мультимедійну презентацію на тему «Сучасні тенденції моніторингу показників фізичного стану людини».

Завдання 2. Виконайте огляд джерел інформації та напишіть реферат на тему «Технології прототипування при проєктуванні носимих пристроїв».

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РЕАЛІЗАЦІЇ БЕЗДРотовИХ ТЕХНОЛОГІЙ, СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ

2.1 Огляд та порівняльна характеристика бездротових мереж

Бездротова мережа представляє собою такий вид комп'ютерної мережі, що базується на бездротовому з'єднанні для передавання даних та під'єднання до вузлів мережі. Тобто, це технологія зв'язку та передачі даних, що не використовує дроти або електричні провідники. Відстань передачі даних може різнитися та варіювати від декількох метрів (наприклад, дистанційне управління телевізором) до сотень тисяч або мільйонів кілометрів (наприклад, для телекомунікацій) [31].

Основними типами бездротових технологій є: радіохвилі, Bluetooth, Wi-Fi, інфрачервоне випромінювання, GSM/GPRS/CDMA, лазерне або оптичне випромінювання.

Бездротові технології дозволяють організувати функціонування мобільного зв'язку, навігаційних систем, супутникового телебачення, бездротових периферійних пристроїв (комп'ютерні миші, клавіатури, тощо), а також різноманітних бездротових мереж [31].

Класифікація бездротових технологій виконується за різними критеріями.

За дальністю дії (рис. 2.1) бездротові технології поділяються на:

– WPAN (Wireless Personal Area Networks) – це так звані бездротові персональні мережі, наприклад – Bluetooth;

– WLAN (Wireless Local Area Networks) – це так звані бездротові локальні мережі, наприклад – Wi-Fi;

– WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks) – це так звані бездротові мережі масштабу міста, наприклад – WiMAX;

– WWAN (Wireless Wide Area Network) – це так звані бездротові глобальні мережі, наприклад – LTE Advanced [32-33].

За топологією бездротові технології ділять на:

- «точка-точка»;
- «точка-багатоточка».

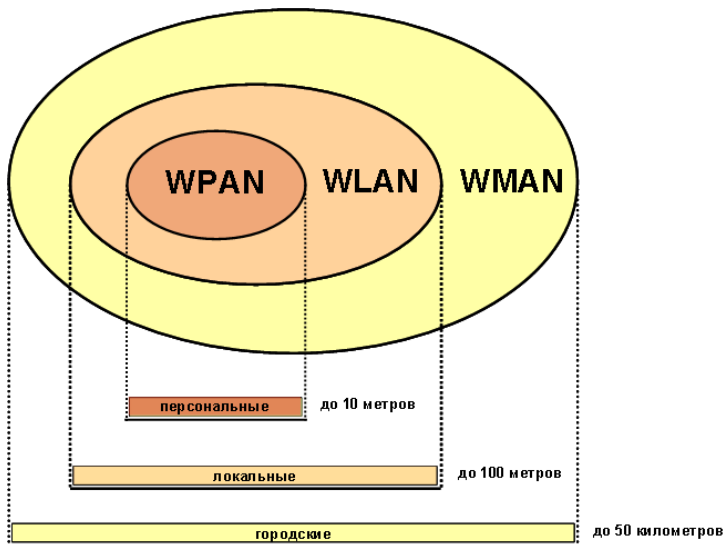


Рисунок 2.1 - Класифікація бездротових мереж за дальністю дії [33]

За сферами використання бездротові технології бувають:

- створювані компаніями для власних потреб (корпоративні);
- такі, що створюються операторами зв'язку для надання послуг (операторські бездротові мережі) [33].

Крім того, бездротові мережі можна розділити на три типи в залежності від технології, що використовується:

- локальні обчислювальні мережі;
- розширені локальні обчислювальні мережі;
- мобільні мережі (переносні комп'ютери) [32].

Ці типи мереж відрізняються параметрами передачі. Локальні і розширені локальні обчислювальні мережі використовують передавачі і приймачі, що належать тій організації, в якій функціонує мережа. Загальнодоступні мережі, зокрема, телефонна мережа або Інтернет служать середовищем передачі для переносних комп'ютерів [32]. На рисунку 2.2 наведено протоколи бездротових мереж, а у таблиці 2.1 - порівняння характеристик декількох популярних протоколів [32].

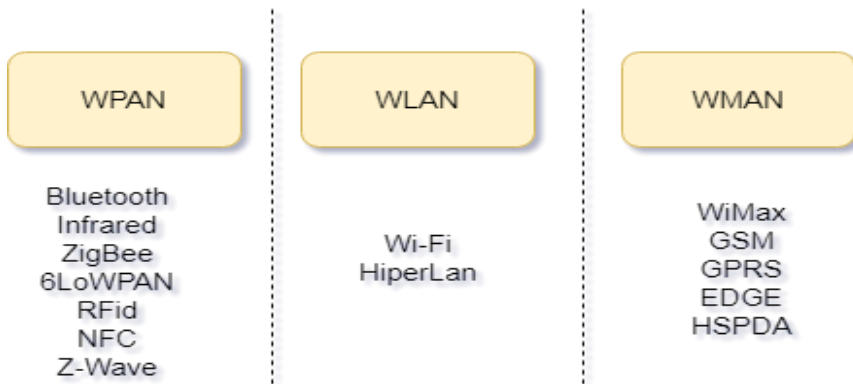


Рисунок 2.2 – Типи та протоколи бездротових технологій

Таблиця 2.1 – Порівняння популярних протоколів [32]

Характеристика	Wi-Fi IEEE 802.11b	Bluetooth	ZigBee
Автономний час	Години	Дні	Роки
Складність	Дуже складний	Складний	Простий
Кількість підключень	32	7	64000
Затримка	До 3 секунд	До 10 секунд	До 30 мілісекунд
Зона покриття, м	100 -1000	10	70 - 300 (ETSI), 1600 (FCC)
Можливість розширення	Можливий роумінг	Ні	Так
Швидкість передачі даних	11 Мб/с	1 Мб/с	250 Кб/с
Безпека	Сервіс авторизації ID (SSID)	64-bit, 128-bit	128-bit AES і визначення користувача на рівні застосунку

2.2 Особливості реалізації Wi-Fi технології

Як показано на рисунку 2.2, Wi-Fi технологія відноситься до WLAN мереж.

Бездротові локальні мережі (WLAN, IEEE 802.11) використовуються для бездротового з'єднання персональних комп'ютерів та пристроїв.

Основними перевагами WLAN є поширеність технологій, значна область покриття та висока швидкість передачі даних [34-35]. Пристрої WLAN від різних виробників відрізняються за ціною і технічними характеристиками.

Список переваг WLAN може бути представлений таким чином:

- зручність для адміністраторів і користувачів, оскільки просте і недороге налаштування бездротової мережі дозволяє користувачам обмінюватися інформацією, перебуваючи в зоні покриття;

- територію, на якій діє сигнал, можна розширювати за рахунок установки додаткових роутерів (маршрутизаторів, точок доступу) і антен;

- фізичні перешкоди не заважають поширенню радіохвиль, тому користувачі отримують доступ в Інтернет, перебуваючи в русі, на різних поверхах або в інших будівлях;

- технологія WLAN дозволяє позбутися від великої кількості дротів в приміщенні;

- швидкість передачі даних може перевищувати 100 Мбіт/с (залежить від моделі роутера), а радіус області покриття може складати 150 м без урахування додаткових точок доступу;

- швидкість з'єднання для всіх користувачів однакова;

Wi-Fi (Wireless Fidelity) – це стандарт на обладнання Wireless LAN, розроблений консорціумом Wi-Fi Alliance. Вимоги до Wi-Fi обладнання описані в наборі стандартів IEEE 802.11.

З випуском кожного нового стандарту, до 802.11 додавалася літера, наприклад, 802.11a/b/n і т.д. На сьогоднішній день налічується кілька десятків різновидів стандартів Wi-Fi. Не всі стандарти були спрямовані на збільшення швидкості передачі

даних, деякі з них стосуються питань безпеки (наприклад, 802.11i), інші включали опис роботи роумінгу (802.11r), тощо [36].

Основні стандарти наступні.

IEEE 802.11 - визначає набір протоколів для найнижчих швидкостей передачі даних і є базовим стандартом WLAN.

IEEE 802.11a - протокол не сумісний з 802.11b і несе в собі більш високі швидкості передачі ніж 11b. Використовує частотні канали в діапазоні 5GHz. Максимальна пропускна здатність до 54 Мбіт / с.

IEEE 802.11b - стандарт використовує більш швидкі швидкості передачі і вводить більше технологічних обмежень. Використовує частотні канали в діапазоні 2.4GHz. Максимальна пропускна здатність до 11Мбіт / с.

IEEE 802.11g - стандарт використовує швидкості передачі даних еквівалентні 11a. Використовуються частотні канали в діапазоні 2.4GHz. Протокол сумісний з 11b. Максимальна пропускна здатність до 54 Мбіт / с.

IEEE 802.11n - на даний момент це самий передовий комерційний Wi-Fi стандарт, який використовує частотні канали в спектрах 2.4GHz і 5GHz. Сумісний з 11b/11a/11g. Максимальна пропускна здатність до 300 Мбітс [37].

Технологія передбачає наявність точки доступу / маршрутизатора Wi-Fi (стандарти 802.11a / b / g / n), яка забезпечує стабільний доступ до мережі з деякої області радіусом до 45 метрів в приміщенні і 90 метрів на відкритому просторі (радіус дії залежить від багатьох умов і в вашому випадку може змінюватися).

Не всі перераховані стандарти Wi-Fi служать для організації бездротових локальних мереж як наприклад роутери, що працюють в діапазонах 2.4 і 5 ГГц (стандарти 802.11 a / b / g / n / ac). Такі стандарти як 802.11ad і 802.11ay спочатку планувалося випустити для передачі даних на невеликі відстані - від 1 до 10 метрів - і, в перспективі, використовувати їх для організації високошвидкісних інтерфейсів передачі даних, наприклад для підключення моніторів до ПК і передачі зображення в форматі 8K . Однак, в результаті розвитку 5G-мереж і переходом в діапазон до 100 ГГц, пристрої з підтримкою 802.11ad стали застосовуватися для організації радіодоступу поза приміщеннями (але для таких частот повинні

бути забезпечені умови прямої видимості). Таким чином, у Wi-Fi велике майбутнє, яке дозволить використовувати дану технологію в абсолютно різних застосунках. Безсумнівно, дана технологія знайде своє місце як в 5G-мережах, IoT-рішеннях, так і в VR-застосунках [36].

Тим не менш існує ряд недоліків Wi-Fi.

Правовий аспект. У різних країнах по різному підходять до використання частотного діапазону і параметрам передавачів/приймачів бездротового сигналу стандартів IEEE 802.11. В одних країнах, наприклад, потрібна реєстрація всіх Wi-Fi мереж, що працюють поза приміщеннями. В інших накладається обмеження на використовувані частоти або потужність передавача. У країнах СНД використання Wi-Fi без дозволу на використання частот від Державної комісії з радіочастот (ГКРЧ) можливо для організації мережі всередині будинків, закритих складських приміщень і виробничих територій. Якщо ви хочете зв'язати радіоканалом два сусідніх будинки, рекомендується звернутися до вищезазначеного наглядовий орган.

Стабільність зв'язку. Стандартні домашні Wi-Fi маршрутизатори поширених стандартів 802.11b або 802.11g мають радіус дії близько 40-50 метрів в приміщенні і до 90 метрів зовні. Деякі електронні пристрої (мікрохвильовка), погодні явища (дош) послаблюють рівень сигналу. Також відстань залежить від робочої частоти і інших чинників. Більш детально дізнатися про фактори, які впливають на бездротовий зв'язок Wi-Fi ви можете тут.

Перехресні перешкоди. При великій щільності пунктів доступу можуть виникнути проблеми доступу до відкритої точки доступу при наявності поруч хотспота, що працює на тому ж або сусідньому каналі і використовує шифрування.

Фактори виробництва. На жаль, виробники не завжди чітко дотримуються стандартів, тому деякі пристрої можуть працювати нестабільно або на менших швидкостях.

Енергоспоживання. Досить високе споживання енергії, що зменшує час життя батарей і підвищує температуру пристрою.

Безпека. Стандарт шифрування WEP, як і раніше залишається одним з популярних і відносно легко зламувати, а більш досконалий протокол WPA, на жаль, не підтримують багато

старих точки доступу. Більш надійним і досконалим на сьогодні вважається протокол WPA2.

Обмежена функціональність. При передачі невеликих пакетів даних до них приєднується велика кількість службової інформації, що впливає на якість зв'язку. Тому Wi-Fi не рекомендується використовувати для роботи в IP-телефонії, що використовує протокол RTP: якість зв'язку не гарантована [37].

Установка Wireless LAN рекомендується там, де розгортання кабельної системи є неможливим або економічно недоцільним. У багатьох організаціях використовується Wi-Fi, оскільки при певних умовах швидкість роботи мережі вже перевищує 100 Мбіт/сек. Користувачі можуть переміщатися між точками доступу по території покриття мережі Wi-Fi. При цьому, при зміні точок доступу зазвичай відбувається короткочасний розрив зв'язку, за винятком використання обладнання Cisco.

Невелика ширина використовуваного спектра частот, відсутність можливостей роумінгу і авторизації не дозволяють Wi-Fi пристроям потіснити на ринку стільниковий мобільний зв'язок. Проте, деякі компанії пропонують рішення по організації Wi-Fi телефонії.

2.3 Особливості використання RTLS систем у медичній галузі

В даний час технології RFID (Radio Frequency IDentification) та RTLS (Real Time Location System) широко використовуються в установах надання первинної медичної допомоги, науково-дослідних лабораторіях та інших закладах.

RTLS - система визначення поточного місця розташування об'єктів в заданому просторі в реальному часі. За допомогою RTLS можна не тільки оперативно визначити місце розташування, а й побачити траєкторію руху об'єкта на карті, контролювати його стан (знаходження в певній зоні), а також зберігати історію його переміщень [38].

Координати місця знаходження визначаються за допомогою мітки, яка кріпиться до кожного спостережуваного об'єкту. Залежно від того, який тип сигналу посиляють ці мітки можна реалізувати різні типи RTLS систем:

- акустична (ультразвук);
- електромагнітна (інфрачервоневипромінювання);
- UWB - Ultra-Wide Band (радіочастотна, широкосмугова);
- Narrowband (радіочастотна, вузькосмуговий сигнал);
- Wi-Fi (RSSI - Received Signal Strength Indicator);
- Wi-Fi (ToA - Time-of-Arrival) [38].

Система локалізації об'єктів в режимі реального часу RTLS найбільш широке застосування має в сфері охорони здоров'я (лікарня, клініка, лабораторія, медичний центр), оскільки здатна ефективно вирішувати такі завдання:

- контроль за пересуванням пацієнта, можливість використання "тривожної кнопки",
- температурний контроль в приміщеннях, закритих боксах, холодильниках, де зберігаються вакцини, мед. аналізи, які швидко псуються матеріали,
- швидкий пошук мед.персонала;
- моніторинг місцезнаходження обладнання;
- управління запасами і контроль видаткових матеріалів і (мед.інструменти і препарати);
- контроль доступу до мед.препаратів;
- автоматизація відстеження аналізів в мед.лабораторіях;
- обмеження доступу в спеціальні зони (наприклад, процедурна, операційна);
- підвищення рівня безпеки для пацієнтів і персоналу;
- підвищення якості догляду та обслуговування пацієнтів (контроль за гігієною рук персоналу) [38].

Система RTLS характеризується великою гнучкістю і широкими можливостями, її можна адаптувати практично під будь-які завдання в найкоротші терміни і з мінімальними вкладеннями. Вибір конкретної RTLS технології безпосередньо залежить від цілей і умов.

У роботі [39] було розглянуто можливі шляхи використання технології RTLS для медичного застосування.

Автори вказують, що багато років лікарні і госпіталі шукали рішення для точного визначення місця розташування (трекінгу) пацієнтів, персоналу та обладнання всередині приміщень.

Унікальність операційної діяльності госпіталів полягає в тому, що тут люди, пристрої, медичне обладнання постійно пересуваються. Лікарні можуть витрачати великі кошти для пошуку місцезнаходження обладнання, заміщення такого, а також на непродуктивні завдання персоналу типу «пошуку і збору» того, що втрачено. Все це є витратами і проблемами, яких лікарням не уникнути. Для вирішення цих завдань медицина звернулася до технології RTLS (Real Time Location System) – визначення місця розташування об'єктів в реальному часі [38].

Можливість управління медичними пристроями. Більша кількість цінного обладнання в госпіталі є мобільною (може бути легко переміщено або взагалі на колесах). Простий підхід до вирішення описаної проблеми пошуку обладнання полягає в тому, щоб мати систему, яка знає місцезнаходження всього обладнання в будь-який момент часу незалежно від його розташування. Використовуючи мережу стандарту Wi-Fi з RTLS можливо мати рішення для трекінгу обладнання та візуалізації його положення через веб-браузер, навіть коли обладнання знаходиться за зачиненими дверима. Це дозволяє істотно знизити витрати, а також зменшити час персоналу на пошук, оскільки всі пристрої завжди «видимі» [39].

Контроль потоку пацієнтів. Інформація про знаходження та статус клінічного персоналу, пацієнтів, кімнат і клінічного обладнання є дуже важливою для обслуговування пацієнтів, а також для підтримки операційної діяльності установи. Рішення RTLS на базі технологій стандарту Wi-Fi 802.11 допомагають покращувати ефективність і якість обслуговування пацієнтів. Тут можна навести такі приклади реалізації:

- автоматизована індикація статусу прибирання приміщень;
- аналіз часу очікування пацієнтів;
- оповіщення / інформація про втрачене обладнання в конкретному місці [39].

Безпека пацієнтів і персоналу може бути забезпечена за допомогою цієї технології. Застосування Wi-Fi RTLS може легко знизити кількість інцидентів і підняти рівень спокою персоналу клініки. Багато пацієнтів, включаючи пацієнтів психіатрії, пацієнтів з травмами та літніх пацієнтів можуть завдати собі шкоди, якщо будуть вставати з лікарняного ліжка і ходити.

Постійний трекінг будь-яких «блукаючих» пацієнтів нерідко може ставати системним механізмом створення відмінності між життям і смертю таких хворих.

Дане рішення формується шляхом більш широкого використання існуючої мережі стандарту Wi-Fi для реалізації Wi-Fi RTLS, щоб визначити місцезнаходження всіх пацієнтів, які мають активні мітки RFID в будь-який час, будь-де всередині зони покриття мережі. Якщо пацієнт знаходиться в його кімнаті, на поверсі і т.п., RTLS виявить його місце розташування. Якщо пацієнт пішов до пожежного виходу, Wi-Fi RTLS сповістить персонал і службу безпеки про таку подію [39].

Підтримка працездатності обладнання може бути також реалізована у медицині. Технічний/інженерний персонал лікарень щодня стикається з різними завданнями, такими як, наприклад, превентивне техобслуговування, налагодження обладнання і т.п. «Ручний» режим пошуку обладнання по всьому госпіталю або лікарні є вельми трудомісткою операцією. Тим більше, що часто превентивне технічне обслуговування регулюється спеціальними державними органами, які виконують періодичний аудит лікарняних записів обслуговування обладнання і медичних систем [39].

Технологія стандарту Wi-Fi RTLS допомагає поліпшити відповідність нормам регуляторики шляхом значного прискорення і спрощення обов'язкового процесу техобслуговування медичного обладнання. Це також збільшує ефективність і продуктивність роботи медичного інженерного персоналу. Також технологія в цілому дозволяє підняти рівень безпеки (перш за все в частині підтримки здоров'я) і якості обслуговування пацієнтів шляхом нормалізації і збільшення ефективності процесу технічних робіт на медичному обладнанні.

Температурний моніторинг можна впровадити для використання у контролі за станом ряду показників. Обов'язковою вимогою в лікарнях є постійна підтримка необхідних температурних умов для зберігання препаратів, вакцин, крові, органів, продуктів харчування і т.п. Це вкрай важливо для забезпечення безпеки пацієнтів і підтримки необхідного рівня якості обслуговування. Моніторинг холодильників і морозильників в госпіталях сьогодні зазвичай підтримується шляхом вкрай

неефективного процесу щоденного ручного знімання показників з датчиків температури [39].

Wi-Fi RTLS може простим і зрозумілим способом знімати температурні показники, використовуючи спеціалізовані активні мітки RFID, які можуть збирати і передавати дані в мережі пристроєм. Повідомлення можуть надсилатися на різні пристрої, включаючи детальні звіти про температуру, порушення умов і т.п. Ця інформація може зберігатися для збору і аналізу статистики про довгострокові тенденції і т.п., а також надання документації для внутрішнього або регуляторного аудиту.

Шляхом використання технології RTLS стандарту Wi-Fi лікарні і госпіталі можуть вирішити багато проблем, з якими вони стикаються щодня. RTLS не є унікальною, але це вкрай корисна технологія, яка використовує Wi-Fi мережі, що істотно підвищує ефективність роботи медичних установ [39].

Недоліком є те, що для високої точності визначення місця розташування необхідно, щоб мережа Wi-Fi мала хорошу щільність покриття території, де планується розгорнути систему, а також достатній рівень потужності сигналу.

2.4 Особливості використання RFID систем у медичній галузі

RFID, або радіочастотна ідентифікація – це засіб зберігання і отримання даних на основі електромагнітної передачі за допомогою пристрою, сумісного з радіочастотами в діапазоні від 100 КГц до 960 МГц. Ця технологія здатна ідентифікувати сотні помічених предметів в секунду за допомогою бездротової передачі інформації [40].

В даний час RFID використовується для: забезпечення простежуваності, зв'язку; ідентифікації та визначення місця розташування людей; обладнання та пристроїв в режимі реального часу. Крім того, лікарні шукають альтернативні шляхи для управління медичними пристроями, лікарняними активами і ліками; підвищення ефективності диспетчерської служби; зниження кількості помилок при адмініструванні; перевірки автентичності витратних матеріалів і контролю рівня запасів [40]. Це дозволяє:

- зменшити кількість підробок;
- заощадити час на визначення місцезнаходження пристроїв;
- визначити недостатнє або надмірне використання пристроїв;
- зменшити кількість медичних помилок при лабораторних випробуваннях;
- забезпечити дотримання належних методів стерилізації;
- керувати продуктами банку крові з більшою точністю [40].

Використання RFID дозволяє підвищити рівень комфорту і безпечного лікування пацієнтів. Інформація про пацієнта, а саме діагноз, група крові, дані про алергію, призначені ліки, можуть записуватися безпосередньо в мітки або в базу даних, доступ до якої здійснюється на основі ідентифікаційного номеру мітки, або так званого ключа. Впровадження такої бази даних дозволяє зменшити кількість проблем через незрозумілий почерк, пошук інформації, що потребує багато часу, а також втрату медичної документації [41].

Наприклад, RFID-браслети використовують в пологових відділеннях для встановлення чіткої відповідності новонародженого та його матері. RFID-браслети дають можливість швидкого пошуку лікаря (на термінову операцію) або пацієнта, який пішов зі своєї палати але має перебувати під постійним наглядом медичного персоналу (наприклад, страждає хворобою Альцгеймера). Компанії Siemens AG та Schweizer electronic розробили чіп RFID з вбудованим датчиком температури, який можна піддавати впливу високих температур, тиску та прискорення. Його можна використовувати в банках крові. На сьогоднішній день до проекту долучилася компанія виробник пакетів для зберігання крові MascoPharma. Крім того, вже проводяться випробування системи на базі цього чіпа на базі банку крові Університетського госпіталю Граца [41].

2.5 Організація Mesh-мережі

Системи Mesh Wi-Fi складаються з основного маршрутизатора, який підключається безпосередньо до модему, а також серії модулів або вузлів, розміщених навколо будівлі для повного покриття Wi-Fi. Всі вони є частиною єдиної бездротової мережі та мають однаковий SSID та пароль, на відміну від традиційних маршрутизаторів Wi-Fi [42].

Це мережа спеціалізованого обладнання, яке також утворює мережу з декількох пристроїв, створюючи суцільне покриття Wi-Fi сигналу. Великим плюсом є те, що для підключення кожного нового пристрою немає необхідності тягти кабель – вони зв'язуються за окремим передавачем, створюючи свою мережу, через яку передаються дані. В подальшому ці дані передаються на звичайний Wi-Fi адаптер, досягаючи користувача. Але є і недоліки, наприклад, ціна. Вартість головного маршрутизатора в рази перевищує вартість звичайного роутера, а вартість додаткового адаптера також істотна. На рисунку 2.3 зображено схему системи Mesh [43].

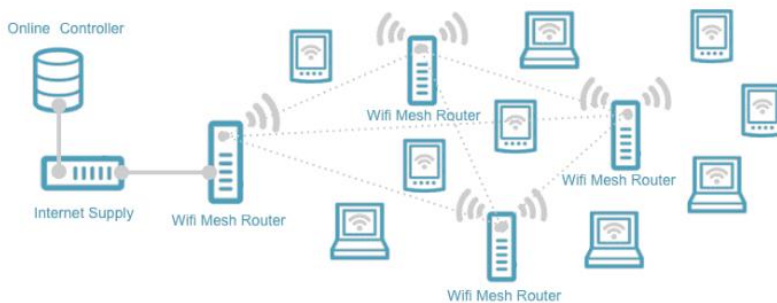


Рисунок 2.3 – Схема системи Mesh [43]

На відміну від звичайної Wi-Fi системи, яка складається з роутера та декількох репітерів, Mesh система забезпечує повну швидкість передачі даних через модульне з'єднання без втрати швидкості. Також Mesh система забезпечує більшу стабільність роботи через створення «безшовної» системи через те, що при використанні роутера і репітеру все одно необхідно розривати

зв'язок та встановлювати новий з новим пристроєм. На рисунку 2.4 зображено схеми з'єднання різних типів систем. Рисунок 2.5 ілюструє різницю в зоні покриття з використанням звичайного Wi-Fi та використанням Wi-Fi Mesh [44].

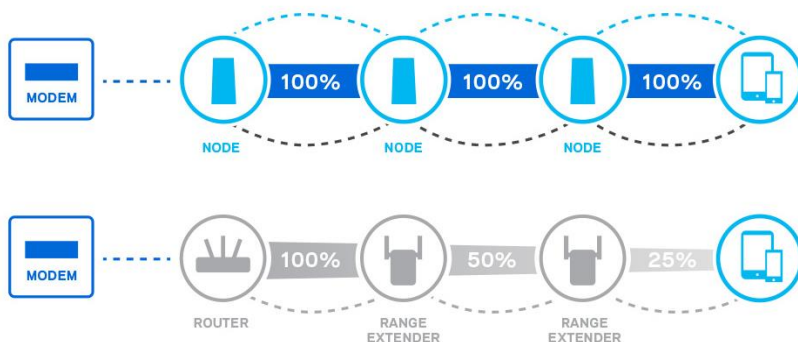


Рисунок 2.4 – З'єднання Mesh системи та звичайної Wi-Fi мережі [44]



Рисунок 2.5 – Зони покриття Mesh мережі та звичайної Wi-Fi мережі [44]

Таким чином, основні переваги Mesh мережі у порівнянні з роутерами:

- великий радіус покриття та безшовна бездротова мережа;

- простота розширення Wi-Fi мережі за рахунок установки додаткових модулів;
- просте налаштування.

Основним недоліком у порівнянні з роутерами є ціна. Вартість встановлення такої системи може в декілька разів перевищувати вартість встановлення стандартної Wi-Fi системи для тієї ж площі.

2.6 Висновки до розділу 2

Як показали проведені дослідження, технологія Wi-Fi за радіусом покриття, швидкістю передачі даних, а також існуючими можливостями реалізації може з успіхом використовуватися в медичних закладах для створення інфраструктури інформаційної системи. Переваги Mesh-системи, зокрема великий радіус покриття та безшовний роумінг мережі, обумовлюють актуальність її застосування.

2.7 Контрольні питання

1. Які існують типи бездротових технологій?
2. Назвіть ознаки, за якими класифікують бездротові технології.
3. Дайте порівняння характеристик популярних протоколів бездротових мереж.
4. Які переваги та недоліки Wi-Fi технології?
5. Охарактеризуйте можливості використання технологій RFID і RTLS в медичних закладах.
6. В чому особливості систем Wi-Fi RTLS та Wi-Fi Mesh?

2.8 Практичні завдання

Завдання 1. Виконайте дослідження останніх досягнень в галузі бездротових технологій та підготуйте мультимедійну презентацію на тему «Сучасні тенденції в розвитку бездротових сенсорних мереж».

Завдання 2. Виконайте огляд джерел інформації та напишіть реферат на тему «Бездротові технології у медичних закладах».

З ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ ПОКАЗНИКІВ ФІЗИЧНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ

3.1 Архітектура системи віддаленого моніторингу

Для організації роботи моніторингової системи всі пристрої повинні завжди бути в мережі, щоб забезпечити надійну передачу даних на сервер. З цієї причини були проаналізовані різні рішення для автоматичного підключення точок доступу до мережі Інтернет, які можна просто реалізувати на основі наявних ресурсів.

Перший варіант заснований на використанні множини точок доступу на всій території лікарні. У цьому випадку дані про точки доступу за замовчуванням зберігатимуться у всіх пристроях контролю. Схема топології такого варіанту показана на рис. 3.1, а.

Територія лікарні в кутах обладнана точками доступу Wi-Fi, наприклад Ubiquiti UniFi AP (частота 2,4 ГГц, пропускна здатність 300 Мбіт/с, функція енергозбереження, вартість 67 \$). Виробник заявив, що ця точка доступу охоплює зону радіусом 150 метрів, а при використанні декількох точок доступу можна налаштувати безшовне покриття Wi-Fi на великій території. Точка доступу оснащена вбудованими антенами Wi-Fi. Можна досягти розширення зони покриття та посилення сигналу за допомогою додаткових антен-ретрансляторів. Основним недоліком такого варіанту є досить висока вартість у випадку великої кількості вживаного обладнання.

Для передачі даних від пацієнтів на сервер чергового лікаря може бути використано протокол MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) [45]. Для забезпечення надійного рівня безпеки цей протокол реалізує такі методи захисту даних: аутентифікація клієнтів (пакет Connect має поля Ім'я користувача та Пароль); контроль доступу клієнтів через ідентифікатор клієнта; підключення до брокера через SSL/TLS (Secure Sockets Layer/Transport Level Security). Останнє - це рукописання, яке складається з послідовних кроків, коли клієнт і сервер ідентифікують один одного і починають спілкуватися через захищений тунель SSL/TLS.

Другий варіант заснований на реалізації Mesh-мережі. Це означає, що у випадку віддалення контрольного пристрою від радіуса основної точки доступу він буде підключений до сусіднього аналогічного пристрою. Основними недоліками такого варіанту є: мінімальний радіус дії точки доступу; залежність системи від працездатності точки доступу; відсутність централізованого контролю; можливість виходу із зони точки доступу групи клієнтів, що унеможливорює передачу даних від віддаленого клієнта через посередників.

В результаті, може бути запропоновано гібридну організацію інформаційної системи збору та передачі медичних даних, засновану на двох досліджених варіантах (рис. 3.1, б).

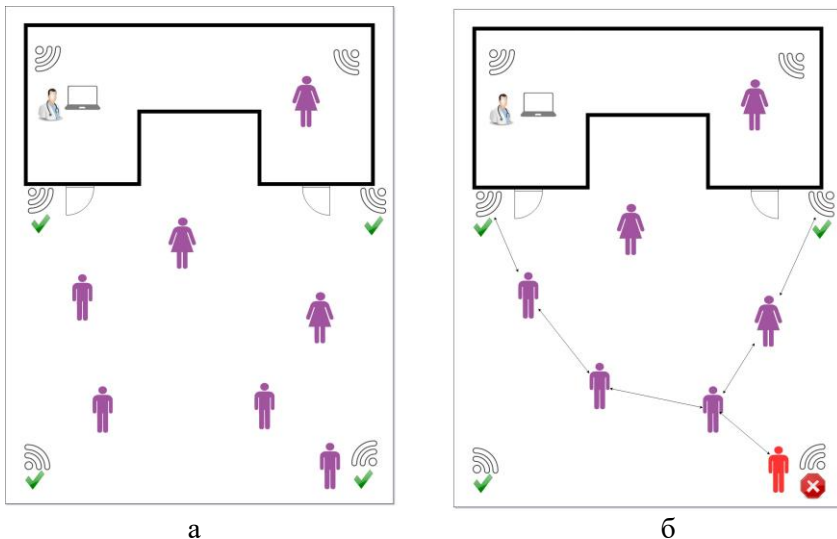


Рисунок 3.1 – Варіанти організації системи моніторингу на основі множини точок доступу (а) та Mesh-мережі (б)

Ця організація передачі даних є більш надійною завдяки використанню додаткової опції підключення на випадок, якщо пацієнт виходить за межі доступності точки доступу Wi-Fi або не працює точка доступу. Як тільки пацієнт від'єднується від точки доступу Wi-Fi, пристрій контролю надсилає запит сусіднім пристроям про перехід у режим мережі Mesh для передачі даних

через найближчого сусіда, підключеного до точки доступу Wi-Fi. (рис. 3.1, б).

Для організації передачі даних у мережі Mesh рекомендується застосовувати бібліотеку PainlessMesh [46]. Ця бібліотека реалізує спеціальну мережу без необхідності використання центрального контролера або маршрутизатора. Будь-яка система з одним або кількома вузлами самоорганізовується у повністю функціональну мережу Mesh без використання TCP / IP. В якості повідомлень використовуються об'єкти JSON. Ідентифікація пристрою в мережі створюється завдяки мікросхемі ідентифікатора пристрою. Бібліотека має можливість надсилати та отримувати повідомлення [47].

Запропонований гібридний варіант дає ряд переваг: використання перспективних алгоритмів для самоорганізації мережі та пошук найкращих способів передачі даних; охоплюючи всю сферу діяльності клієнтів; стабільний сигнал для передачі даних, щоб запобігти вимкненню клієнтів при переході з однієї зони в іншу через безшовну мережу.

Функціональну схему системи віддаленого моніторингу показано на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Функціональна схема системи віддаленого моніторингу

Вона об'єднує серверну частину та носимий пристрій. На стороні сервера відбувається реєстрація пацієнта, а також зберігаються та візуалізуються моніторингові дані. В якості серверу можуть використовуватися як сервер лікарні, так і хмарний сервіс. На стороні носимого пристрою відбувається підключення до мережі, зчитування та обробка даних, візуалізація та відправка даних на сервер.

3.2 Структурна схема проєктованого носимого пристрою

Проектований носимий пристрій для моніторингу показників фізичного стану пацієнта може мати форму браслету (рис. 3.3).

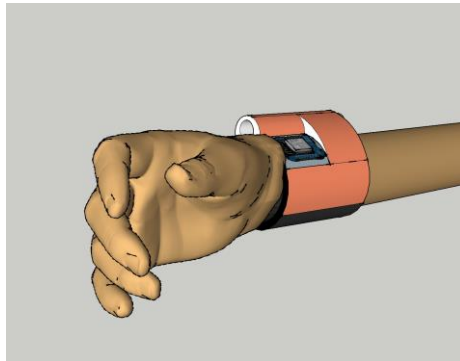


Рисунок 3.3 – Загальний вигляд проєктованого носимого пристрою

Структурну схему проєктованого виробу зображено на рисунку 3.4. Оскільки створюваний пристрій є прототипом, а робота спрямована в першу чергу на дослідження варіантів та технологій реалізації, то в подальшому можлива модернізація або заміна концепту механічної частини з урахуванням відгуків користувачів та досвіду використання.

Складається носимий пристрій з апаратного та програмного забезпечення, що має буде розроблено для функціонування системи. Апаратна частина складається з механічної та електронної частин. Механічна частина складається з корпусу, кришки, кріплення та ремінця. Вона забезпечує розміщення та захист компонентів електронної частини, а також закріплення на руці

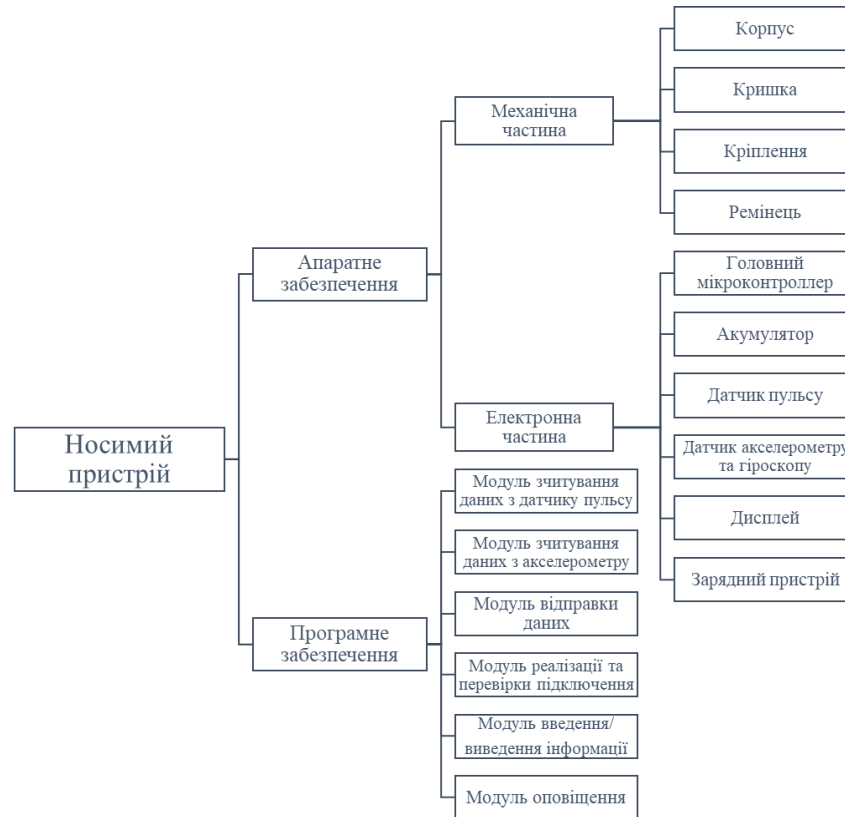


Рисунок 3.4 – Структурна схема проєктованого носимого пристрою

користувача. Електронна частина в свою чергу складається з наступних компонентів:

- головний мікроконтролер - необхідний для забезпечення обчислень, зберігання та виконання програми, реалізації Wi-Fi з'єднання та отримання оновлень програми через бездротове підключення;
- акумулятор та зарядний пристрій - для забезпечення автономного живлення та підзарядки;
- інтегральний датчик серцевого ритму та пульсоксиметрії - для отримання значень пульсу та вмісту кисню в крові користувача;
- інтегральний датчик акселерометру та гіроскопу - для визначення положення пристрою у просторі з можливістю використання цих даних для фіксації характеру переміщень користувача;
- дисплей - для відображення даних;
- пасивний зумер - для можливості звукових сповіщень.

Таким чином, під конструкцією проєктованого приладу слід розуміти всі прийняті рішення та обрані компоненти для апаратної частини.

Окрім апаратного забезпечення складовою частиною носимого пристрою є програмне забезпечення, що містить шість модулів та розглянуте у підрозділ 3.4. Програмне забезпечення розроблено для ефективного використання можливостей апаратної частини з метою досягнення поставленої мети. Програмна частина забезпечує працездатність носимого пристрою з можливістю вимірювання, відображення та передачі біомедичних показників, тобто віддаленого моніторингу показників фізичного стану людини для роботи у складі інформаційної мережі відділень екстреної допомоги.

3.3 Розробка апаратного забезпечення

3.3.1 Аналіз та вибір електронних компонентів

Для забезпечення необхідного функціоналу та реалізації необхідних технологій у проєктованому носимому пристрої моніторингу фізичного стану людини, необхідно проаналізувати

варіанти вибору компонентів електронної частини та обрати оптимальний варіант кожного: головний контролер, датчик пульсу, датчик акселерометру та гіроскоп, акумулятор, екран та зарядний пристрій.

До кожного з компонентів є ряд з вимог, включаючи вартість та мінімальні габарити для створення конкурентно-спроможного виробу, що буде відповідати критеріям зручного використання та забезпечення потрібного функціоналу. Аналіз та вибір компонентів для апаратної частини пристрою наведений у цьому підрозділі.

Головний мікроконтролер (МК). Вибір головного контролеру зумовлений наступними вимогами: необхідно забезпечити носимий пристрій наявністю Wi-Fi модулю для організації мережі пристроїв або для взаємодії з модулем через Інтернет; необхідність досягнення оптимального співвідношення між розмірами та вартістю з одного боку, а також гнучкістю і продуктивністю з іншого. З огляду на ці вимоги, розглядалися наявні завдяки проєкту BIOART контролери сімейства ESP8266 (рис. 3.5) та ESP32 (рис. 3.6), що мають Wi-Fi інтерфейс, відносно низьку вартість та зарекомендували себе як популярні рішення. ESP8266 – МК з інтерфейсом Wi-Fi, особливістю якого є відсутність флеш-пам'яті в SoC, а програми користувача виконуються із зовнішньої флеш-пам'яті з інтерфейсом SPI [48].

ESP32 – це недорогі МК, що прийшли на заміну МК ESP8266 та відмінністю яких є низьким енергоспоживання. Вони представляють собою систему на кристалі з інтегрованим контролерами і антенами Wi-Fi та Bluetooth. У серії ESP32 використовується мікроконтролерне ядро Tensilica Xtensa LX6 у варіантах з двома і одним ядром. Балун (симетруючий трансформатор), радіочастотні компоненти, вбудовані антенні комутатори, підсилювач потужності, малошумний підсилювач, фільтри та модулі управління живленням входять до складу інтегрованого радіочастотного тракту системи [50].

Порівняльна характеристика МК ESP8266 і ESP32 відображена у таблиці 3.1.

Зважаючи на різницю у вартості й невеликій кількості відмінностей, що можуть впливати на виконання даної задачі зі моніторингу даних та їх подальшої передачі, може бути обраний модуль ESP8266, що повністю задовільняє всім вимогам.



Рисунок 3.5 – Wi-Fi модуль WeMos D1 mini на чіпі ESP8266 [49]

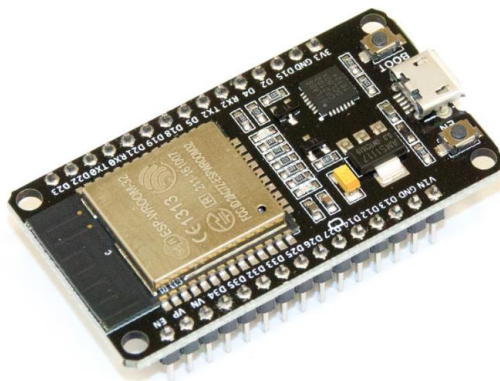


Рисунок 3.6 – Wi-Fi модуль NodeMCU на чіпі ESP32 [51]

Однак, для подальшого покращення проєкту з використанням технологій Bluetooth і BLE, зокрема, та меншим споживанням слід розглядати МК ESP32 як можливий та актуальний шлях для модернізації носимого пристрою з можливістю реалізації більшої кількості додаткових функцій.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика МК ESP8266 і ESP32

Характеристика	ESP8266	ESP32
Процесор	80 MHz 32-bit процесор Tensilica Xtensa L106	Xtensa двоядерний (або одноядерної) 32-розрядний LX6 мікропроцесор, що працює на 160 або 240 МГц. Має співпроцесор з ультра низькою потужністю (ОТП)
Бездротові технології	IEEE 802.11 b/g/n Wi-Fi. Підтримується WEP та WPA/WPA2.	Wi-Fi: 802.11 b/g/N та Bluetooth: B4.2 BR/EDR і BLE
Пам'ять	Виробник у документах не вказує точну кількість ОЗП на кристалі, а надає лише приблизну оцінку тої кількості пам'яті, що залишається після лінкування бібліотек — близько 50 кБ.	520 Кб пам'яті SRAM
Споживання, мА	До 300	До 260
Вартість, \$	5,19	11,02

Інтегровані модулі датчиків серцевого ритму та пульсоксиметрії використовуються безпосередньо для вимірювання пульсацій крові та насиченості киснем. Найбільш поширені два типи датчиків: оптичні та контактні. Оптичні можуть забезпечувати достатню точність вимірювань навіть при відсутності чіткого контакту, а тому можуть працювати більш стабільно та є менш вимогливі до конструкції механічної частини пристрою.

У таблиці 3.2 наведено найбільш популярні бюджетні варіанти, що можуть бути використані для реалізації функцій носимого пристрою.

Модуль KY-039 складається з інфрачервоного діоду та фотоприймача. За їх допомогою можна оцінювати зміни ІЧ-щільності предмету, що знаходиться між ними. Для більш точної роботи потребує відсутності можливих джерел похибок – від штучного світла низької частоти та сонячного світла. Ці особливості роблять даний тип датчику складним у використанні для досягнення заданої мети [52].

Модуль SJMCU використовує відносно простий оптичний датчик серцевого ритму з посиленням та схемою шумозаглушення. Але через відносно великі розміри та круглу форму накладає деякі складності для створення відповідної механічної частини для його розміщення [53].

Модуль MAX 30100 має ряд переваг відносно інших розглянутих модулів у цій категорії: має велику точність вимірів завдяки наявності двох світлодіодів, фотоприймача, оптимізованої оптики та малошумної аналогової обробки сигналів для визначення пульсової оксиметрії та сигналів серцевого ритму; має найменші габаритні розміри та інтегровану систему пульсоксиметрії, що дозволяє отримувати значення насичення киснем крові користувача – ця функція може бути використана для своєчасного діагностування гіпоксії [54].

В основі роботи оптичного датчика MAX30100 лежить метод фотоплетізмограми. Він дозволяє аналізувати частоту серцевих скорочень шляхом реєстрації потоку крові на основі фоторезистора та інфрачервоного або світлового випромінювання. З використанням ІЧ світлодіода відбувається просвічування шкірного покриву та вимірювання кількості відбитого світла на фоторезисторі. Чим менше кров'яний потік, тим більше світла поглинається в тканинах організму.

Після вимірів за допомогою оптичного датчика пульсу, виконують певні розрахунки, в результаті чого розраховують значення пульсу. Зокрема, виділяють окремі періоди і рахують число піків на отриманому сигналі або знаходять час між двома скороченнями.

Таблиця 3.2 – Популярні датчики серцевого ритму та пульсоксиметрії

Назва датчику пульсу	Зовнішній вигляд	Тип вимірювання	Розміри, мм
KY-039 [52]		Оптичний	26x24x10
CJMCU [53]			15,875x3,175 - діаметр/товщина
MAX 30100 [54]			5,6x2,8x1,2
PulseSensor Arduino [55]			16x3 - діаметр/товщина
AD8232 [56]		Контактний	35x28 + 3 контакти зі з'ємними електродами
PSL-iECG2 [57]			56x35 + 3 контакти зі з'ємними електродами

Пульсоксиметрія дозволяє визначити вмісту кисню в крові, а саме моніторинг насичення киснем гемоглобіну артеріальної крові. Цей простий неінвазивний метод дозволяє проводити дослідження на основі того, що поглинання гемоглобіном світла двох різних по довжині хвиль змінюється в залежності від насичення його киснем, а світловий сигнал, коли проходить крізь тканини, набуває пульсуючий характер внаслідок зміни обсягу кровотоку при кожному серцевому скороченні.

Модуль PulseSensor Arduino аналогічний модулю CJMCU за принципом роботи та дуже схожий за формою і розмірами [55].

Контактні модулі AD8232 і PSL-iECG2 мають найбільші розміри плати та мають необхідність у використанні додаткових електродів, разом з необхідністю забезпечення прямого постійного контакту з певними точками тіла користувача – це робить їх найгіршим вибором для проектування носимого пристрою для контролю фізичного стану людини [56-57].

Остаточний вибір залишається за модулем MAX 30100 завдяки його перевагам та зручності використання для малогабаритних пристроїв. Вартість модулю приблизно 3,20\$.

Інтегральний модуль датчиків акселерометру та гіроскопу обирається з огляду на вартість і наявність основних функцій. Використовується він для вимірювання прискорення об'єкту, яке він набуває при зміщенні відносно свого нульового положення, а також для визначення положення у просторі та температури навколишнього середовища. Таблиця 3.3 містить порівняльну характеристику декількох модулів [58].

Як видно з таблиці, модуль GY-521 при значно меншій вартості надає всі необхідні датчики для контролю фізичного стану людини, а також має найменші габаритні розміри, що робить його найкращим вибором для проектування носимого пристрою. Відсутні магнітометр та барометр не планувалося використовувати.

Вибір акумулятору є важливим для забезпечення живлення всіх компонентів та достатнього часу автономної роботи пристрою. З розрахунку загального максимального можливого споживання необхідно досягти часу автономної роботи впродовж цілого робочого дня без підзарядок. Це необхідно для постійного спостереження за станом пацієнтів.

Таблиця 3.3 – Інтегральні модулі акселерометру та гіроскопу

Характеристика/назва модулю	GY-86	GY-521	GY-801
Зовнішній вигляд			
Розміри, мм	22x17x3	20x15x3	26x17x3
Гіроскоп	+	+	+
Акселерометр	+	+	+
Магнітометр	+	-	+
Термометр	-	+	+
Барометр	+	-	+
Вартість, \$	17,65	2,28	15,77

Вимогами для вибору акумулятору є достатня напруга, значна ємність, можливість повторного заряджання пристрою та безпека експлуатації.

Цим вимогам відповідає лише Li-Po тип акумулятору, що має всі необхідні властивості, але варто зазначити його погану роботу в умовах низьких температур, що в першу чергу значно впливає на автономний час та здатність підтримувати необхідну напругу через значне підвищення внутрішнього опору.

З огляду на необхідність створення пристрою зі зручністю використання з точки зору форми, було вибрано акумулятор «плоского» типорозміру з контролером заряду – 103450 [59]. Його вартість складає 6,67\$.

Зовнішній вигляд обраного акумулятора наведено на рисунку 3.7, а у таблиці 3.4 наведені його основні характеристики.



Рисунок 3.7 – Акумулятор Li-Po 3,7В 2000мАг 103450 [59]

Таблиця 3.4 – Характеристики акумулятора Li-Po

Параметр	Значення
Номінальна ємність	2000 мАг
Контролер заряду	+ (захист від разряду/перезаряду)
Номінальна напруга	3,7 В
Розміри	50х34х10 мм
Напруга відсічки	2,5 В
Максимальний струм заряджання / розрядження	1 С(0,5-0,6 А)
Рекомендуємий струм заряджання/розрядження	0,5 С(300 мА)
Вага	33 г

Екран для виводу інформації. Використання екрану зумовлене необхідністю виводу декількох найважливіших параметрів для самостійного оцінювання користувачем показників свого фізичного стану. Для збереження автономності та швидкодії немає сенсу використовувати екран з великою роздільною

здатністю або діагоналлю, що приведе до збільшення споживання у режимі активного використання. З огляду на існуючі носимі пристрої можна зазначити, що більшість бюджетних пристроїв використовують екран з діагоналлю до 1”.

Обраний OLED дисплей [60] с діагоналлю 0.91”, інтерфейс I2C і роздільна здатність 128x32. Це яскравий, ергономічний дисплей з високим показником контрасту для зручного застосування в сонячну погоду (рис. 3.8). I2C інтерфейс дозволяє підключати декілька екранів до будь-якого МК. Габаритні розміри відносно малі, що є важливим фактором для проєктованого носимого пристрою. Вага лише 3 г. Вартість екрану – 4,27\$.

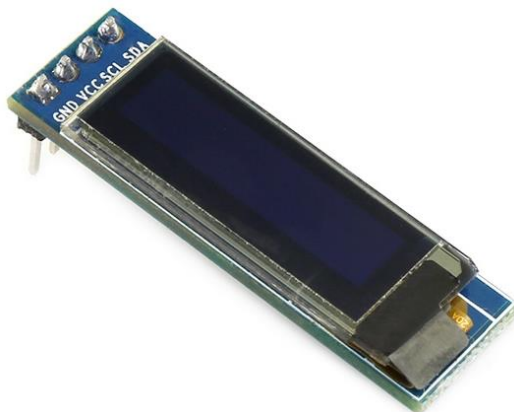


Рисунок 3.8 – OLED екран 0.91” I2C 128x32 [60]

Останній основний компонент - зарядний пристрій. Необхідні умови – здатність забезпечення певного рівня струму для швидкого заряджання акумулятору пристрою з відповідністю до максимального допустимого значення струму. Зарядний пристрій має підходити для використання з Li-Po акумуляторів на 3,7В. Було обрано варіант [61] з підтримкою популярного стандарту microUSB на базі контролеру TP4056 (рис. 3.9). Мікросхема має індикацію процесу зарядки і сама відключає акумулятор при досягненні напруги на ньому у 4,2В. У таблиці 3.5 наведено основні характеристики модулю. Вартість модулю – 0,6\$.

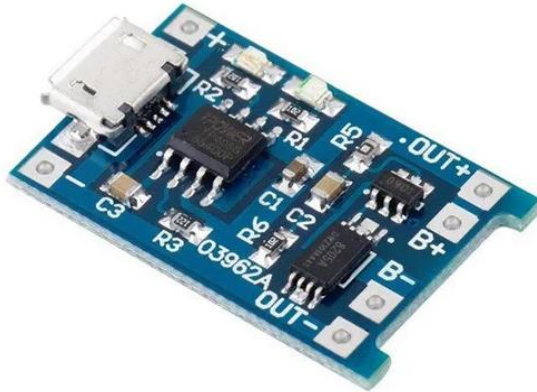


Рисунок 3.9 – Зарядний пристрій стандарту microUSB для Li-Po акумуляторів 3,7В [61]

Таблиця 3.5 – Основні характеристики зарядного пристрою

Характеристика	Значення
Вхідна напруга	4,5В-5,5В
Напруга повного заряду	4,2В
Струм заряду	1А
Робоча температура	-10...+85
Розміри	5х19х25 мм

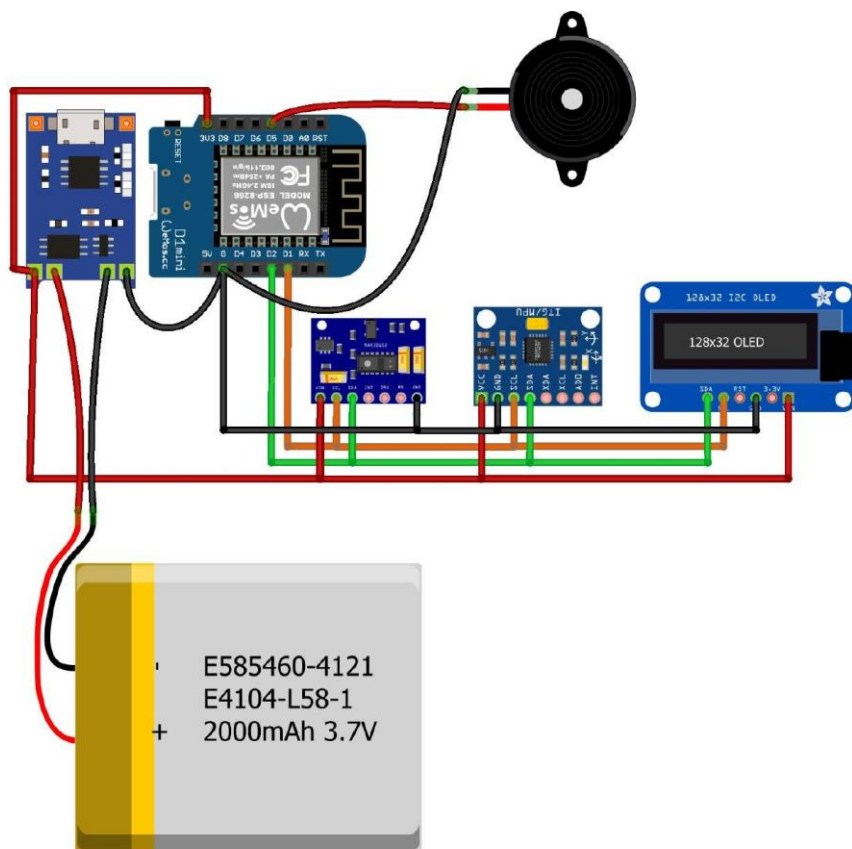
Може бути також додано пасивний зумер KY-006 (модуль с динаміком) для можливості оповіщення користувача та персоналу про критичний стан пацієнта [62].

Таким чином, загальна вартість апаратної частини дорівнює:

$$5,19\$ + 3,19\$ + 2,28\$ + 6,67\$ + 4,27\$ + 0,60\$ + 0,40\$ = 22,60\$$$

На основі обраних компонентів за допомогою середовища fritzing [63] було створено схему підключення основних компонентів (рис. 3.10). Особливістю схеми є підключення датчиків по протоколу I2C - послідовна асиметрична шина для зв'язку між інтегральними схемами. Використовує дві двонаправлені лінії зв'язку (SDA і SCL), що використовуються для з'єднання низькошвидкісних периферійних компонентів з

процесорами та МК, що дозволяє зменшити кількість дротів. Також особливістю є використання різних датчиків з різними адресами, що дозволяє не використовувати додатковий дріт установки адреси модулю (датчику).



fritzing

Рисунок 3.10 – Схема підключення компонентів електронної частини прототипу носимого пристрою

3.3.2 Вибір середовища проєктування

Системи автоматизованого проєктування (САПР або CAD – Computer Aided Design) призначені для автоматизації процесу створення виробу, результатом якого є комплект проєктно-конструкторської документації, достатньої для виготовлення та подальшої експлуатації об'єкту проєктування.

Найбільш поширеними CAD-системами, що задовольняють потреби проєктування є AutoCAD, SolidWorks, КОМПАС-3D, Creo Parametrics, Siemens NX та ін. Аналіз показав, що AutoCAD дуже зручний для створення 2D креслеників та технічної документації. SolidWorks має дуже потужні інструменти для роботи з 3D графікою та твердотільними моделями, зокрема можливості аналізу фізичних показників на основі аналізу, але досить складний у використанні та має надлишковий функціонал, що не буде використовуватися.

Для того щоб спроектувати та виготовити механічну частину браслету, треба урахувати особливості виробництва деталей за допомогою технології друку на 3D принтері.

Було вирішено використовувати систему автоматизованого проєктування та підготовки виробництва компанії Аскон КОМПАС-3D V18.1.15 [64] для створення окремих 3D моделей компонентів та загальної компоновки.

Система КОМПАС-3D широко використовується при виконанні проєктно-конструкторських, технологічних та дизайнерських робіт в машинобудуванні, приладобудуванні, будівництві, архітектурі. Це сучасне середовище автоматизованого проєктування, яке надає інструментальні засоби, що дозволяють створювати 3D твердотільні та каркасні моделі об'єктів з використанням набору базових просторових примітивів (паралелепіпед, сфера, циліндр, конус, тор та ін.).

Були виділені такі переваги обраної CAD-системи: наявність російськомовної підтримки та документації, наявність всіх необхідних функцій для створення моделей та остаточного складання носимого пристрою, а також їх досить просте використання у порівнянні з іншими CAD-системами. Також система підтримує можливість редагування моделі у режимі

реального часу, а також зберігання моделей у форматі для подальшого виготовлення шляхом друкування на 3D принтері.

3.3.3 Просктування механічної частини носимого пристрою

3D моделі кожного з модулів виконувались зі спрощенням без моделювання кожного елементу форми, але з урахуванням усіх максимальних габаритних розмірів, основних стандартів виконання компонентів для з'єднання та складання тощо.

Спершу були проведені додаткові заміри реальних модулів для уточнення розмірів і форми деяких компонентів. Для моделювання використовувались прості операції витягування ескізів з площини, булеві операції до тіл, операції витягування по траєкторії тощо.

Перша твердотільна 3D модель була створена для МК як основного компоненту. Основні елементи, такі як чіп МК або технічна кнопка «Reset», виконані як окремі тіла та виділені окремими кольорами для більшої відповідності реальному аналогу. Габаритні розміри модулю також були дещо збільшені для урахування можливих похибок у виробництві модулю, оскільки друкована плата виконується відповідно до стандартів з допустимими максимальними і мінімальними значеннями кожного з розмірів, що в купі з розмірними ланцюгами може призводити до незначного збільшення розміру. Для повної відповідності моделі для дрібносерійного/серійного виробництва необхідно враховувати подібні похибки, але для одиничного виробництва можна навпаки зменшувати розміри для подальших тонких операцій відносно корпусу або кришки перед складанням. Порядок виконання побудови у вигляді дерева побудови і готову модель Wi-Fi модулю WeMos D1 mini на чіпі ESP8266, зображено на рисунку 3.11.

Другою моделлю став датчик пульсу, що був спрощений до друкованої плати та оптичного датчику оскільки він має найбільший розмір (висоту), виконані отвори для фіксації по двом осям за допомогою посадочних циліндрів. Порядок виконання побудови можна побачити у дереві побудови і готову модель модулю датчику пульсу MAX30100, що зображені на рисунку 3.12.

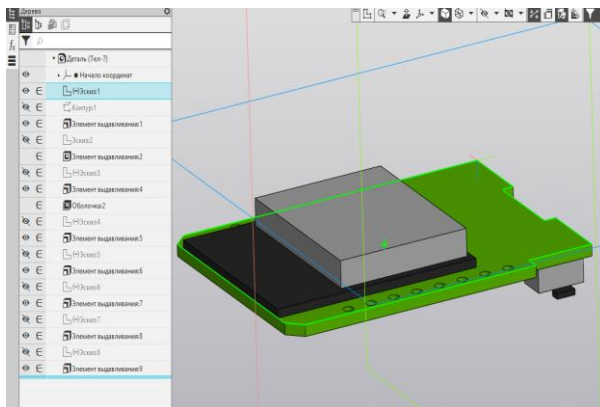


Рисунок 3.11 – Твердотільна модель та дерево побудови Wi-Fi модулю

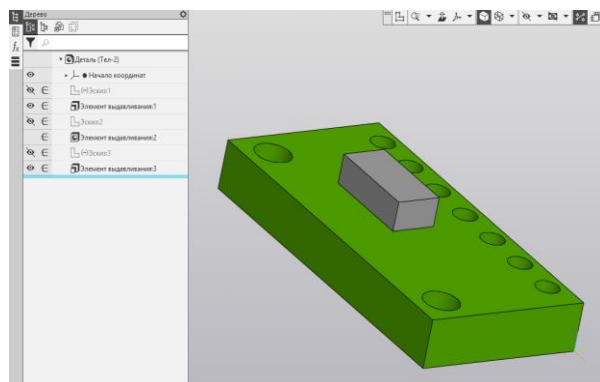


Рисунок 3.12 – Твердотільна модель та дерево побудови модулю датчику пульсу MAX30100

Аналогічно була створена 3D модель модуля датчиків акселерометру та гіроскопу GY-521, оскільки вони мають схожу друковану плату, однакову форму та однаковий тип отворів для складання.

Відмінність лише у тому, що у цьому модулі основним (найбільшим елементом) відносно висоти є датчик акселерометру, який був також виконаний окремим тілом. Порядок виконання побудови у вигляді дерева побудови і готову модель модулю GY-521 зображено на рисунку 3.13.

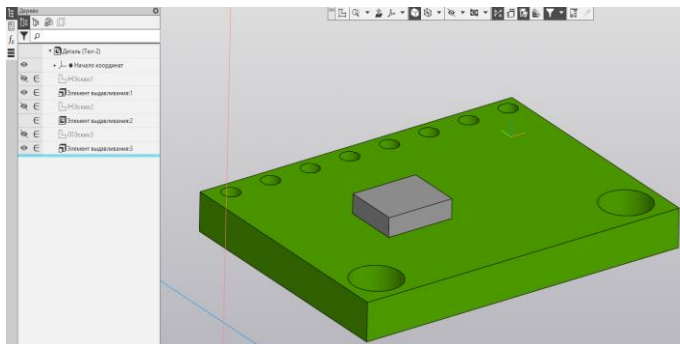


Рисунок 3.13 – Твердотільна модель та дерево побудови модулю датчиків акселерометру та гіроскопу

3D модель акумулятора була створена з урахуванням максимальних габаритів ізоляційного шару для електронної частини, що може бути зменшена на деяке значення, але це може призвести до порушень техніки безпеки щодо експлуатації компоненту живлення. Порядок виконання побудови у вигляді дерева побудови і готову модель акумулятору Li-Po 3,7В 2000мАг 103450 зображені на рис. 3.14.

Реальний акумулятор має скруглення від середини висоти до нижньої та верхньої площини, але оскільки габаритні розміри не змінюються від цього – було прийняте рішення про спрощення моделі для відповідності максимальному ефективному простору, що він займає.

3D модель екрану створена з урахуванням розмірів компонентів для електронної бази, що виконані за стандартом. Реальний аналог має гнучке з'єднання екрану з контролером, але оскільки шлейфи краще не піддавати навантаженням на згин/злам, то його розмір був декілька збільшений для того, щоб мати запас при складанні у корпус. Порядок виконання побудови у вигляді дерева побудови і готову модель екрану OLED діагоналі 0.91" з інтерфейсом I2C та роздільною здатністю 128x32 зображено на рис. 3.15.

Елементи електронної частини були виконані за допомогою масиву твердих тіл, а шлейф для з'єднання з друкованою платою виконано за допомогою витягування по траєкторії ескізу прямокутної форми.

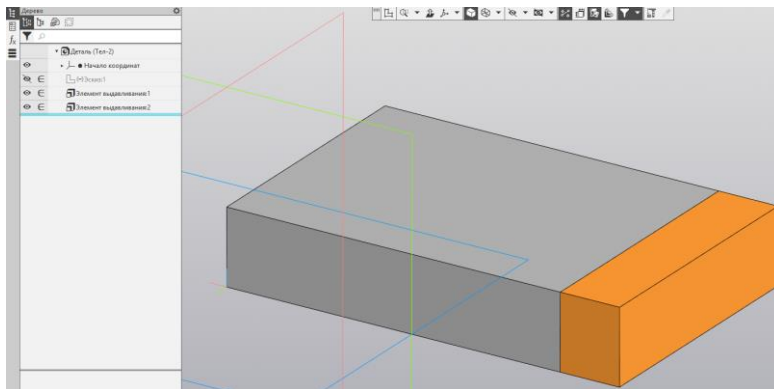


Рисунок 3.14 – Модель та дерево побудови акумулятора

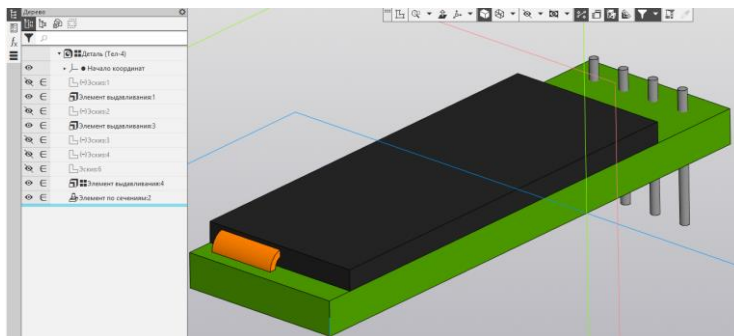


Рисунок 3.15 – Модель та дерево побудови екрана OLED діагоналі 0.91”

Останнім компонентом апаратної частини був зарядний пристрій, який на відміну від більшості моделей, не зазнав значних спрощень, оскільки є важливою форма друкованої плати для можливості закріплення у корпусі, а також елемент стандарту microUSB має відповідати максимально реальному аналогу, оскільки він буде мати власне місце для поглиблення у корпусі. Це поглиблення необхідно виконати для забезпечення мінімальних похибок, щоб забезпечити закриту структуру. Це призводить до того, що буде збиратися менше пилу для дрібних частин всередині корпусу, а також менший вплив вологого середовища на внутрішні компоненти. Також має значення розміщення компонентів для

з'єднання електронної частини з джерелом живлення. Порядок виконання побудови у вигляді дерева побудови і готову модель зарядного пристрою стандарту microUSB для Li-Po акумуляторів 3,7В зображено на рисунку 3.16. Модель зумера складається лише з циліндричної частини та елементів для з'єднання. На рисунку 3.17 зображено модель та дерево побудови моделі зумера.

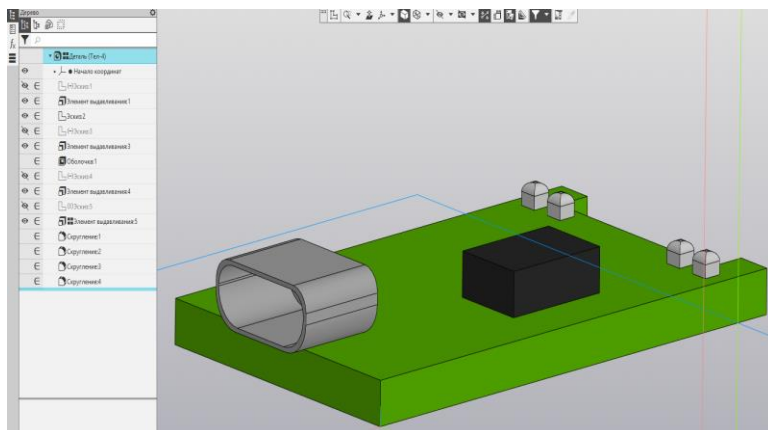


Рисунок 3.16 – Модель та дерево побудови зарядного пристрою стандарту microUSB для Li-Po акумуляторів 3,7В

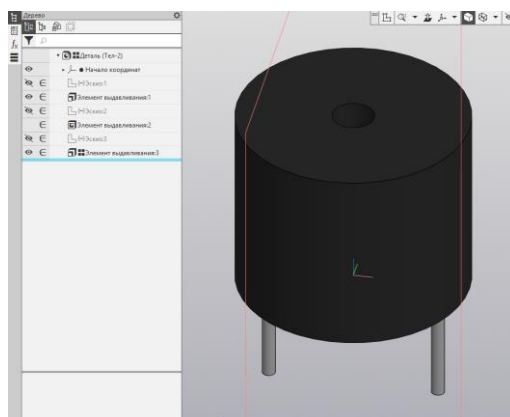


Рисунок 3.17 – Твердотільна модель зумера з деревом побудови

Всі створені моделі були використані для первинної компоновки кожного з компонентів з урахуванням усіх необхідних умов розміщення апаратної бази. А саме:

- деякі компоненти повинні мати спеціальне розміщення відповідно до виконуваних функцій, наприклад, екран має займати найвище положення для можливості виводу інформації для користувача;

- кожен компонент має мати визначене місце з можливістю його легкого закріплення та з'єднання з шиною апаратної частини компонентів;

- між компонентами необхідно забезпечити достатньо місця для запобігання нагріву шляхом теплопередачі, а також для прокладання дротових з'єднань;

- інтегровані модулі датчиків мають знаходитися в одній площині для найбільшої інформативності даних, що будуть надходити від модулів;

- необхідність створення кріплення, що зможе забезпечити комфортну експлуатацію носимого пристрою для закріплення на руці з реалізацією мінімального зазору для достатньої точності вимірювань пульсу за допомогою оптичного датчику.

З огляду на всі умови для компонування апаратної частини було створено наступне попереднє розміщення усіх компонентів відносно один одного. Зверху вниз: екран та зумер, модуль МК, акумулятор, модуль акселерометру і гіроскопу, зарядний пристрій, оптичний датчик пульсу. Компоновку зображено на рисунку 3.18 (вид збоку).

Опираючись на отримане розміщення була проведена робота зі створення механічної частини носимого пристрою – корпусу та кришки.

Корпус виконувався з товщиною стінки 2,5 мм для забезпечення необхідної міцності при експлуатації. Головною метою було створення ергономічної конструкції з мінімальними розмірами, що призводить до зменшення сировини для виготовлення цієї деталі, а отже зменшує вагу пристрою. Дизайн відступив на другий план, оскільки йде розробка прототипу пристрою, а не готовий виріб для масового використання.

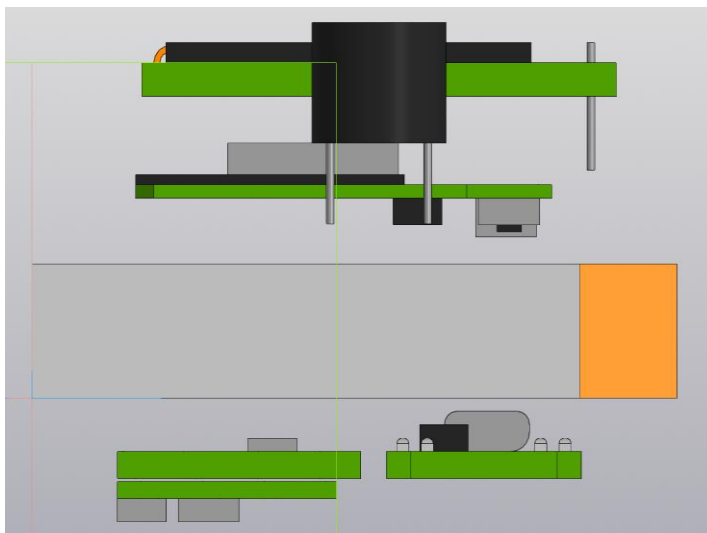


Рисунок 3.18 – Попередня компоновка компонентів апаратної частини

Після задовільного забезпечення функціональної частини, був створений суб'єктивний зовнішній вигляд приладу. Корпус з технічними прямокутними поверхнями для розміщення горизонтальних компонентів та поглибленням для датчику пульсу зображено на рисунку 3.19. Дерево побудови для корпусу зображено на рисунку 3.20.

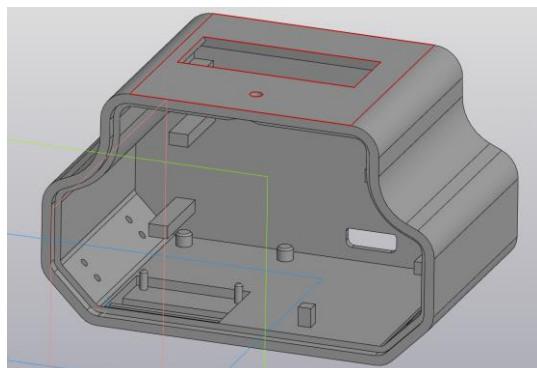


Рисунок 3.19 – Корпус носимого пристрою

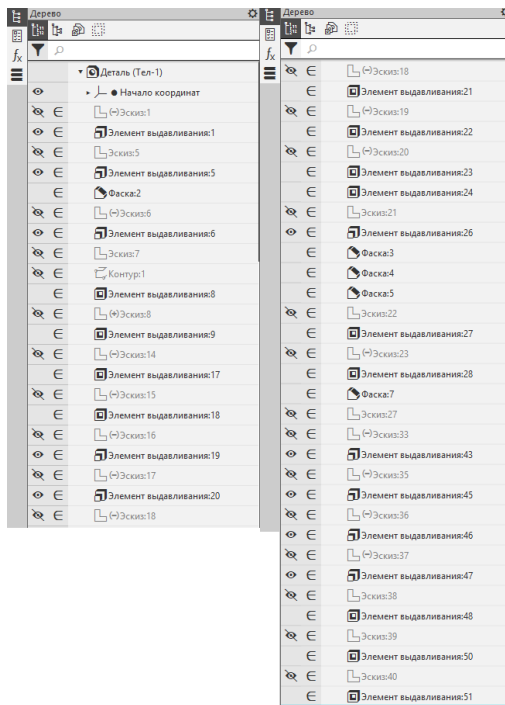


Рисунок 3.20 – Дерево побудови корпусу

При розміщенні всіх компонентів апаратної частини, включно з зарядним пристроєм у відповідній частині корпусу, було отримане відповідне 3D складання, яку зображено на рисунку 3.21.

Для двосторонньої фіксації всіх компонентів була створена 3D модель кришки з відповідними технічними поверхнями для розміщення модулів. Деталь має поверхню стику, що була виконана за допомогою зміщення контуру та наступного вирізання подібної поверхні до поверхні на корпусі. Це було виконано для того щоб відмовитися від різьбового типу з'єднання, оскільки для приладу з тонкостінним корпусом, різьбовий тип з'єднання буде виступати у ролі концентраторів напруги в критичних точках, що призведе до розтріскування матеріалу або виламування частин на етапі складання. Модель кришки з деревом побудови зображено на рисунку 3.22.

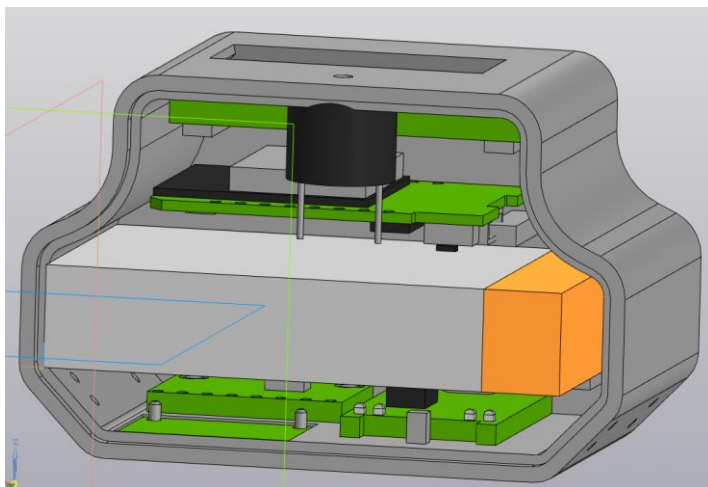


Рисунок 3.21 – 3D складання корпусу з електронною частиною

Останнім компонентом для завершення механічної частини є кріплення для браслету. Воно виконано у вигляді паралельних поверхонь до технологічних уклонів корпусу з метою полегшення виготовлення корпусу та можливістю незалежної системи закріплення. Кріпиться до корпусу за допомогою різьбового з'єднання та має скруглені поверхні, що слугують опорою для закріплення ремінця. Твердотільна модель кріплення зображена на рисунку 3.23 та його дерево побудови на рисунку 3.24.

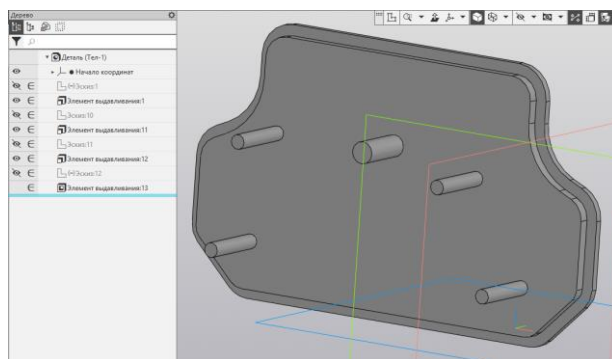


Рисунок 3.22 – Модель кришки з деревом побудови

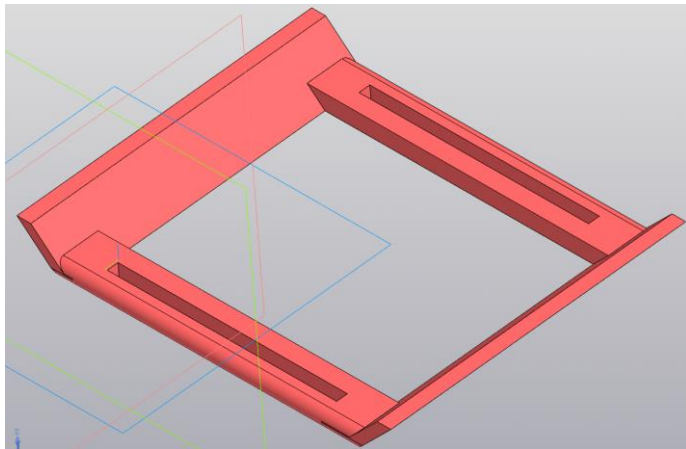


Рисунок 3.23 – Твердотільна модель кріплення для ремінця

Для більш зручного використання можливо використовувати текстильний гнучкий ремінець, що не буде надто тиснути на руку, перешкоджаючи нормальному кровообігу, але який буде забезпечувати надійне закріплення з вільним доступом до регулювання та можливістю заміни у подальшому на інше, т.к. ця частина пристрою буде найбільш підлягати зносу через тертя та постійний контакт зі шкірою.

На рисунку 3.25 зображений приклад ремінця для використання [65].

Остаточна компоновка носимого пристрою (без ремінця, оскільки його модель не створювалась) зображена на рисунку 3.26. Модель показана з боку отвору для зарядки, а також зверху видно встановлений екран у відповідній для нього площині. На рисунку 3.27 зображено дерево структурної побудови для 3D складання.

В результаті було створено всі необхідні моделі для проєктування остаточної компоновки моделі та проєктування механічної частини носимого пристрою. Файли моделі корпусу, кріплення та кришки в подальшому використовуються як вхідні дані для виготовлення прототипу за допомогою 3D друку.



Рисунок 3.24 – Дерево побудови кріплення



Рисунок 3.25 – Приклад ремінця для закріплення носимого пристрою на руці [65]

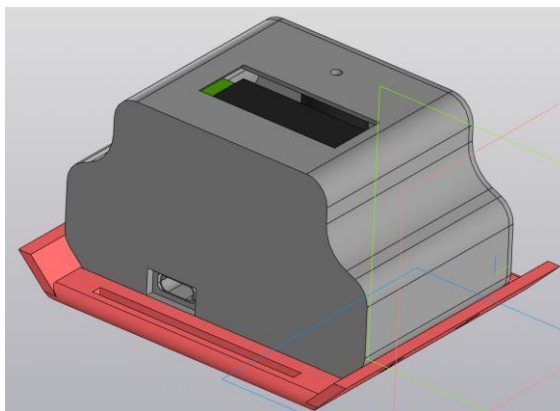


Рисунок 3.26 – Остаточна компоновка механічної частини носимого пристрою

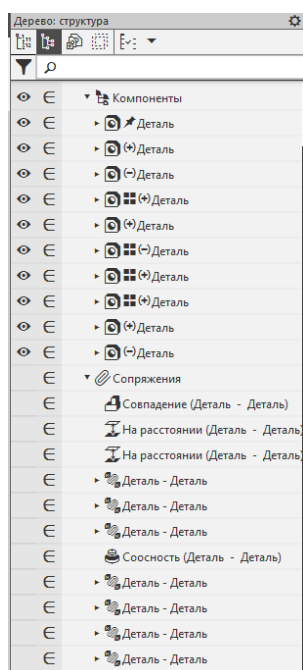


Рисунок 3.27 – Дерево структурної побудови механічної частини носимого пристрою

3.3.4 Виготовлення фізичного прототипу

На основі отриманих на попередньому етапі 3D моделей за допомогою CAD-системи КОМПАС-3D V18.1.15 були отримані файли формату STL (.stl), що використовуються вхідних даних для організації друкування на 3D принтері.

3D модель проєктованого виробу є основою реалізації методу пошарового створення фізичного об'єкта на 3D принтері.

В якості 3D принтеру для друкування механічної частини приладу використовувався 3D принтер Leapfrog Creatr HS (High speed) [66]. До переваг слід віднести високий рівень підтримки та велику базу користувачів з наявністю великої кількості матеріалів для тонкого налаштування, а також стійку конструкцію з алюмінієвої рами, надійну апаратну частину, що забезпечує дуже високу точність виготовлених деталей.

В якості програмного забезпечення для друку в комплект поставки до принтеру включена програма Simplify 3D.

Після отримання STL-файлів їх необхідно завантажити до програми та провести налаштування, що буде забезпечувати достатню якість друку, а саме – точність та шорсткості поверхні. В якості матеріалу використовувався ABS пластик, що стійкий до багатьох несприятливих умов експлуатації як волого-, масло- та кислотостійкість. Також він не є токсичним і має низьку вартість.

З огляду на специфіку форми та матеріалу проводився підбір оптимальних параметрів для друку та було визначено технологічні параметри процесу друкування. Після проведеного підбору параметрів було створено фізичні прототипи деталей механічної частини проєктованого носимого пристрою, а саме – корпус, кришку та кріплення. Корпус і кришка зображені на рисунку 3.28 з попередньою компоновкою неповної апаратної частини всередині.



Рисунок 3.28 – Роздруковані частини фізичного прототипу
проектованого браслету

3.4 Розробка програмного забезпечення

Створення проєкту на Arduino виконується у 3 етапи: написання коду, відлагодження та прошивка. У результаті було створено програмний код для апаратної частини пристрою, який було завантажено в якості прошивки. У подальшому для оновлення коду та завантаження додаткового функціоналу може бути реалізовано можливість віддаленого оновлення за допомогою завантажень нових версій програмного коду через Wi-Fi мережу.

Для написання, відлагодження та завантаження прошивок необхідно було завантажити й встановити Arduino Integrated Development Environment (IDE) – крос-платформений застосунок, написаний за допомогою мов програмування C та C++, що використовується для написання та завантаження програмного коду на Arduino-сумісні плати [67]. Являє собою сучасне повнофункціональне середовище розробки з сучасним інтерфейсом, мульти-панеллю IDE з інтегрованим представленням файлової системи, та призначене для розробки великих багатофайлових проєктів на основі репозиторію (інтеграція з Git) [68]. Інтерфейс середовища розробки зображено на рисунку 3.29.

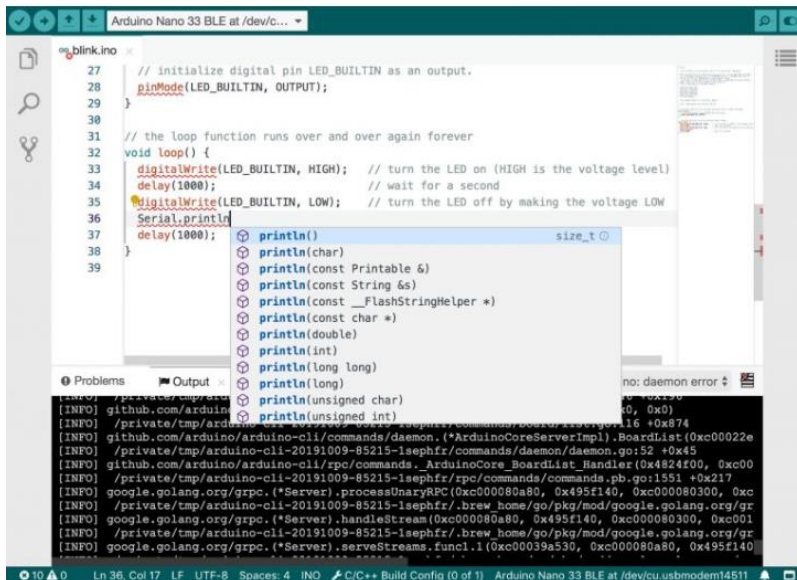


Рисунок 3.29 – Інтерфейс Arduino IDE

Коли вже є плата і на комп'ютері встановлене середовище для розробки можна створювати скетчі (прошивки). В якості мови програмування Arduino використовується спрощена версія мови C++ з передвизначеними функціями. Як і в інших C-подібних мовах програмування, є ряд правил для написання коду. Наприклад: після кожної інструкції необхідно ставити знак крапки з комою; перед оголошенням функції необхідно вказати тип даних, що повертається функцією або `void` якщо функція не повертає значення; так само необхідно вказувати тип даних перед оголошенням змінної; коментарі позначаються: `///
/` рядковий і `/
/` блоковий `/
*/`.

Всі прошивки Arduino повинні мати мінімум дві функції: `setup ( )` і `loop ( )`. Функція `setup ( )` виконується лише на самому початку і лише один раз відразу після включення або перезавантаження пристрою. Зазвичай, в цій функції декларують режими пінів, відкривають необхідні протоколи зв'язку і налаштовують під'єднанні бібліотеки. Функція `loop ( )` виконується

після функції `setup ( )`. Ця функція є замкнутою, а тому буде виконуватись циклічно.

Алгоритм функціонування системи моніторингу об'єднує ряд етапів:

- ініціалізація змінних з адресами датчиків, що під'єднані до шини даних I2C;
- ініціалізація OLED дисплею для виводу інформації;
- оголошення змінних для виводу параметрів на екран;
- ініціалізація та старт використання шини I2C на швидкості 400kHz;
- старт використання дисплею,
- зчитування даних з датчиків та передача даних від датчиків на сервер.

На початку необхідно визначити змінні для розміру масиву обчислюваних даних датчику пульсу - `RATE_SIZE`; для кількості зафіксованих ударів пульсу - `rateSpot`; час з останнього удару - `lastBeat`; кількість ударів у хвилину - `beatsPerMinute`; середнє значення пульсу – `beatAvg`, JSON запит для серверу – `jsonResult`, а також задати параметри за замовчуванням для необхідних змінних. У кожному циклі відбувається безперервне зчитування даних з датчиків. Всі дані зберігаються у окремих змінних. Одночасно при визначенні всіх даних формується JSON запит до серверу для збереження та подальшої обробки даних.

Схему алгоритму роботи підпрограми вимірювання пульсу представлено на рисунку 3.30. Фрагменти тексту програми наведено у додатку А. Використовуються коментарі для більшості рядків коду щодо пояснення виконання тієї чи іншої команди або зміної.

Створений код для апаратної платформи ESP8266 займає 18% пам'яті. Змінні займають 27% пам'яті пристрою.

Для вирішення задачі візуалізації та збереження інформації можуть бути використані сучасні хмарні сервіси [69]. В якості такого сервісу можна рекомендувати безкоштовний сервіс `Freeboard.io`, що побудований на безпечній, високопродуктивній хмарній системі корпоративного класу (рис. 3.31). Він дозволяє зручно та просто створювати інтерактивні інформаційні панелі та візуалізації в реальному часі за допомогою інтуїтивного інтерфейсу [70].

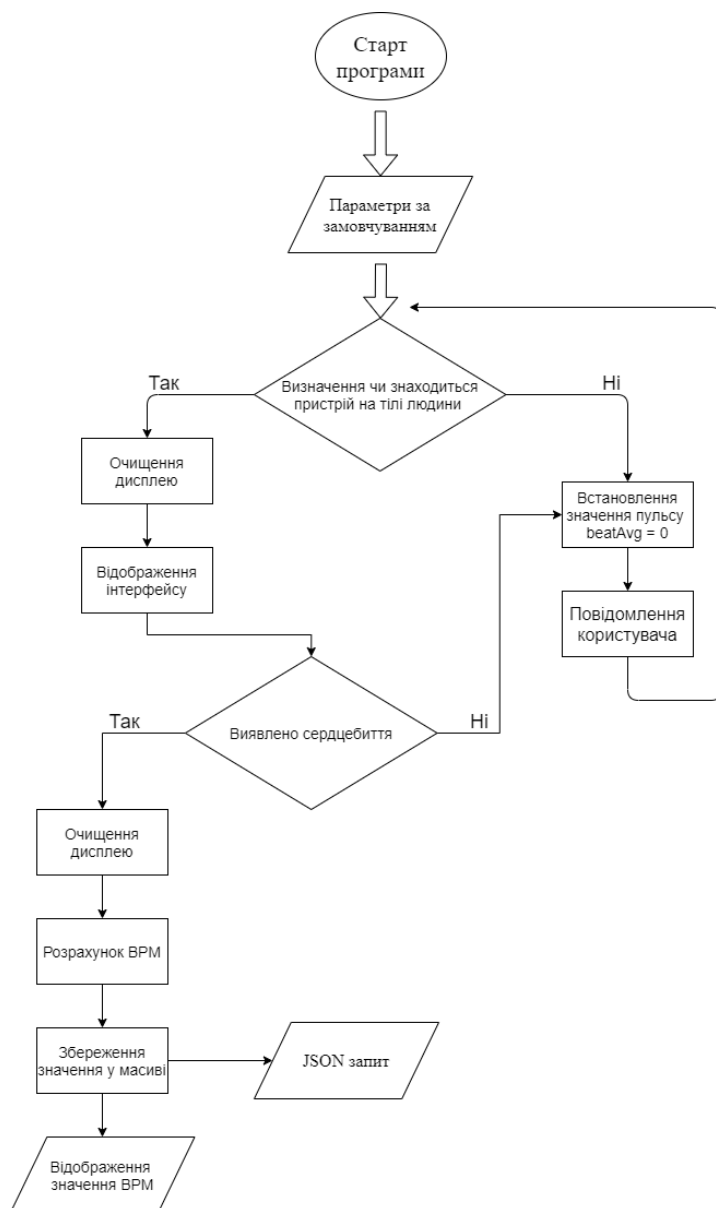


Рисунок 3.30 – Схема алгоритму підпрограми вимірювання пульсу

WIDGET

TYPE: Gauge ▼

TITLE: Patient 1

VALUE: `datasources["patient1"]["pulse"]` + DATASOURCE JS EDITOR

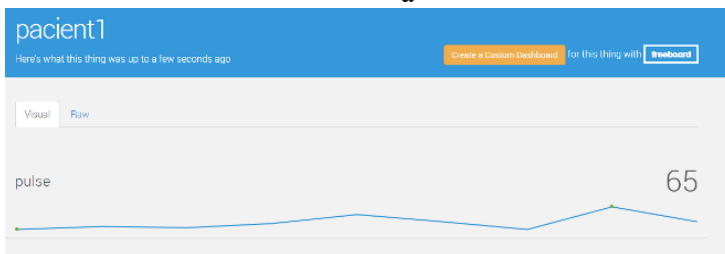
UNITS: BPM

MINIMUM: 0

MAXIMUM: 200

SAVE CANCEL

a



б



в

Рисунок 3.31 - Форма реєстрації пацієнта (а), форма графіка пульса (б) та форма-монітор лікаря (в)

3.5 Висновки до розділу 3

В даному розділі було представлено архітектуру системи моніторингу та структурну схему проєктованого носимого пристрою. Виконано аналіз та вибір компонентів апаратної частини

для забезпечення необхідного функціоналу носимого пристрою (отримана вартість комплекту склала 22,6\$); проєктування конструкції носимого пристрою на основі сучасної САПР; розробку програмного забезпечення для носимого пристрою.

В результаті, на основі Wi-Fi модулю WeMos D1 міні на чіпі ESP8266 було створено прототип носимого пристрою, що може використовуватись для контролю показників фізичного стану людини у складі інформаційної системи медичного закладу.

3.6 Контрольні питання

1. Назвіть переваги та недоліки існуючих варіантів організації системи віддаленого моніторингу.
2. Охарактеризуйте функціональну схему системи віддаленого моніторингу показників фізичного стану людини.
3. Опишіть склад проєктованого носимого пристрою.
4. Виконайте аналіз та обґрунтуйте вибір компонентів для носимого пристрою.
5. Порівняйте популярні датчики серцевого ритму та пульсоксиметрії.
6. Порівняйте існуючі інтегральні модулі акселерометру та гіроскопу.
7. Охарактеризуйте етапи побудови віртуального прототипу конструктиву носимого пристрою.
8. Назвіть етапи створення проєкту на Arduino.
9. Охарактеризуйте команди та змінні підпрограми вимірювання пульсу.
10. Назвіть функціональні можливості хмарного сервісу Freeboard.io.

3.7 Практичні завдання

Завдання 1. Запропонуйте альтернативний варіант конструкції носимого пристрою та створіть 3D модель в середовищі сучасної САПР.

Завдання 2. Виконайте огляд джерел інформації та підготуйте мультимедійну презентацію на тему «Сучасні хмарні сервіси».

4 ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

4.1 Дослідження особливостей моніторингу кардіо-параметрів людини

Мета роботи: ознайомитись з базовими поняттями електрокардіографії, вивчити основні функції апаратних та програмних засобів моніторингу кардіо-параметрів.

4.1.1 Поняття про електрокардіографію

Електрокардіографія – метод графічної реєстрації електричних явищ, які виникають у серцевому м'язі під час його діяльності, з поверхні тіла. Електрокардіографія є одним з основних методів дослідження серця та діагностики захворювань серцево-судинної системи.

Криву, яка відображає електричну активність серця, називають електрокардіограмою (ЕКГ). Таким чином, ЕКГ – це запис коливань різниці потенціалів, які виникають у серці під час його функціонування. У XIX сторіччі завдяки дослідженню патологій серця виявили, що серце має електричний потенціал та протягом своєї роботи виробляє певну кількість електричної енергії. Перші ЕКГ у 1888 році записав французький фізик, лауреат Нобелівської премії з фізики 1908 року Габрієль Ліппман з використанням ртутного капілярного електрометра. Але ця методика не знайшла практичного використання. Нідерландський фізіолог Віллем Ейнтговен сконструював у 1903 році прилад (струнний гальванометр), що дозволив йому реєструвати справжню ЕКГ. Ейнтговен став фундатором електрокардіографії, вперше у 1906 році застосувавши її для медичної діагностики. Він дав назву зубцям ЕКГ, описав певні порушення в роботі серця. У 1924 році йому було присуджено Нобелівську премію з фізіології та медицини з формулюванням «За відкриття техніки електрокардіограми».

ЕКГ є найпоширенішим видом дослідження серцевої діяльності людини (СДЛ), вона незамінна при діагностиці порушень ритму та провідності, гіпертрофії, ішемічної хвороби серця. Цей метод дає можливість з великою точністю говорити про локалізацію осередкових змін міокарда, їх розповсюдженість,

глибину та час появи. ЕКГ дозволяє виявити дистрофічні й склеротичні процеси в міокарді, порушення електролітного обміну, що виникають під впливом різних токсичних речовин. ЕКГ широко використовують для функціонального дослідження серцево-судинної системи. Поєднання електрокардіографічного дослідження з функціональними пробами допомагає виявити приховану коронарну недостатність, перехідні порушення ритму, проводити диференційний діагноз між функціональними та органічними порушеннями роботи серця.

Таким чином, ЕКГ - це діагностичний метод, що дозволяє визначити функціональний стан найважливішого органу людського тіла – серця (рис. 4.1).

На основі ЕКГ можна отримати таку інформацію:

- частота серцевих скорочень;
- фізичний стан серця;
- наявність аритмій;
- наявність гострих або хронічних ушкоджень міокарда;
- наявність порушень обміну речовин в серцевому м'язі;
- наявність порушень електричної провідності;
- положення електричної вісі серця.

Також ЕКГ серця може використовуватися для отримання інформації про деякі захворювання судин, не пов'язані з серцем.

Фактори які впливають на ЕКГ: час доби, електромагнітний фон, фізичні навантаження, приймання їжі, положення електродів.

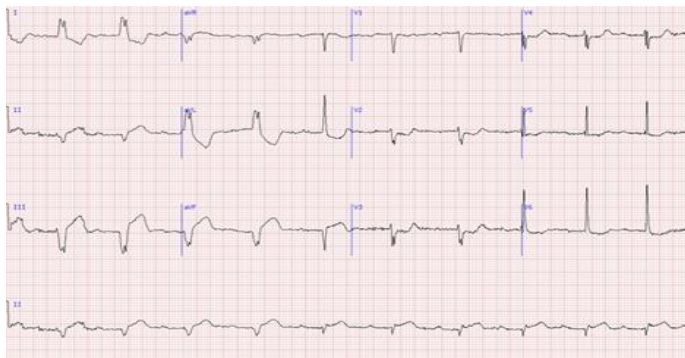


Рисунок 4.1 – Приклад електрокардіограми

4.1.2 Структура серцевого циклу

На схемі ЕКГ (рис. 4.2) серцевий цикл розділений на зубці та інтервали, кожен з яких відповідає певній фазі розповсюдження хвилі збудження у міокарді. Міокард - назва м'язового середнього шару серця, що становить основну частину його маси, вимагає постійного кровопостачання та забезпечення киснем.

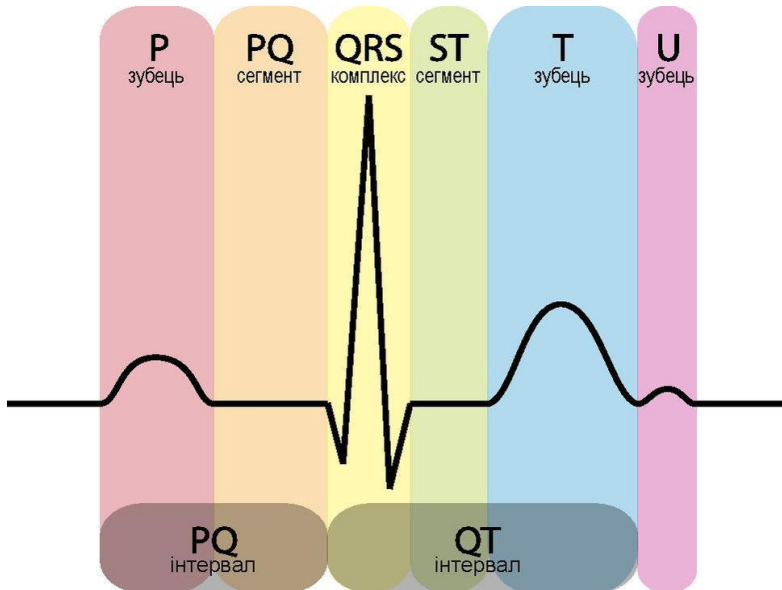


Рисунок 4.2 – Схематичне зображення структури циклу ЕКГ

Зубець P відповідає деполаризації передсердь (макс 0,12 сек).

Інтервал P-Q – поширення деполаризації до атріовентрикулярного вузла (проміжок часу від початку збудження передсердь до початку збудження шлуночків).

Шлуночковий комплекс QRS (макс 0,10 сек, але у 21% населення діагностується розширення комплексу до 0,12 сек, яке не вважається патологією) складається з трьох окремих зубців Q, R, S і відображає розповсюдження збудження тканиною шлуночків.

Q – перше від'ємне відхилення від ізоелектричної лінії.

R – перше позитивне відхилення.

S – від’ємне відхилення після R зубця.

Сегмент S-T відображає початкову фазу реполяризації міокарда шлуночків (тому різниця потенціалів не виявляється).

Зубець T – хвиля реполяризації шлуночків.

U хвиля є непостійним компонентом і може з’являтися при електролітних порушеннях (наприклад, гіпокаліємії).

Послідовність циклу роботи серця зображено на рисунку 4.3.

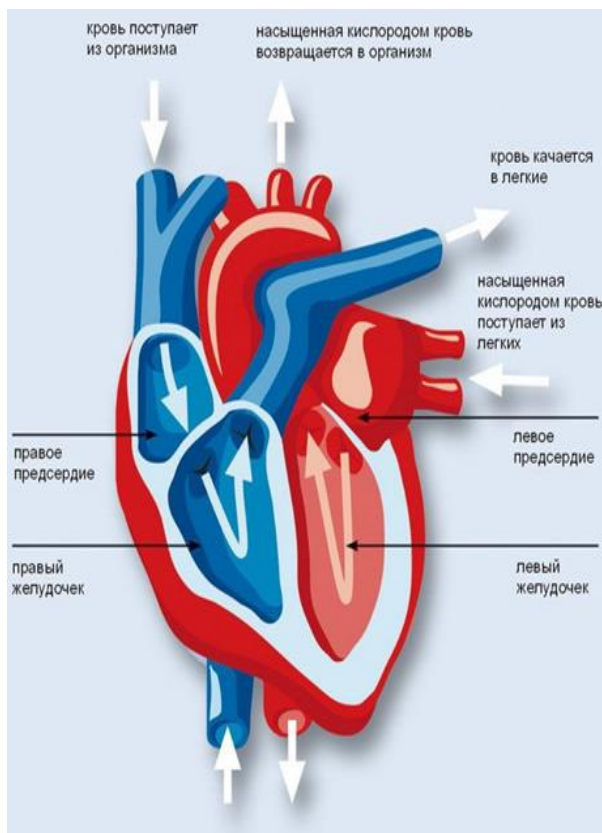


Рисунок 4.3 - Зображення послідовності роботи серця

Вивчаючи стани зубців та комплексів, можливо провести діагностування проблем. У таблиці 4.1 наведено приклади діагнозів та опис методу діагностування.

Таблиця 4.1 - Діагнози за станами комплексів ЕКГ

Опис методу діагностування	Діагноз
Відстань між зубцями R неоднакова	Миготлива аритмія, серцева блокада, слабкість синусового вузла, екстрасистолія
Зубець Р занадто високий (більше 5 мм), занадто широкий (більше 5 мм), складається з двох половин	Потовщення передсердь
Зубець Р відсутній на всіх відведеннях, крім V1	Ритм виходить не з синусового вузла
Інтервал PQ подовжений	Атріовентрикулярна блокада
Розширення QRS	Гіпертрофія шлуночків, блокада ніжок пучка Гіса
Немає проміжків між QRS	Пароксизмальна тахікардія, фібриляція шлуночків
QRS у вигляді прапорця	Інфаркт
Глибокий і широкий Q	Інфаркт
Широкий R (більше 15 мм) у відведеннях I, V5, V6	Гіпертрофія лівого шлуночка, блокада ніжок пучка Гіса
Глибокий S в III, V1, V2	Гіпертрофія лівого шлуночка
S-T вище або нижче ізолінії більш ніж на 2 мм	Ішемія або інфаркт
Високий, двогорбий, гострий T	Перевантаження серця, ішемія
T зливається з R	Гострий інфаркт

4.1.3 Розробка системи моніторингу кардіо-параметрів

Для розробки системи моніторингу може використовуватися наступне обладнання:

- платформа Arduino Mega;
- модуль ЕКГ AD8232 з електродами.

Платформа Arduino Mega (рис. 4.4) побудована на МК ATmega2560. Вона має 54 цифрових входів/виходів (14 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ), 16 аналогових входів, 4 послідовних порти UART, кварцовий генератор 16 МГц, USB конектор, роз'єм живлення, роз'єм ICSP і кнопка перезавантаження. Для роботи необхідно підключити плату до комп'ютера за допомогою кабелю USB або подати живлення за допомогою адаптера AC/DC, або акумуляторною батареєю. Arduino Mega 2560 сумісна з усіма платами розширення, розробленими для платформ Uno або Duemilanove.



Рисунок 4.4 – Arduino Mega 2560

Основні характеристики плати насутні. МК ATmega2560. Робоча напруга 5В. Вхідна напруга (рекомендована) 7-12В. Вхідна напруга (гранична) 6-20В. Цифрові Входи/Виходи 54 (14 з яких

можуть працювати також як виходи ШІМ). Аналогові входи 16. Постійний струм через вхід/вихід 40 мА. Постійний струм для виведення 3.3 50 мА. Флеш-пам'ять 256 КБ (з яких 8 КБ використовуються для завантажувача). ОЗУ 8 КБ. Енергонезалежна пам'ять 4 КБ. Тактова частота 16 МГц.

Arduino Mega може отримувати живлення як через підключення по USB, так і від зовнішнього джерела живлення. Джерело живлення вибирається автоматично. Зовнішнє живлення (не USB) може подаватися через перетворювач напруги AC/DC (блок живлення) або акумуляторною батареєю. Перетворювач напруги підключається за допомогою роз'єму 2.1 мм з позитивним полюсом на центральному контакті. Дроти від батареї підключаються до виводів Gnd і Vin роз'єму живлення (POWER). Платформа може працювати при зовнішньому живленні від 6 до 20 В. При напрузі живлення нижче 7, вивід 5V може видавати менше 5 В, при цьому платформа може працювати нестабільно. При використанні напруги не вище 12 В регулятор напруги може перегрітися та пошкодити плату. Рекомендований діапазон від 7 до 12 В. Плата Mega2560, на відміну від попередніх версій плат, не використовує FTDI USB МК. Для обміну даними з USB використовується МК Atmega8U2, запрограмований як конвертер USB-to-serial).

На платі розташовані наступні виводи.

VIN. Вхід використовується для подачі живлення від зовнішнього джерела (відсутність 5 від роз'єму USB або іншого регульованого джерела живлення). Подача напруги живлення відбувається через цей вивід. Якщо живлення подається на роз'єм 2.1 mm, то на цей вхід можна записатися.

5V. Джерело напруги, що використовується для живлення МК та компонентів на платі. Живлення може подаватися від виводу VIN через регулятор напруги, або від роз'єму USB, або іншого регульованого джерела напруги 5 В.

3V3. Напруга на виході 3.3 В генерується мікросхемою FTDI на платформі. Максимальне споживання струму 50 мА.

GND. Вивід заземлення.

Платформа програмується за допомогою середовища розробки Arduino IDE або інших.

МК ATmega2560 поставляється з записаним завантажувачем, полегшує запис нових програм без використання зовнішніх програматорів. Зв'язок здійснюється за оригінальним протоколом STK500. Є можливість не використовувати завантажувач і запрограмувати МК через виводи блоку ICSP (внутрішньосхемного програмування). Код прошивки для контролера ATmega8U2 доступний для вільного завантаження. Контролер ATmega8U2 має власний DFU завантажувач, який може бути активований замиканням джампера на звороті плати і перезавантаженням контролера. Для запису нової прошивки можливо використовувати Atmel's FLIP (під Windows) або DFU програматор (на Mac OS X або Linux). Також можна переписати прошивку зовнішнім програматором, використовуючи ISP вхід.

Модуль ЕКГ AD8232 (рис. 4.5) – це економічний модуль, який використовується для вимірювання електричної активності серця. Ця електрична активність може бути визначена як ЕКГ і виведена як аналогові покази. ЕКГ сигнали можуть бути надзвичайно малими, та монітор серцевого ритму AD8232 працює як операційний підсилювач, щоб можна було легко отримати чистий сигнал для визначення інтервалів PR і QT та інших.

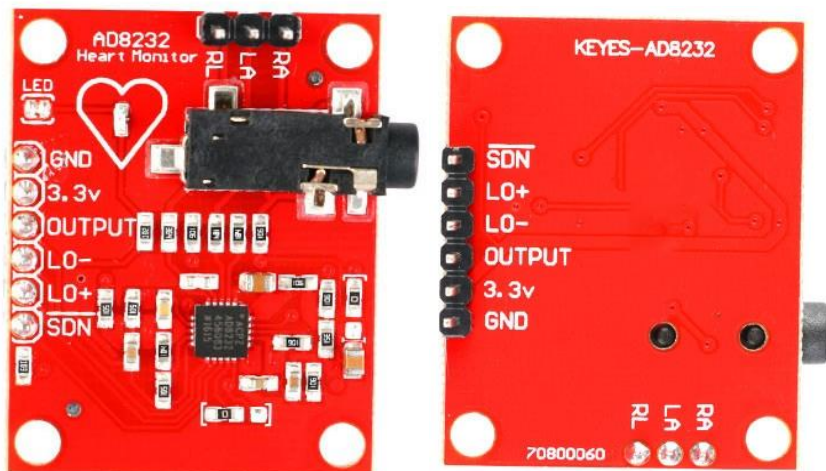


Рисунок 4.5 - Модуль ЕКГ AD8232

Галузь застосування:

- контроль серцевого ритму при заняттях спортом;
- портативний апарат зняття ЕКГ;
- віддалений моніторинг стану здоров'я;
- ігрове периферійне устаткування;
- збір біоелектричних сигналів.

Технічні характеристики:

- напруга живлення: 3,3 В;
- тип вихідного сигналу: аналоговий вихід;
- вихідний інтерфейс: 2,54 pin або роз'єм для навушників;
- розмір модуля: 36 мм * 31 мм * 18 мм;
- номінальний діапазон температур: від 0 ° С до + 70 ° С;
- робочий діапазон температур: від -40 ° С до + 85 ° С.

Призначення пінів модуля:

- 3.3V – 3.3V;
- GND – GND;
- A0 – OUTPUT;
- LO- – Leads of Detect -;
- LO+ – Leads of Detect +;
- SDN – вимкнення модуля.

Модуль з мікросхемою AD8232 забезпечує доступ до дев'яти пінів AD8232. Контакти SDN, LO +, LO-, OUTPUT, 3.3V, GND забезпечують необхідні лінії для роботи з мікросхемою за допомогою Arduino або іншої плати розробки. На цій платі також передбачені лінії RA (права рука), LA (ліва рука) і RL (права нога) для кріплення і використання ваших власних датчиків. Крім того, є світлодіодний індикатор, який буде відображати ритм пульсу. Для підключення біомедичної сенсорної площинки можна використовувати 3,5-міліметровий роз'єм або задіяти 3-контактний роз'єм.

- RA – права рука;
- LA – ліва рука;
- RL – права нога.

Приклад розміщення електродів на тілі людини зображено на рисунку 4.6.

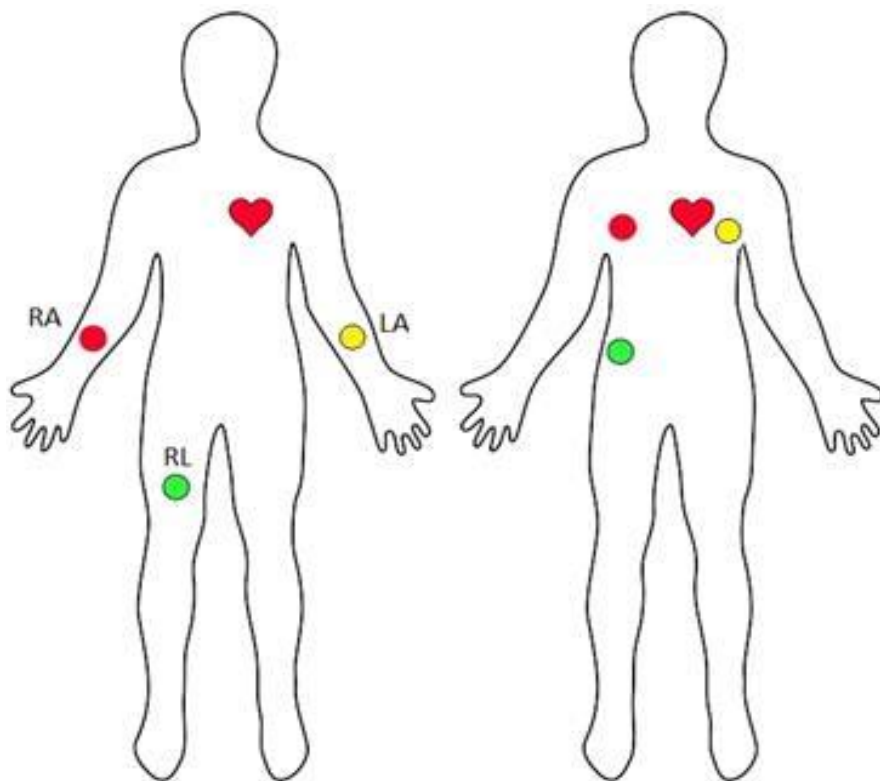
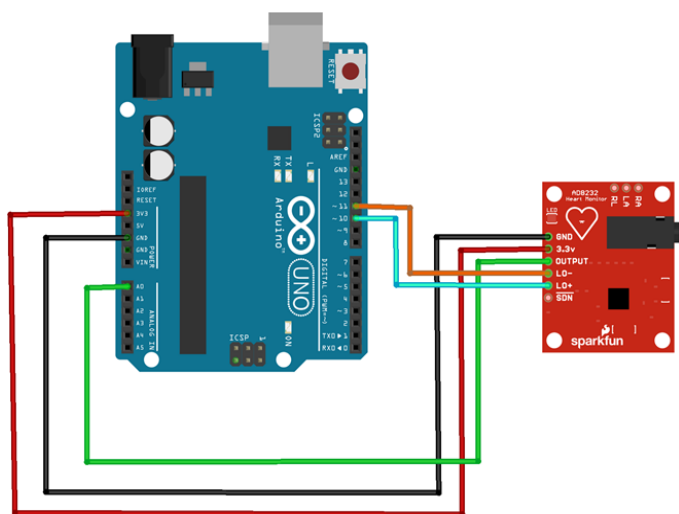


Рисунок 4.6 – Приклад розміщення електродів на тілі людини

Даний пристрій не може бути застосовано для самостійного діагностування у тестовому режимі, лише кваліфікований лікар або надійна експертна система може робити будь-які висновки про фізичний стан людини.

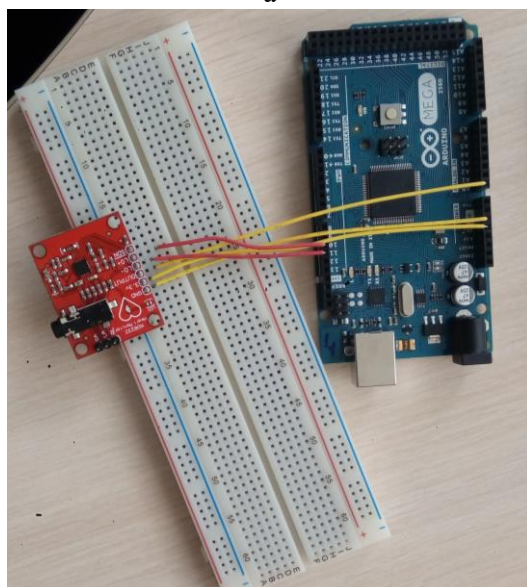
Для підключення модуля ЕКГ до плати Arduino необхідно виконати підключення за схемою, зображеною на рисунку 4.7, а. Приклад підключення реального обладнання – на рис. 4.7, б.

Наступним кроком є завантаження програми 1 до плати (рис. 4.8). Після завантаження необхідно від'єднати пристрій від комп'ютера.



fritzing

a



б

Рисунок 4.7 – Схема (а) та приклад (б) підключення модуля AD8232 до Arduino Uno/Mega

```

1 void setup() {
2   Serial.begin(19200);
3   pinMode(10, INPUT);
4   pinMode(11, INPUT);
5 }
6 void loop() {
7   if ((digitalRead(10) == 1) || (digitalRead(11) == 1)) {
8     Serial.println("Error");
9   }
10  else {
11    Serial.println(analogRead(A0));
12  }
13
14  delay(5);
15 }

```

Рисунок 4.8 – Код програми 1 для виводу кардіограми

Програма циклічно перевіряє присутність цифрових сигналів від модуля, що вказують на виявлення модулем ЕКГ. Якщо ЕКГ виявлено, відбувається зчитування аналогового значення з модуля та вивід у консоль. Отримане значення можливо та необхідно масштабувати. Масштабуванням часу зчитування безперервного аналогового сигналу з модуля можливо отримати більш чіткі дані.

Наступним кроком є підключення електродів до людини (пацієнта). Важливо! До під'єднання електродів місце підключення необхідно обробити антисептичним засобом.

Після під'єднання електродів та завантаження програми, необхідно приєднати плату Arduino до комп'ютера. Далі необхідно відкрити монітор порта (COM) (Ctrl+Shift+M), де можливо переглянути результати у вигляді числових значень. Для візуального відображення графіка необхідно відкрити “Плоттер послідовного порту” (Ctrl+Shift+L) та переглянути результат на екрані. Щоб побачити графік, треба встановити для плоттера значення швидкості обміну даними 19200 (як у коді програми), інакше будемо отримувати незрозумілий набір символів. Якщо плоттер послідовного порту не відкривається, зверніть увагу на версію Arduino IDE. Приклад візуалізації результату на екрані монітору зображено на рисунку 4.9.

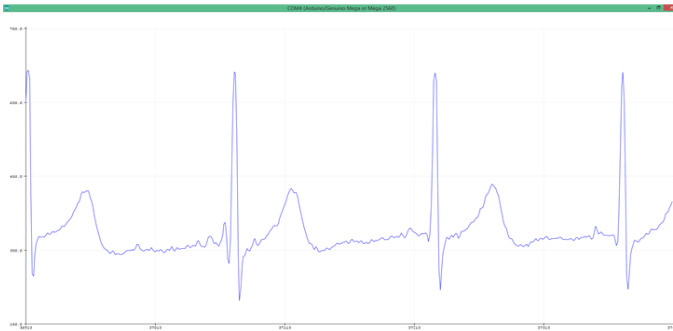


Рисунок 4.9 - Приклад візуалізації кардіограми

4.1.4 Виведення ЕКГ на портативний пристрій

Мета полягає у створенні портативного пристрою для виводу кардіограми на TFT дисплей, що підключений до плати Arduino Mega за допомогою провідників або шлейфу для TFT дисплея.

Прикладом портативних пристроїв є обладнання холтер-моніторингу. Холтер-моніторинг незамінний після перенесеного інфаркту міокарда або перед проведенням операцій на серці. Добове моніторування застосовується для діагностики багатьох серцево-судинних захворювань:

- порушень серцевого ритму;
- порушень провідності серця;
- німої ішемії міокарда;
- ішемічної хвороби серця та ін.

Холтер-моніторинг дозволяє не тільки встановити факт аритмії, а й визначити частоту її виникнення, тривалість і пороговий рівень навантаження, при якій вона виникає.

Отримані в результаті холтерівського моніторингу дані, аналізуються кардіологом і дають необхідну інформацію для встановлення правильного діагнозу і точної оцінки роботи серця. При необхідності призначаються додаткові обстеження (УЗД серця), здаються аналізи, проводяться консультації суміжних фахівців.

За допомогою холтер-моніторингу контролюється ефективність лікування і, при необхідності, проводиться його корекція. Також апарат може використовуватися для оцінки функціонування встановленого кардіостимулятора.

Загальний опис TFT дисплея наступний. Кольоровий TFT-Шилд 3,5" для Arduino Mega з роздільною здатністю 480x320 пікселів, 262к кольорів, побудований на контролері ILI9486, підтримує 16-бітний інтерфейс. Для роботи використовує бібліотеку UTFT. На платі дисплея є роз'єм підключення SD-Card для зберігання даних. Дисплей встановлюється на контроллер без додаткових перехідників і шилдів. Для роботи з цим дисплеєм підходить бібліотека для контролера HX8357.

Характеристики дисплея:

- тип дисплея: 3.5 "TFT LCD Модуль;
- тип контролера: ILI9486;
- роздільна здатність: RGB 480x320 пк;
- підсвічування: 6 ультра яскравих білих світлодіода;
- інтерфейс: паралельний 16-bit; Розміри: 89,9 x 54.25 мм.

Для роботи необхідно виконати підключення компонентів за прикладом на рисунку 4.10 та встановити наступні бібліотеки: TFT_HX8357 [71] та UTFT [72].

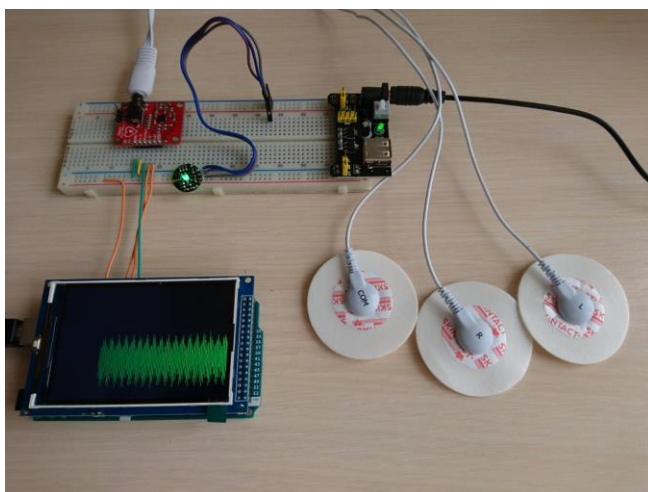


Рисунок 4.10 – Приклад підключення компонентів

Після завантаження, бібліотеки потрібно розархівувати та перемістити до папки, в якій зберігаються бібліотеки Arduino IDE (наприклад, C:\Users\<user>\Documents\Arduino\libraries).

Після підключення TFT дисплея до плати Arduino необхідно внести зміни у розробленому програмному коді 1, використовуючи функції роботи з дисплеєм. Приклад зміненого коду (програма 2) зображено нижче:

Програма 2:

```
#include <TFT_HX8357.h>
#include <User_Setup.h>
TFT_HX8357 tft = TFT_HX8357();
unsigned long drawTime = 0;
int x, y;
int lastx, lasty = 0;
int dataheart = 0;
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  tft.init();
  tft.setRotation(1);
}

void loop() {
  tft.fillScreen(TFT_BLACK);
  x = 100, y = 100;
  lastx, lasty = 0;
  for(int i = 0; i <= 480; i++) {
    if(i == 0) {
      lastx = i;
      lasty = dataheart;
    }
    dataheart = analogRead(A0) / 3;
    tft.drawLine(i, dataheart, lastx, lasty, TFT_GREEN);
    delay(5);
    lastx = i;
    lasty = dataheart;
  }
}
```

Після завантаження, необхідно перевірити роботу програми. Приклад результату зображено на рисунку 4.11.

Можливо виконати візуалізацію інформації зі змінами кольорів та масштабуванням виведення ЕКГ на дисплей.



Рисунок 4.11 – Приклад виведення ЕКГ на TFT дисплей

4.1.5 Завдання до лабораторної роботи

1. Під'єднайте модуль ЕКГ до Arduino Mega.
2. Завантажте програмний код з прикладу.
3. Виконайте масштабування, змінюючи час виводу даних та множення результату.
4. Проведіть перевірку отриманих даних згідно з таблицею діагнозів.
5. Розробіть алгоритм для діагностування одного з діагнозів.
6. Внесіть коментарі до коду програми.
7. Виконайте вдосконалення коду та апаратного забезпечення за прикладом у пункті 4.1.4. Внесіть коментарі до коду програми.
8. Зробіть загальні висновки. Підготуйте звіт.

4.1.6 Зміст звіту

1. Тема та мета роботи.
2. Фото результату складання компонентів за заданою схемою підключення.
3. Скріншоти результатів виводу даних у плоттер послідовного порту (2-3 скріншоти з результатами масштабування даних). Висновок.
4. Результати перевірки згідно таблиці діагнозів. Висновок.
5. Скріншот з коментарями до розроблених кодів програми 1 та програми 2.
6. Фото роботи портативного пристрою моніторингу ЕКГ.
7. Загальні висновки з роботи (що було виконано, для чого, як це можливо використовувати в інших сферах).

4.1.7 Контрольні питання

1. Основне призначення модуля AD8232?
2. Функціональні можливості дисплея 3.5 "TFT LCD?
3. Розрахуйте приблизний час роботи портативного пристрою від акумулятора 5В 3000мА.

4.2 Система моніторингу загальних характеристик стану пацієнта

Мета роботи: вивчення принципу дії та особливостей реалізації систем, що надають можливість провести самостійне діагностування показників температури та вологості тіла, пульсу, тиску, насиченості крові киснем, атмосферного тиску.

4.2.1 Огляд існуючих систем самодіагностики

Людина на робочому місці повинна бути в адекватному стані, особливо, якщо від неї залежить безпека інших людей, а не тільки продуктивність і здатність виконувати обов'язки. Прикладів багато: водії громадського транспорту, шахтарі, робітники на верстатах, екіпаж повітряного судна, охоронці.

Самодіагностика є невід'ємною частиною своєчасного виявлення проблем зі здоров'ям. Система моніторингу загальних характеристик стану пацієнта базується на ідеї «розумних» систем, що надають можливість провести особисте самостійне діагностування параметрів пацієнта (температура та вологість тіла, пульс, тиск, насиченість крові киснем, рівень цукру в крові та ін.) без звернення до медичного закладу.

Такі моніторингові системи можуть базуватися на технологіях телемедицини, що забезпечують дистанційну взаємодію лікарів з пацієнтами, їх ідентифікацію та документування дій при дистанційному медичному огляді, консультаціях, діагностуванні, спостереженні за станом здоров'я пацієнтів та самодіагностування деяких біологічних параметрів людини. Приклад станції медичного контролю зображено на рисунку 4.12.



Рисунок 4.12 – Станція медичного контролю параметрів пацієнта

Багато розробок доводять, що безконтактне діагностування за обличчям людини і голосом може давати достовірний результат про здоров'я людини, що в даний час є дуже актуальним. Приклади систем самостійної діагностики зображено на рисунках 4.13, 4.14.



Рисунок 4.13 - Система самодіагностики Tanita



Рисунок 4.14 - Система самодіагностики температури

Системи самодіагностики дуже корисні в медичних закладах, оскільки кожен пацієнт може самостійно підійти до стенду-системи, прикласти руки або навіть не торкаючись, отримати дані

діагностики стану з занесенням в історію. Наприклад: температура тіла, тиск, насичення кисню крові, місткість жиру %, рівень вісцерального жиру, м'язова маса, кісткова маса, вміст води, базальний рівень метаболізму (bmr), індекс маси тіла – імт (bmi), метаболічний вік, фізичний рейтинг.

4.2.2 Апаратне та програмне забезпечення системи моніторингу

Датчик серцевого ритму (пульсу) MAX30102 (рис 4.15) – це інтегральний датчик пульсу та насичення крові киснем. У датчику зібрано оптимізовану оптику, два світлодіоди, фотодетектор, високоточний аналоговий підсилювач і перетворювач, цифровий обробник та інтерфейсний модуль. Для підключення датчика до контролера використовується послідовний інтерфейс I2C та бібліотека, що знаходиться за посиланням [73].

У датчику використовується два світлодіоди: червоного і інфрачервоного спектра. Є можливість керувати як струмом через світлодіоди (від 0 мА до 50 мА), так і тривалістю імпульсів (від 200 мкс до 1,6 мс) для забезпечення максимальної точності вимірювань. Для калібрування датчика є вбудований датчик температури.

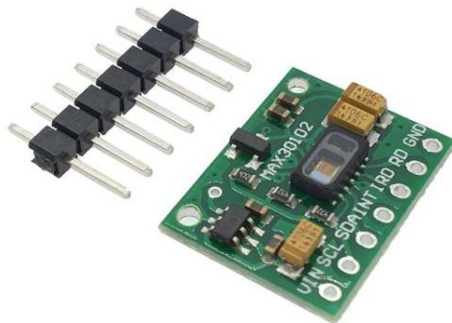


Рисунок 4.15 - Датчик серцевого ритму (пульсу) MAX30102

Характеристики датчика MAX30102:

- вимірювані параметри: частота пульсу і насичення крові киснем (SpO2);
- напруга живлення: 3,3 В (внутрішній стабілізатор на 1,8 В);

- струм в режимі вимірювання: 1.2 мА;
- струм в режимі сну: до 10 мкА;
- інтерфейс: I2C;
- максимальна частота інтерфейсу: 400 кГц;
- розміри: 18.5 x 14.5 x 3 мм.

DHT22 – цифровий датчик температури і вологості підвищеної точності. Датчик DHT22 має заводське калібрування і характеризується низьким енергоспоживанням (рис. 4.16).

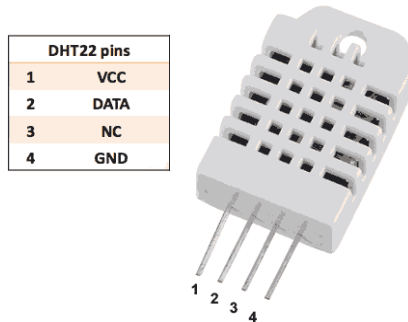


Рисунок 4.16 – Датчик температури та вологості DHT22

Характеристики датчика DHT22:

- виробник: AOSONG;
- тип: AM2302 цифровий;
- точність: 0.1;
- діапазон вимірювання вологості: 0-100%;
- діапазон вимірювання температури: -40 ~ 80 градусів

Цельсія;

- точність вимірювання вологості: $\pm 2\%$ RH;
- точність вимірювання температури: ± 0.5 градуса;
- напруга живлення: 3.6-6 В;
- кількість виводів: 4;
- ультранизьке енергоспоживання;
- здатний працювати при досить довгому дротовому з'єднанні.

Барометр BMP180 – це датчик атмосферного тиску з функцією вимірювання температури (рис. 4.17). Управляється по шині I2C.

Характеристики датчика BMP180:

- діапазон вимірювань: 300 - 1100 гПа (9000 ... -500 метрів над рівнем моря);
- роздільна здатність 0.03 гПа / 0.25 м;
- діапазон вимірювання температур: - 40 to + 85 ° C (точність ± 2 град);
- управління по шині I2C;
- напруга живлення: 2 – 5 В;
- споживання в режимі очікування: 0,1 мкА;
- модель: GY-65.

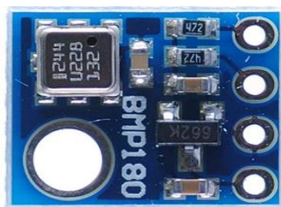
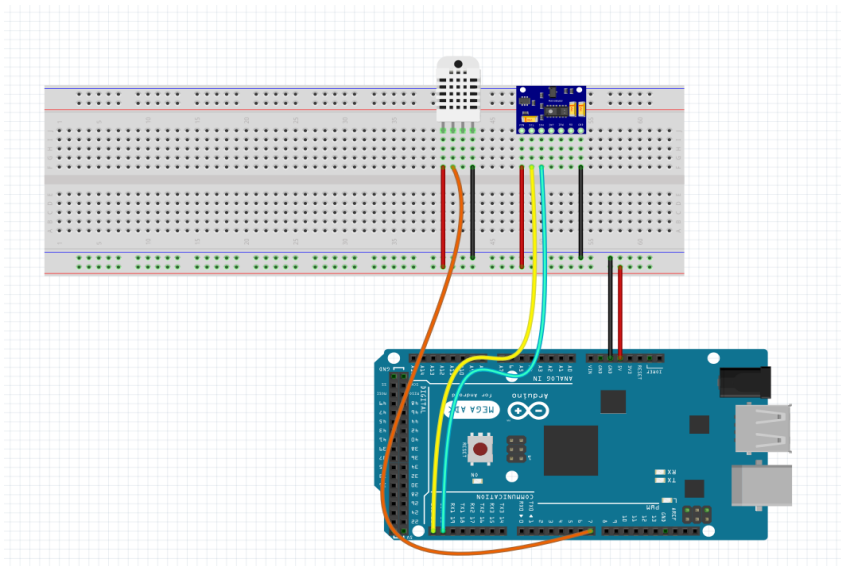


Рисунок 4.17 – Датчик атмосферного тиску BMP180

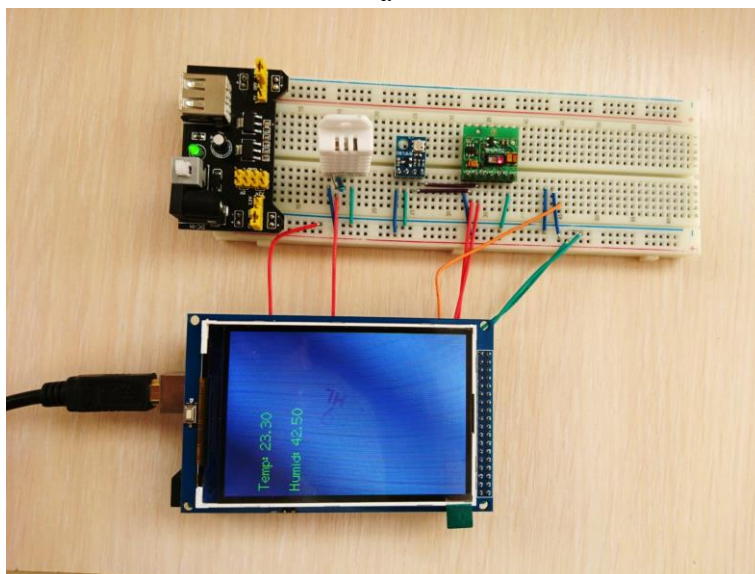
Виконати підключення датчиків можливо за схемою, що наведена на рисунку 4.18. Підключення датчика атмосферного тиску BMP180 виконайте самостійно.

Код програми для системи моніторингу наведено нижче.

```
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>
#include <Wire.h>
#include <TFT_HX8357.h>
#include "MAX30105.h"
#include "heartRate.h"
#define DHTPIN 7
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302)
DHT_Unified dht(DHTPIN, DHTTYPE);
MAX30105 particleSensor;
TFT_HX8357 tft = TFT_HX8357();
uint32_t delayMS;
```



а



б

Рисунок 4.18 – Схема (а) та приклад (б) підключення датчиків

```

const byte RATE_SIZE = 4;
byte rates[RATE_SIZE];
byte rateSpot = 0;
long lastBeat = 0;
float beatsPerMinute;
int beatAvg;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  tft.init();
  tft.setRotation(2);
  dht.begin();
  sensor_t sensor;
  dht.temperature().getSensor(&sensor);
  dht.humidity().getSensor(&sensor);
  delayMS = sensor.min_delay / 1000;
  if (!particleSensor.begin(Wire, I2C_SPEED_FAST))
  {
    Serial.println("MAX30102 was not found. Please check
wiring/power. ");
    while (1);
  }
  particleSensor.setup();
  particleSensor.setPulseAmplitudeRed(0x0A);
  particleSensor.setPulseAmplitudeGreen(0);
}

void loop() {
  // delay(200);
  long irValue = particleSensor.getIR();
  if (irValue < 50000) {
    Serial.print(" No finger");
    DHTReadData();
    delay(2000);
  } else {
    if (checkForBeat(irValue) == true)
    {
      long delta = millis() - lastBeat;
      lastBeat = millis();
    }
  }
}

```

```

beatsPerMinute = 60 / (delta / 1000.0);
if (beatsPerMinute < 255 && beatsPerMinute > 20)
{
    rates[rateSpot++] = (byte)beatsPerMinute;
    rateSpot %= RATE_SIZE;
    beatAvg = 0;
    for (byte x = 0 ; x < RATE_SIZE ; x++)
        beatAvg += rates[x];
    beatAvg /= RATE_SIZE;
}
}

Serial.print("IR=");
Serial.print(irValue);
Serial.print(", BPM=");
Serial.print(beatsPerMinute);
Serial.print(", Avg BPM=");
Serial.println(beatAvg);
tft.fillScreen(0x5AEB );
tft.setCursor(0, 10, 2);
tft.setTextColor(TFT_YELLOW);
tft.setTextSize(2);
tft.print("Beats/Min: ");
tft.println(beatsPerMinute);
}
}

void DHTReadData() {
    sensors_event_t event;
    dht.temperature().getEvent(&event);
    tft.fillScreen(0x5AEB );
    tft.setCursor(10, 60, 2);
    tft.setTextColor(TFT_YELLOW);
    tft.setTextSize(2);
    tft.print("Temp: ");
    tft.println(event.temperature);
    if (isnan(event.temperature)) {
        Serial.println(F("Error reading temperature!"));
    }
}

```

```

}
dht.humidity().getEvent(&event);
if (isnan(event.relative_humidity)) {
    Serial.println(F("Error reading humidity!"));
}
tft.setCursor(10, 120, 2);
tft.print("Humid: ");
tft.println(event.relative_humidity);
}

```

4.2.3 Завдання до лабораторної роботи

1. Виконайте підключення датчиків за схемою.
2. Виконайте підключення 3.5 TFT LCD модуля.
3. Виконайте завантаження коду програми для системи моніторингу.
4. Виконайте заміну датчика пульсу на датчик атмосферного тиску (барометр) та змініть код програми для виведення значень тиску на екран, виведіть своє прізвище на екран (нижче отриманих даних).
5. Наведіть коментарі до коду програми.

4.2.4 Зміст звіту

1. Тема та мета роботи.
2. Фото зібраної схеми та фото отриманих результатів.
3. Фото отриманих результатів з датчика тиску.
4. Код програми з коментарями.
5. Загальні висновки з роботи (як можливо використовувати дану систему, наведіть приклади).

4.2.5 Контрольні питання

1. Яке призначення систем самодіагностики?
2. Опишіть функції датчика MAX30102.
3. Дайте визначення пінам сенсора DHT22.
4. Наведіть функції TFT дисплея.

4.3 Система віддаленого моніторингу показників фізичного стану мобільних пацієнтів

Мета роботи: дослідження та використання IoT-сервісів, пристрою виводу інформації Wi-Fi ESP32, датчика вологості та температури, що розміщений безпосередньо на пацієнті.

4.3.1 IoT сервіс

Thingier.io – це хмарна платформа IoT, яка забезпечує всі необхідні інструменти для прототипування, масштабування та управління підключеними продуктами дуже простим способом.

Безкоштовна IoT платформа Thingier.io пропонує обліковий запис freemium протягом усього життя, лише кілька обмежень для початку навчання та складання прототипів. Коли ваш продукт стане готовим до масштабування, ви можете розгорнути Premium Server з повним потенціалом протягом декількох хвилин [74].

Загальні характеристики Thingier.io можуть бути описані наступним чином. Простий, але потужний сервіс: лише кілька рядків коду, щоб підключити пристрій і почати витягування даних або контроль його функціональних можливостей за допомогою веб-консолі, здатної підключити та керувати тисячами пристроїв простим способом. Апаратний агностик: будь-який пристрій від будь-якого виробника може бути легко інтегрований в інфраструктуру Thingier.io. Надзвичайно масштабована та ефективна інфраструктура: завдяки унікальній парадигмі зв'язку, в якій сервер IoT підписує ресурси пристрою для отримання даних лише тоді, коли це необхідно, один екземпляр Thingier.io здатний керувати тисячами пристроїв IoT з низьким навантаженням, пропускну здатністю і затримками. Open Source: більшість модулів платформи, бібліотеки та вихідний код APP доступні у сховищі github для завантаження та модифікації з ліцензією MIT.

Платформа Thingier.io формується двома основними продуктами Backend (який є фактичним сервером IoT) та веб-сервером Frontend, що спрощує роботу з усіма функціями за допомогою будь-якого комп'ютера чи смартфона (рис. 4.19).

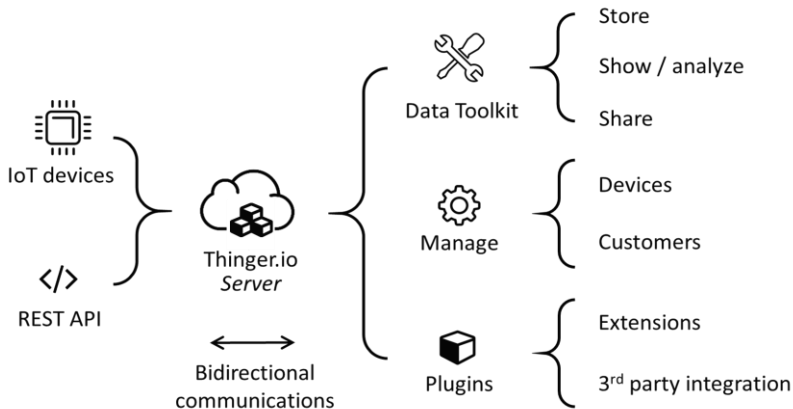


Рисунок 4.19 – Структура IoT сервісу

4.3.2 Wi-Fi модуль ESP32

Модуль LuaNode32 на основі МК ESP32 – це одна з найбільш доступних і потужних платформ для створення розумних проєктів з підтримкою Wi-Fi. Прийшовши на заміну ESP8266, МК ESP32 надав розробникам доступ до нових можливостей, хоча й залишилися старі проблеми з підтримкою та документацією.

МК включає в себе 2-ядерний 32-розрядний процесор Tensilica Xtensa LX6, 520 Кб пам'яті SRAM і 448 Кб флеш-пам'яті, 4 Мб зовнішньої флеш-пам'яті. Тактова частота до 240 МГц в залежності від режиму енергоспоживання. Вбудовано температурний датчик, датчик Холла, контролер повітряного зв'язку на прийомі і на передачі, контролер сенсорних каналів, Bluetooth (BLE v4.2 BR / EDR), Wi-Fi (стандарти зв'язку Wi-Fi 802.11 b / g / n (2,4 ГГц)).

Перетворювач USB-UART на мікросхемі CP2102 забезпечує з'єднання модуля ESP32-WROOM з USB-портом комп'ютера. При підключенні до комп'ютера платформа ESP32 DevKit визначається як віртуальний COM-порт.

Доступні 25 пінів загального визначення. Усі контакти підтримують перетворення. Максимальний струм на пінах: 12 мА.

Цифрові 21 контакти вводу-виводу (GPIO): 1–5, 12–19, 21–23, 25–27, 32 та 33. Контакти загального призначення. Піни можуть

бути налаштовані на вхід або на вихід. Логічний рівень одиниці - 3,3 В, нуля - 0 В. Максимальний струм виходу - 12 мА. Усі виводи входу-виходу можуть працювати як ШІМ, що дозволяє виводити аналогічні значення в видимості ШІМ-сигналу з розрядністю 16 біт. Максимальне число каналів 16.

Цифрові 4 контакти вводу (GPI): 34, 35, 36 і 39. Можуть бути налаштовані лише на вхід.

15 аналогових входів з АЦП (12 біт): 2, 4, 12–15, 25–27, 32–36 і 39. Потрібно представити аналогове наповнення в цифровому вигляді з розрядністю 12 біт.

2 аналогових виходи з ЦАП (8 біт): 25 (DAC1) і 26 (DAC2). Аналоговий вихід цифрового аналогового перетворювача, який дозволяє формувати 8-бітні рівні напруги. Виводи можуть використовуватися для аудіо-виходу.

10 контактів ємнісного сенсора.

На пінах вводу-виводу можна сконфігурувати апаратні інтерфейси: 3 × UART; 3 × SPI; 2 × I²C; 3 × I²S.

4.3.3 Налаштування Wi-Fi модуля ESP32 та хмарного сервісу Thinger.io

ESP-32 можна безпосередньо запрограмувати з ID Arduino IDE, включивши основні бібліотеки ESP32 разом із Arduino Boards Manager. Для цього кроку вам знадобиться виконати налаштування, щоб включити https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json у поле "Додаткові URL-адреси менеджера" в налаштуваннях Arduino IDE (рис. 4.20).

Далі перейдіть до менеджера плат (Інструменти -> Плата -> Менеджер плат), щоб встановити пакет ESP32. Ведіть “esp32” та натисніть кнопку, щоб інстальовати пакет (рис. 4.21).

Встановлення бібліотек хмарного сервісу Thinger.io відбувається у “Менеджері бібліотек”. Відкрийте менеджер (CTRL+Shift+I) бібліотек знайдіть Thinger.io та інстальуйте (рис. 4.22). Після встановлення бібліотек у менеджері плат необхідно обрати “ESP32 Dev Module” (рис. 4.23).

Після встановлення необхідних бібліотек, потрібно зареєструвати акаунт у хмарному сервісі Thinger.io (рис. 4.24) та перейти на загальну панель (рис. 4.25, а).

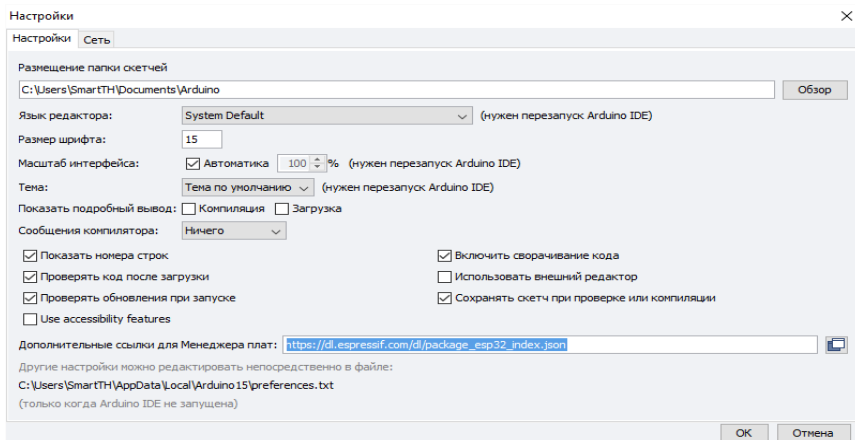


Рисунок 4.20 – Додаткові URL-адреси менеджера



Рисунок 4.21 – Менеджер плат

Для додавання пристрою перейдіть до вкладки “Devices” та натисніть “Add Device”. Оберіть “Device Type” - Generic Thingier Device. Заповніть унікальну назву пристрою - Device ID та пароль “Device Credential”. Збережіть пристрій (рис. 4.25, б,в).

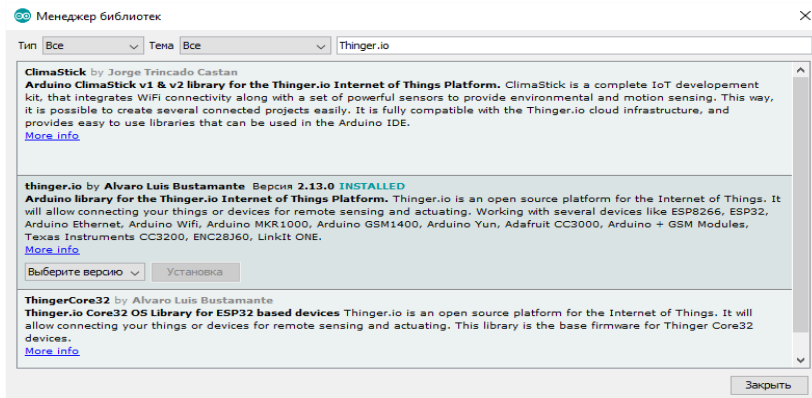


Рисунок 4.22 – Інсталяція бібліотеки Thingier.io

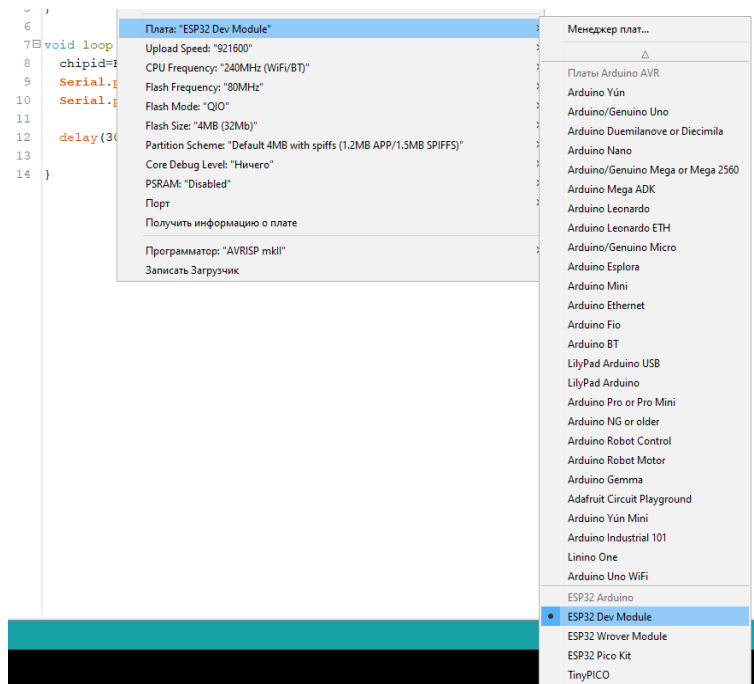
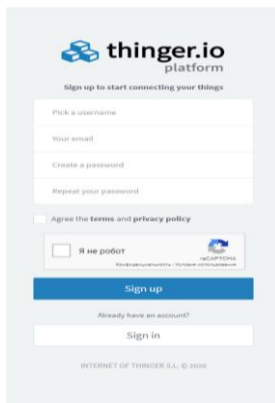


Рисунок 4.23 – Обрання модуля ESP32 Dev Module



thinger.io
platform

Sign up to start connecting your things

Pick a username

Your email

Create a password

Repeat your password

☐ Agree the terms and privacy policy

☐ Я не робот

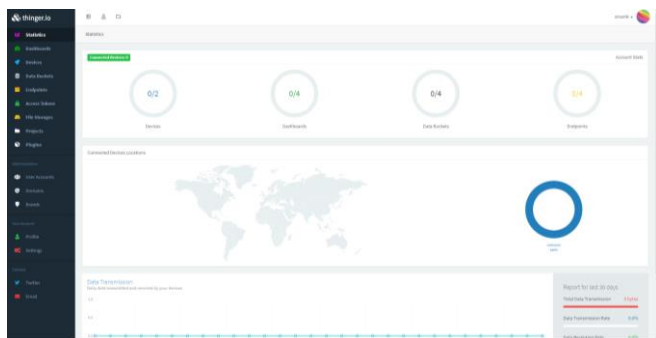
Sign up

Already have an account?

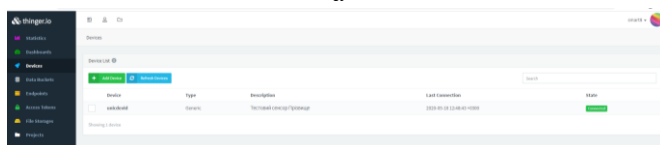
Sign in

INTERNET OF THINGS S.L. © 2018

Рисунок 4.24 – Реєстрація акаунту у сервісі Thinger.io



а



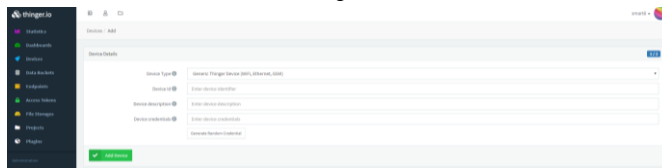
Devices

Device List

Device	Type	Manufacturer	Last Connection	Status
arduino	Arduino	Arduino Uno (ATmega328P)	2018-01-01 12:00:00	Online

Showing 1 device

б



Device: Add

Device Details

Device Type: Select Thinger Device (Arduino, ESP8266, etc.)

Device ID: Enter device ID

Device Name: Enter device name

Device Description: Enter device description

Device Location: Enter device location

Device Manufacturer: Enter device manufacturer

Device Model: Enter device model

Device Version: Enter device version

Save

в

Рисунок 4.25 – Загальна панель (а) та додавання пристрою до сервісу (б,в)

На наступному кроці необхідно створити код програми для модуля ESP32 та внести необхідні індивідуальні дані для підключення. (Username – логін у системі Thingier.io (HE e-mail), SSID – назва Wi-Fi точки доступу, SSID_PASSWORD – пароль точки доступу) (рис. 4.26). Завантажте редагований програмний код у ESP32. Якщо при завантаженні коду виникла помилка, натисніть кнопку "Boot" на пристрої.

Підключіть живлення до плати та перейдіть до загальної панелі Thingier.io. Переконайтеся, що пристрій був підключений до сервісу. Код за замовчуванням підключається до сервісу, тримає підключення та надсилає періодично дані часу (мілісекунди) від початку роботи плати. Наведений код програми також зчитує дані з сервера для визначення стану Led світлодіоду.

Якщо пристрій був підключений та дані надходять до сервісу, далі необхідно налаштувати збереження даних у системі та відображення. Перейдіть до вкладки "Bucket". Натисніть "Create Bucket". Введіть назву, опис, оберіть ресурс даних "From Device Resource" та оберіть доданий пристрій та ресурс даних "millis". Оберіть час оновлення даних – 1 хвилина (рис. 4.27).

```

1  #include <ThingierESP32.h>
2  #define USERNAME "*****"
3  #define DEVICE_ID "*****"
4  #define DEVICE_CREDENTIAL "*****"
5  #define LED_BUILTIN 13
6  #define SSID "*****"
7  #define SSID_PASSWORD "*****"
8
9  ThingierESP32 thing(USERNAME, DEVICE_ID, DEVICE_CREDENTIAL);
10
11 void setup() {
12     pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
13     thing.add_wifi(SSID, SSID_PASSWORD);
14     thing["led"] << digitalPin(LED_BUILTIN);
15     thing["millis"] >> outputValue(millis());
16 }
17
18 void loop() {
19     thing.handle();
20 }
```

Рисунок 4.26 – Код програми підключення до хмарного IoT сервісу

Після збереження необхідно почекати кілька хвилин для відображення даних (рис. 4.28).

Для відображення даних у вигляді графіків необхідно створити “Dashboard” (рис. 4.29, 4.30).

Bucket Settings

Name ⓘ

Description ⓘ

Enabled ⓘ ☒

Data Source ⓘ

Device Source ⓘ

1 Select Device

2 Select Resource

3 Refresh Mode

Sampling Interval minutes

Рисунок 4.27 – Створення представлення даних у сервісі

thingiverse

Buckets - My_millis_0

Bucket Data

Date	Value
2020-05-18T10:10:10.000Z	1200007
2020-05-18T10:09:10.000Z	1200007
2020-05-18T10:08:10.000Z	1170008

Viewing 0 to 2 items

Рисунок 4.28 – Відображення отриманих даних у числовому вигляді

thingiverse

Dashboards

Dashboard List

Dashboard	Name	Description
☐	My_millis	Dashboards/Test

Showing 1 dashboard

Рисунок 4.29 – Створення “Dashboard”

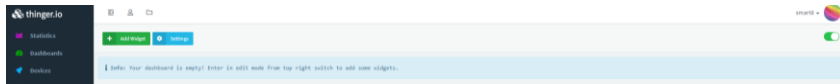


Рисунок 4.30 – Додавання віджетів до “Dashboard”

Також для відображення даних необхідно додати віджет “Time Series Chart” (рис. 4.31). Результат на рисунку 4.32.

 A screenshot of the 'Widget Settings' dialog box. It has two tabs: 'Widget' and 'Display Options'. Under the 'Widget' tab, there are four sections:

- Chart Input**: A dropdown menu set to 'From Device Resource'.
- Select Device**: A dropdown menu set to 'unicdev1'.
- Select Resource**: A dropdown menu set to 'millis'.
- Refresh Mode**: A dropdown menu set to 'Sampling Interval' with a value of '1' and a unit of 'minutes'.
- Time Period**: A dropdown menu set to '30' and a unit of 'days'.

 At the bottom right are 'Save' and 'Cancel' buttons.

Рисунок 4.31 – Додавання віджету відображення даних

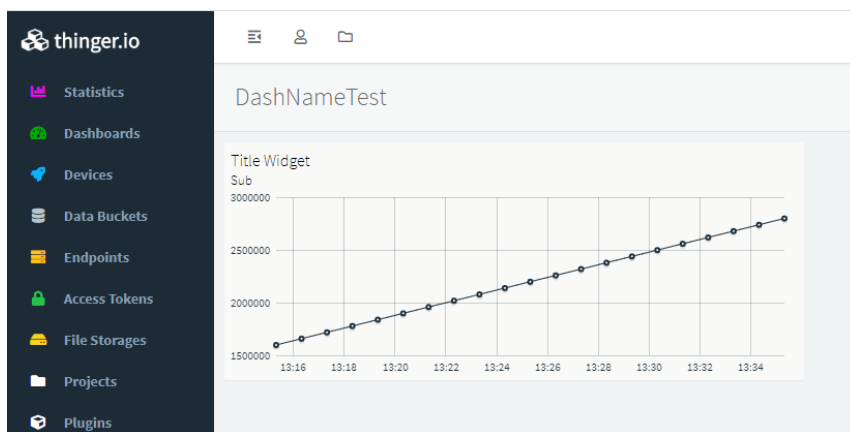
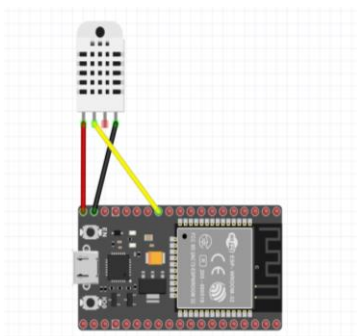
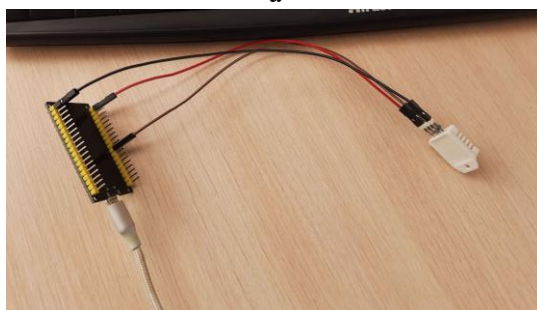


Рисунок 4.32 – Перегляд даних на графіку

Підключіть датчик температури та вологості, як зображено на рисунку 4.33. Для отримання даних з датчика використайте код програми, що наведено нижче.



a



б

Рисунок 4.33 – Схема (а) та приклад підключення датчика температури та вологості

```
#include "DHT.h"
#include <ThingrESP32.h>
#define USERNAME "Nadiia"
#define DEVICE_ID "ESP32"
#define DEVICE_CREDENTIAL "esp32Pass"
#define LED_BUILTIN 13
#define SSID "tsmart"
#define SSID_PASSWORD "12345678"
#define DHTPIN 27
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
ThingrESP32 thing(USERNAME, DEVICE_ID,
DEVICE_CREDENTIAL);
```

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("DHTxx test!");
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
  thing.add_wifi(SSID, SSID_PASSWORD);
  thing["led"] << digitalPin(LED_BUILTIN);
  thing["millis"] >> outputValue(millis());
  dht.begin();
}

void loop() {
  thing["humidity"] >> outputValue( dht.readHumidity());
  Serial.println(dht.readHumidity());
  delay(2000);
  thing.handle();
}

```

Результати візуалізації даних моніторингу - на рисунку 4.34.

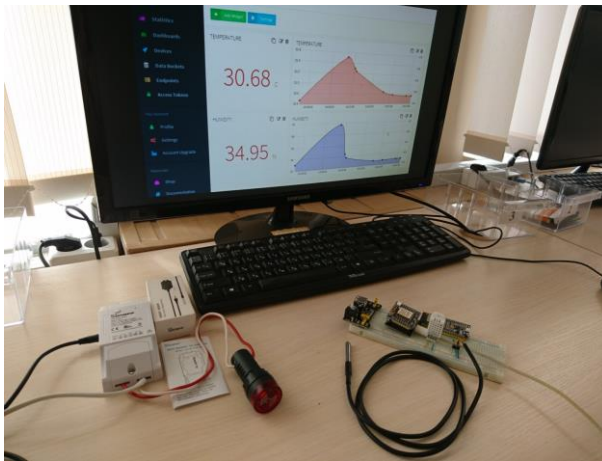


Рисунок 4.34 – Результати роботи

4.3.4 Завдання до лабораторної роботи

1. Виконайте налаштування Arduino IDE для підключення ESP32.

2. Виконайте підключення ESP32 до комп'ютера та завантажте програмний код з прикладу.
3. Перевірте роботу модуля та підключення до хмарного сервісу.
4. Виконайте підключення датчика DHT22 до ESP32.
5. Виконайте зміну налаштувань у хмарному сервісі для датчика DHT22.
6. Змініть код програми для відправлення даних з датчика ESP32 до хмарного сервісу.

4.3.5 Зміст звіту

1. Тема та мета роботи.
2. Скріншот налаштування пристрою у хмарному сервісі для датчика DHT22.
3. Скріншоти графіків температури та вологості.
4. Загальні висновки з роботи.

4.3.6 Контрольні питання

1. Чим відрізняються модулі ESP 8266 та ESP 32?
2. Яке призначення пінів датчика DHT22?
3. Наведіть основні можливості хмарного сервісу Thingier.io.
4. Наведіть можливе використання сервісу у медицині.

4.4 Система моніторингу показників мікроклімату приміщення перебування пацієнта

Мета роботи: вивчити основи створення системи моніторингу мікроклімату приміщення перебування пацієнта та керування сценаріями вмикання та вимикання пристроїв за показниками мікроклімату.

4.4.1 Апаратне та програмне забезпечення контролю температури та вологості

Лікувальні установи (лікарні, поліклініки, денні стаціонари та ін.) в обов'язковому порядку повинні бути обладнані

вентиляцією. До вентиляції цих закладів висуваються підвищені вимоги, а саме підтримання певних параметрів мікроклімату приміщень (розрахункова рухливість, температура, відносна вологість повітря).

Вміст вологи в повітрі здатний впливати на загальне самопочуття людини. Відхилення цього параметра від нормальних значень здатне непомітно та поступово знизити імунітет людини, погіршити стан шкіри, підвищити втомлюваність, особливо негативно це позначається на маленьких дітях. Всі ми помічаємо, що вологе повітря корисне для здоров'я, і прагнемо проводити вихідні або відпустку, відпочиваючи на березі моря, річки або озера. Нормальний рівень вологості благойдійно відображається на нашому самопочутті. Оптимальний рівень – це 45-65% відносної вологості. Перебуваючи в приміщенні, ми порушуємо природний баланс вологості, який підтримується природою. І якщо влітку це практично не помітно, то взимку різниця показників відносної вологості на вулиці і в приміщенні стає дуже помітною. Це відбувається тому, що при нагріванні вуличного повітря системою опалення рівень відносної вологості падає, оскільки кількість вологи в повітрі при його нагріванні не змінилася, а здатність повітря поглинати вологу росте пропорційно зростанню температури. Внаслідок цього волога починає випаровуватися з підвищеною швидкістю з нашого тіла, що призводить до сухості в горлі (і в цілому до сухості слизових оболонок носа та дихальних шляхів за рахунок постійної взаємодії з сухим повітрям), сухості шкіри (в першу чергу рук і обличчя), пересихання губ.

Підтримання вологості в необхідному діапазоні забезпечить запобігання проблем зі здоров'ям пацієнтів та станом приміщення. Тому моніторинг показників мікроклімату є актуальним завданням.

eWeLink – це безкоштовний багатомовний застосунок для створення автоматизації, який може керувати та контролювати понад сотні розумних пристроїв 80 марок. Також це перший в Китаї застосунок, який підтримує розумні сценарії. Наразі він сумісний з більшістю популярних пристроїв домашньої автоматизації, такими як Apple HomeKit, Google Nest, Amazon Echo. eWeLink. Може підключатися до широкого кола розумних пристроїв, включаючи комутатор, розетку, світлодіоди, датчик тощо.

У лабораторній роботі буде використано бездротовий вимикач Sonoff, що працює за технологією Wi-Fi, з підключеним до нього датчиком температури (рис. 4.35).

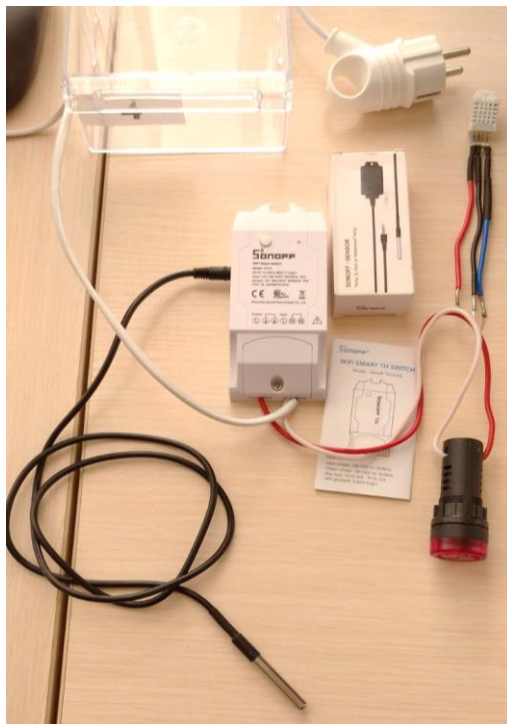


Рисунок 4.35 – Sonoff вимикач с цифровим датчиком температури та вологості DS18D20

4.4.2 Налаштування застосунку eWeLink

Для початку роботи з застосунком eWeLink потрібно перейти в Google Play, знайти та завантажити цей застосунок. При запуску з'являється вікно входу (рис. 4.36), потрібно зареєструватися в системі eWeLink, щоб використовувати її. Для цього необхідно вибрати країну/регіон, ввести номер телефону/адресу електронної пошти та пароль (не менше 8 символів). Далі ввести перевірочний код для реєстрації і увійти в систему.

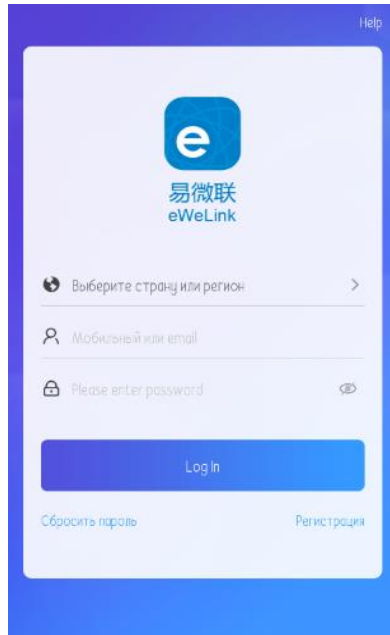
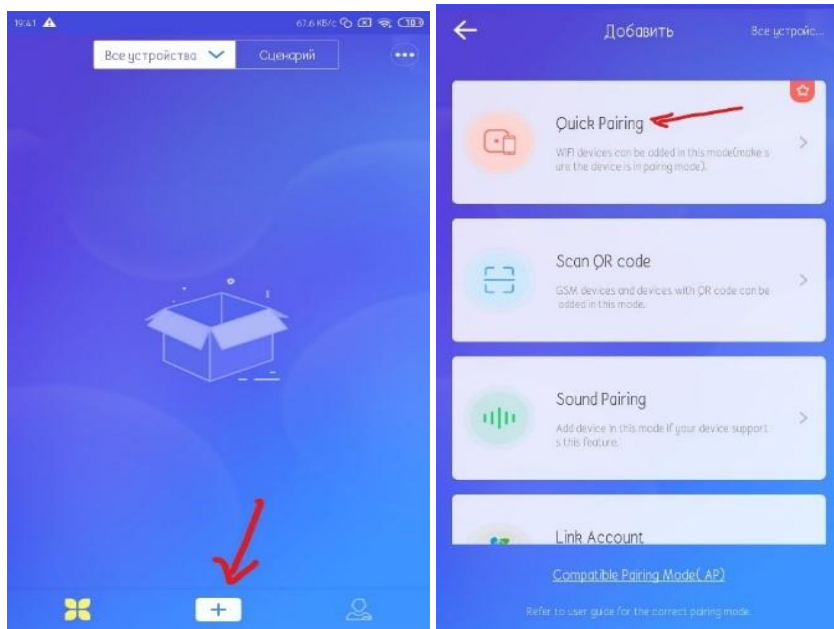


Рисунок 4.36 – Авторизація у застосунку eWeLink

Додайте пристрій до свого облікового запису. Для початку треба включити Wi-Fi на своєму телефоні перед додаванням пристрою. Далі, натисніть і потримайте кнопку «SET» (кнопка сполучення) на пристрої доти, доки зелений/синій світлодіодний індикатор не почне блимати (ви можете використовувати свій палець для безпосереднього натиснення). Натисніть значок пошуку всередині, який зображено на рисунку 4.37, а.

Перевірте на миготіння і виберіть відповідний спосіб додавання (рис. 4.37, б). Введіть ім'я свого облікового запису Wi-Fi і його пароль (рис. 4.38, а) (якщо пароль не вказано, залиште його порожнім), поставте прапорець «Запам'ятати пароль Wi-Fi», щоб наступного разу вам не потрібно було заповнювати знову та натисніть «Далі». Потім він автоматично виконає пошук і підключить пристрої навколо вас (рис. 4.38, б). Назвіть свій пристрій (рис. 4.38, в) та додайте його для подальшого керування ним. Тепер можливо керувати включенням/виключенням пристрою зі смартфона з будь-якої точки світу!



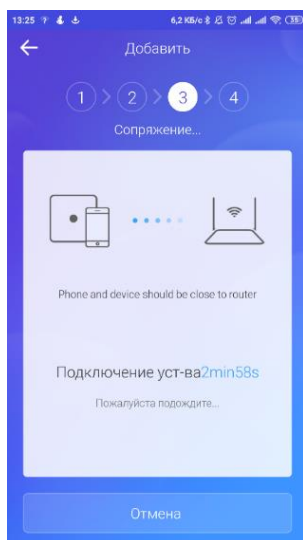
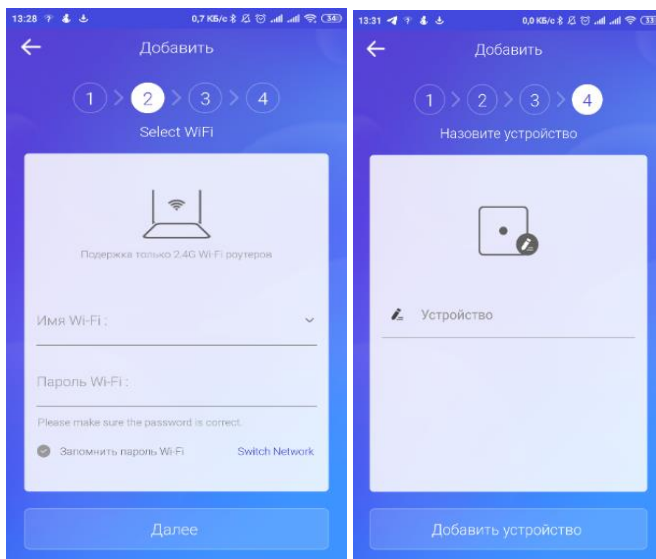
а

б

Рисунок 4.37 – Головне вікно застосунку eWeLink (а) та спосіб додавання пристрою (б)

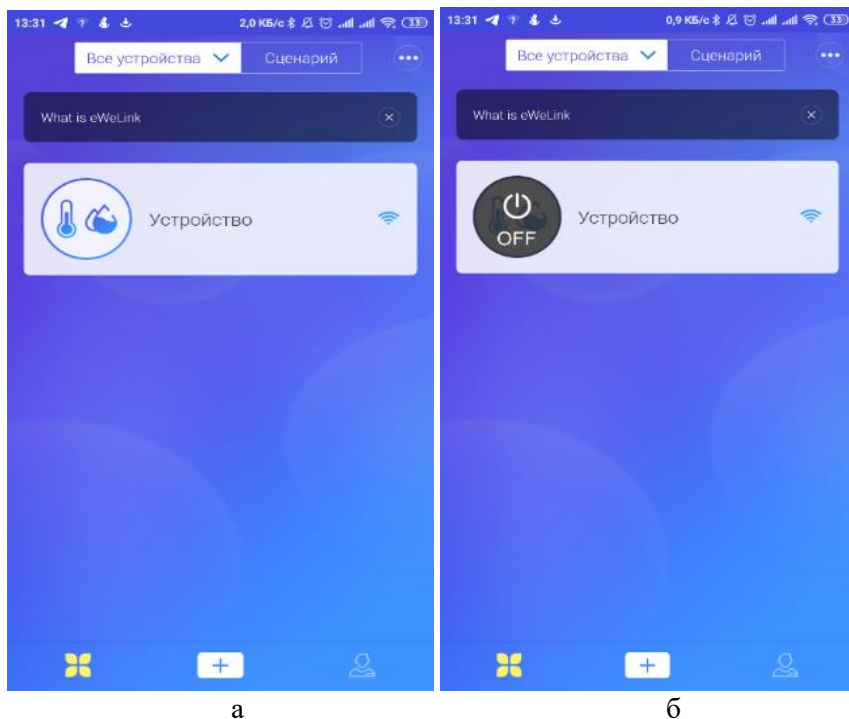
На головному вікні з'явився доданий нами пристрій (рис. 4.39, а) у цьому вікні ми можемо його тільки увімкнути та вимкнути (рис 4.39, б), натиснувши на круглу кнопку.

Перейдемо безпосередньо до самого пристрою та його властивостей, натиснувши на прямокутну область пристрою. На рисунку 4.40, а зображено вікно усіх властивостей нашого приладу, можна назвати це пультом дистанційного керування Wi-Fi та перевірки стану, температури пристрою. Як і у головному вікні, тут також є кнопка увімкнути/вимкнути пристрій, а також показник температури з підключеного до пристрою датчика температури. Доторкнувшись до тіла датчика рукою, ми можемо побачити на рисунку 4.40, б, як показання температури у властивостях пристрою підвищились до 29 градусів Цельсія.



а – підключення до мережі Wi-Fi; б – пошук пристрою в мережі;
в – введення назви пристрою

Рисунок 4.38 – Вікна застосунку eWeLink



а – у включеному стані; б – у вимкненому стані

Рисунок 4.39 – Вигляд доданого пристрою на головній сторінці

Але крім властивостей пристрою внизу вікна (рис 4.40, а) можна побачити чотири основні кнопки функцій: функція роздачі права на управління пристроями іншим; функція режимів для роботи пристрою за розкладом; функція режимів для таймера; функція режимів для циклічного таймера.

Головний акаунт може поділитися пристроями з іншими завдяки функції роздачі права. Після цього, інші теж можуть управляти пристроями головного акаунту.

Розглянемо, як працюють функції розкладу і таймера. Пристрій працює online або за розкладом (підтримує до 8 таймерів), в тому числі таймер одноразовий / багаторазовий і таймер зворотнього відліку.



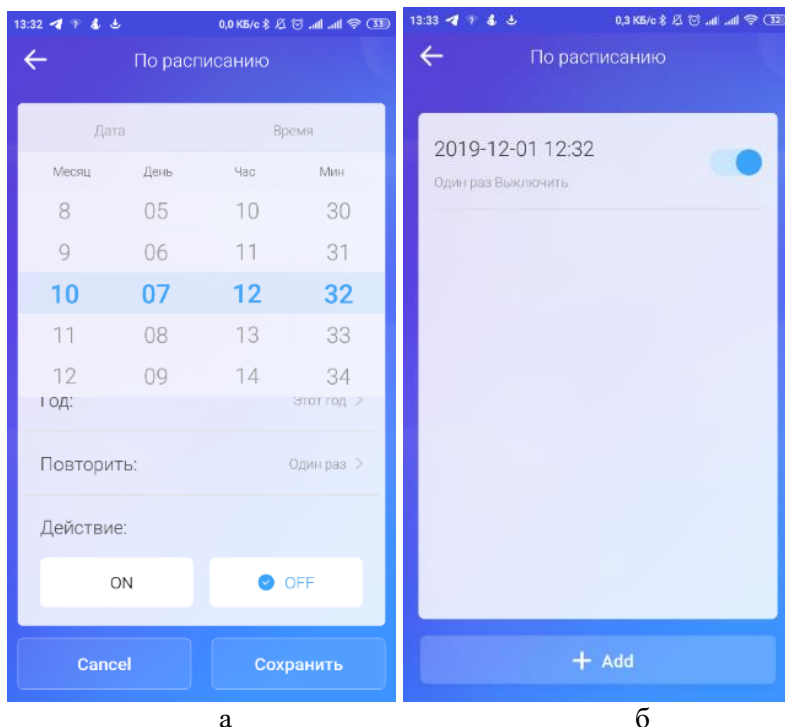
а – пристрій у звичному стані; б – збільшення температури
Рисунок 4.40 – Властивості пристрою

Якщо пристрій виходить з мережі, зазначені таймери працюватимуть як зазвичай, тільки пристрій повинен бути підключеним до живлення.

Додамо розклад, клікнувши на кнопку «За розкладом» у вікні дистанційного керування (рис. 4.40, а) та встановивши дату, час, повтор і дію, як зображено на рисунку 4.41, а та збережемо його.

Як можна побачити, на рисунку 4.41, б з'явився створений нами розклад.

Так, наприклад, можна виключати світло, якщо випадково забули вимкнути світло, виходячи з дому, поспішаючи на роботу чи по щоденних справах.

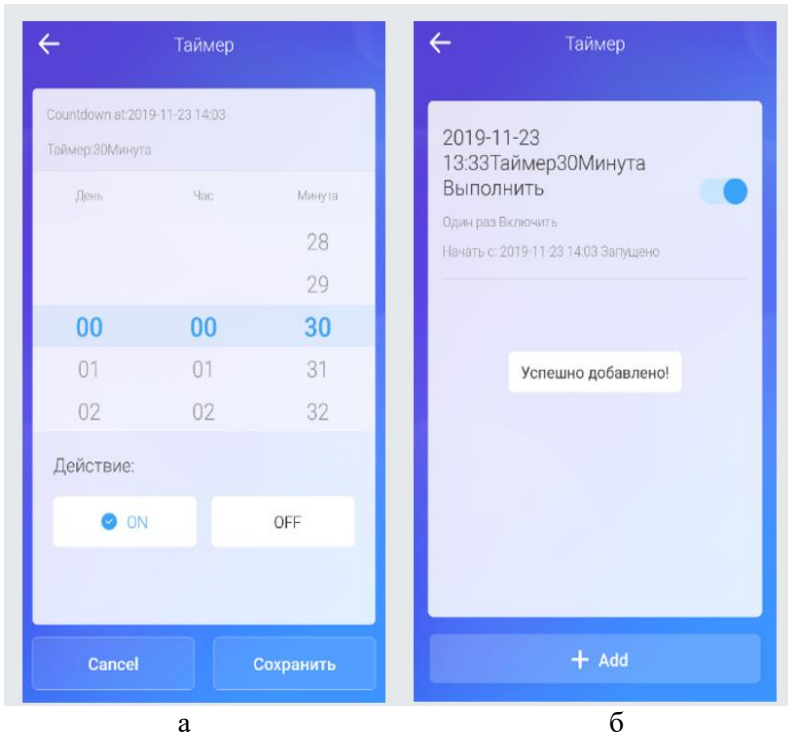


а – встановлення дати, часу, повтору і дії; б – список розкладів
Рисунок 4.41 – Додавання розкладу

Також можна додати таймер. Для цього у вікні властивості пристрою (рис. 4.40, а) треба натиснути на кнопку «Таймер» та ввівши проміжок часу і обравши дію, яка буде виконуватись по закінченню цього часу (рис. 4.42, а), зберегти таймер.

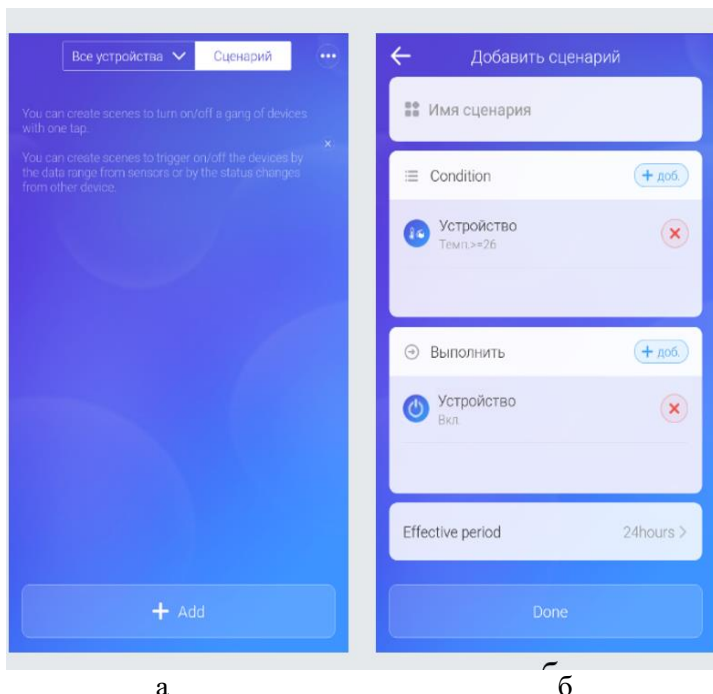
Як можна побачити на рисунку 4.42, б з'явився створений нами таймер. Це буде корисно, наприклад, при заряджанні телефону чи обігріву кімнати, коли вам потрібно йти спати, та не псувати сон, прокидаючись заради відключення цих пристроїв з мережі живлення.

Ще можна створити звичайні сценарії або розумні сценарії. При натисканні на піктограму включення/виключення ви можете включити/ виключити всі додані пристрої в режимі звичайного сценарію.



а - встановлення проміжку часу і дії; б - список таймерів
Рисунок 4.42 – Додавання таймера

Для створення розумних сценаріїв, вам треба з головного вікна з пристроями (рис. 4.39, а) перейти до вкладки «Сценарій». Відкриється список існуючих сценаріїв, як показано на рисунку 4.43, а. Натиснувши кнопку «Додати», переходимо у вікно додавання сценарію (рис. 4.43, б). Налаштуйте температуру в якості умови: коли умови виконуються, пристрій включиться або відключиться. Так на рисунку 4.43, б зображено, що за умови, якщо температура збільшиться більше позначки рівної 26 градусів за Цельсієм, то даний пристрій запуститься. Корисно це тим, що, наприклад, можна включати автоматично систему охолодження в спекотні дні.



а - список сценаріїв; б - додавання сценарію
Рисунок 4.43 – Сторінка сценарію

4.4.3 Завдання до лабораторної роботи

1. Виконайте підключення датчика температури та вологості до пристрою Sonoff. (При роботі пристрою заборонено відключати датчик).
2. Виконайте підключення пристрою до мережі 220 В (Увага, підключення може виконувати тільки викладач).
3. Встановіть застосунок eWeLink з Google PlayMarket.
4. Зареєструйте аккаунт та виконайте підключення до Wi-Fi точки доступу.
5. Виконайте підключення пристрою Sonoff у застосунку.
6. Виконайте створення сценарію для підтримки мікроклімату приміщення за санітарними нормами.

4.4.4 Зміст звіту

1. Тема та мета роботи.
2. Скріншоти програми з вашим акаунтом.
3. Скріншот програми з налаштуваннями сценарію.
4. Загальні висновки з роботи.

4.4.5 Контрольні питання

1. Охарактеризуйте існуючі пристрої Sonoff та їх призначення.
2. Наведіть функціональні можливості вимикача Sonoff та застосунку eWeLink.
3. Які існують стандарти показників мікроклімату у медичних закладах України.
4. Запропонуйте пристрої, які можливо використовувати разом з Sonoff для моніторингу показників мікроклімату.

4.5 Дослідження телемедичної системи на основі шилда Waveshare

Мета роботи: ознайомитися з комунікаційним GSM / GPRS / GNSS / Bluetooth HAT шилдом та вивчити його можливості для організації систем моніторингу даних щодо переміщення та стану пацієнтів або пересувних медичних лабораторій.

4.5.1 Характеристики комунікаційного шилда GSM / GPRS / GNSS / Bluetooth HAT

Комунікаційний шилд для Raspberry Pi GSM / GPRS / GNSS / Bluetooth HAT (рис. 4.44, 4.45) на модулі SIM868 з підтримкою GSM, GPRS, GNSS і Bluetooth, дозволяє легко перетворити мінікомп'ютер Raspberry в мобільний телефон, меседжер, GPS трекер, сервер збору і передачі інформації з датчиків і багато іншого. Даний шилд сумісний з Raspberry Pi 3B + / 3B / 2B / Zero / Zero W.

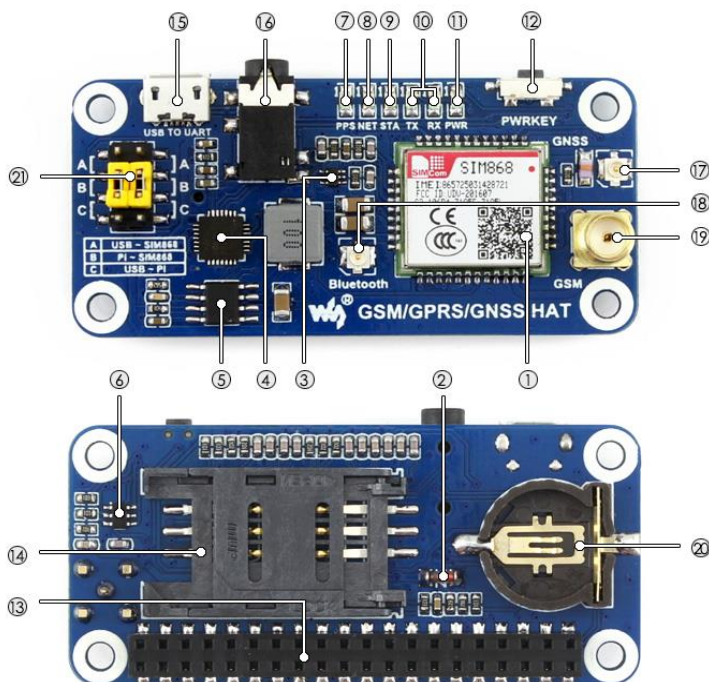


Рисунок 4.44 – Комунікаційний GSM / GPRS / GNSS / Bluetooth HAT шилд



Рисунок 4.45 – Комунікаційний шилд у зборі

За допомогою комунікаційного шилда можливо управляти об'єктом на будь-якій відстані, отримувати та передавати дані. Управління та налагодження шилда відбувається за допомогою вбудованого USB - UART CP2102.

Основні можливості шилда:

- підтримка прийому і відправки SMS, телефонних дзвінків, прийому і передачі даних, GPRS, DTMF, HTTP, FTP, MMS, e-mail і т.д.;

- повна сумісність з інтерфейсом Raspberry Pi 2B / 3B / 3B + / Zero / Zero W;

- підтримка GPS, COMPASS, Glonass, LBS позиціонування з базових станцій;

- підтримка передачі даних через Bluetooth 3.0;

- USB-UART конвертер на CP2102 для налагодження програм;

- 6 світлодіодів режиму роботи модуля;

- слот для SIM карти 1.8В / 3В;

- наявність батареї для модуля реального часу;

- автовизначення швидкості послідовного порту (від 1200 бод до 115200 бод);

- управління AT командами (3GPP TS 27.007, 27.005 і розширені SIMCOM AT команди);

- підтримка застосунків SIM application toolkit: GSM 11.14 Версія 99;

- підтримка ресурсами для розробки з прикладами програм Raspberry Pi / Arduino / STM32.

Основні характеристики:

- робочі діапазони: GSM 850/EGSM 900/DCS 1800/PCS 1900 МГц;

- режим пошуку: автоматичний по всіх діапазонах;

- сумісність: GSM phase 2/2 +;

- випромінювана потужність:

- клас 4 (2Вт @ GSM 850 / EGSM 900 МГц);

- клас 1 (1Вт @ DCS 1800 / PCS 1900 МГц).

- GPRS з'єднання:

- GPRS багатопарковий клас 12 (за замовчуванням);

- GPRS багатопарковий клас 1 ~ 12 (настроюється);

- функція передачі даних GPRS;

- максимальна швидкість скачування: 85.6kbps;
 - схема кодування: CS-1 CS-2 CS-3 CS-4.
 - підтримка протоколів: PAP (Password Authentication Protocol) для PPP підключення, PBCCH, USSD, SMS, MT / MO / CB / Text / PDU;
 - місце зберігання SMS: SIM карта;
 - підтримка аудіо: кодування голосу: Half RateFull RateEnhanced Full RateAdaptive muti rate;
 - режим усунення відлуння: підтримується;
 - режим усунення шуму: підтримується;
 - GPS приймач:
 - каналів відстеження: 33;
 - підтримуваних каналів: 99;
 - підтримка GPS L1 C / A;
 - чутливість:
 - стеження: -165 dBm;
 - холодний старт: -148 dBm.
 - час виявлення супутника:
 - холодний старт: 28с;
 - гарячий старт: <1с;
 - теплий старт: 26с.
 - горизонтальна точність позиціонування: <2.5с.
 - Bluetooth:
 - вбудовані AT команди;
 - сумісність з Bluetooth 3.0 + EDR;
 - підтримка SPP, OPP, HFP / HSP і т.д.
 - робоча напруга: 5В;
 - робоча температура: - 40 ° С ~ 85 ° С;
 - температура зберігання: - 45 ° С ~ 90 ° С;
 - розміри: 30.2мм x 65мм.
- Технічний опис шилда:
1. Модуль SIM868.
 2. Стабілітрон ZMM5V1.
 3. Діодна збірка SMF05C.
 4. USB-UART конвертер CP2102.
 5. Перетворювач напруги MP1482.
 6. Перетворювач рівнів NDC7002N.
 7. Індикатор стану GPS.

8. Індикатор стану мобільного GSM мережі:
 - швидко блимання – початок роботи модуля;
 - повільно блимає – успішна реєстрація в мобільній GSM мережі.
 9. Індикатор стану STA модуля.
 10. Індикатор стану SIM868 UART Tx / Rx.
 11. Індикатор живлення.
 12. Кнопка управління SIM868: натисніть кнопку та утримуйте кнопку 1, щоб запустити / вимкнути SIM868.
 13. Роз'єм підключення Raspberry Pi GPIO.
 14. Роз'єм SIM-карти.
 15. USB-UART інтерфейс.
 16. 3.5мм роз'єм підключення навушників і мікрофону.
 17. Роз'єм підключення GNSS антени.
 18. Роз'єм підключення Bluetooth антени.
 19. Роз'єм підключення GSM антени.
 20. Тримач акумулятора CR1220: для резервного акумулятора RTC.
 21. Перемикач режиму роботи UART інтерфейсу.
- Зіставлення технологій передачі даних та можливостей використання наведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Протоколи шилда та приклади використання

№	Протокол	Приклад використання
1	Прийом/ відправлення SMS	Відправлення екстреного повідомлення або звітної інформації про стан пацієнта
2	Телефонний дзвінок GSM	Екстрене сповіщення, найбільш швидко за всі існуючі. Використовується при настанні екстрених станів
3	GPRS	Використовується для підключення до Інтернету на невеликій швидкості, але з масштабним покриттям мережі. Використання можливе для передачі даних у віддалені бази даних, зв'язок з іншими інформаційними системами обліку стану пацієнтів

Продовження таблиці 4.2

№	Протокол	Приклад використання
4	DTMF	Кодована та автоматизована передача даних (інформації) за допомогою звичайного телефонного зв'язку
5	HTTP	Використання для передачі даних та запитів на віддалені інформаційні ресурси з використанням API
6	FTP	Використання для завантаження результатів вимірів на FTP сервіс у вигляді файлів
7	MMS	Передача мультимедійної інформації у повідомленнях
8	E-Mail	Відправлення інформації на e-mail пацієнта, або користувача
9	GPS	Позиціонування пацієнта або машини швидкої допомоги в реальному часі
10	COMPASS	Дозволяє визначати напрямок руху
11	Glomass	Система позиціонування, більш точна ніж GPS. Додаткове визначення положення
12	LBS	Визначення місця розташування пацієнта за станціями операторів зв'язку

4.5.2 Здійснення телефонного дзвінка за допомогою комунікаційного шилда

Для початку потрібно підключити до комунікаційного шилда навушники, GSM антену та вставити SIM-карту (рис. 4.46).

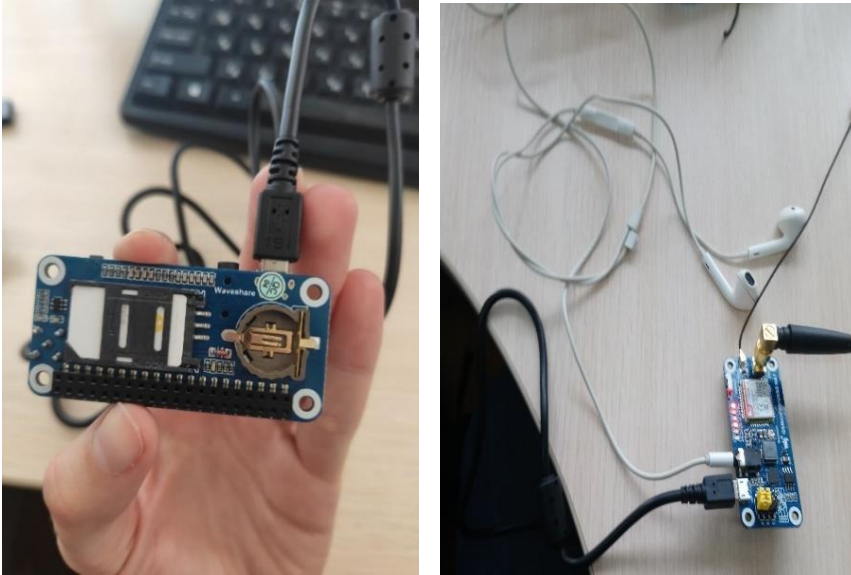


Рисунок 4.46 – Підключення навушників, GSM антени, SIM-карти

Далі треба встановити драйвер CP2102. На комунікаційному шилді підключіть перемичку A (управління SIM868 через USB-UART) та підключіть USB до інтерфейсу UART GSM / GPRS / GNSS HAT та до ПК за допомогою кабелю micro USB. Після цього індикатор PWR повинен загорітися (рис. 4.47).

Відкрийте «Диспетчер пристроїв», щоб отримати відповідний номер COM-порту CP2102.

Натисніть кнопку PWRKEY на комунікаційному шилді та утримуйте її 1 секунду, індикатор NET почне блимати (рис. 4.48). Як правило, індикатор NET спочатку швидко блимає (1 раз на секунду), що означає, що модуль не ввійшов до мережі. Після входу в систему індикатор почне блимати повільно (1 раз на три секунди). Для локальної мережі GSM, цей процес входу в систему може тривати від кількох секунд до десятків секунд.

Тепер за допомогою Arduino та спеціальних команд (таблиця 4.3) можна здійснити дзвінок, відправити повідомлення, перевірити стан рахунку. Приклади використання команд наведено на рисунках 4.49 - 4.51.



Рисунок 4.47 – Встановлення перемички та підключення шилда



Рисунок 4.48 – Підключення модуля до мережі

Таблиця 4.3 – АТ-команди для взаємодії з комунікаційним шилдом

Команда	Опис	Повернення
AT	Перевірка зв'язку з шилдом	OK
ATD<phone_number>	Зателефонувати за номером телефону, наприклад: ATD10086;	OK
ATA	Відповідь на дзвінок	OK
AT+CLIP	AT + CLIP = 1 Увімкнути + сповіщення CLIP	OK
AT+CPIN?	Стан запиту SIM-картки	+CPIN : READY
AT+CUSD=1,"<code>",15	Перевірити стан рахунку (<code> - код оператора. Наприклад, *111#)	Інформація про стан рахунку

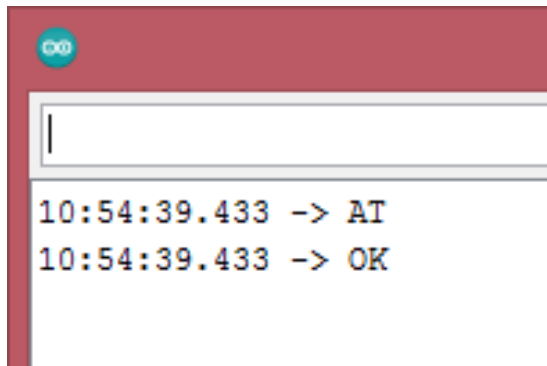


Рисунок 4.49 – Перевірка зв'язку з шилдом

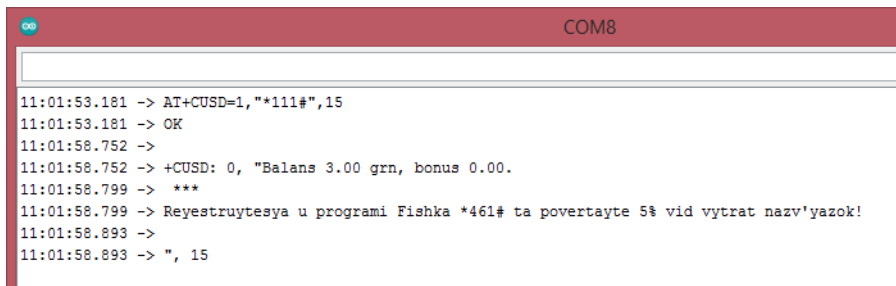


Рисунок 4.50 – Отримання інформації про стан рахунку

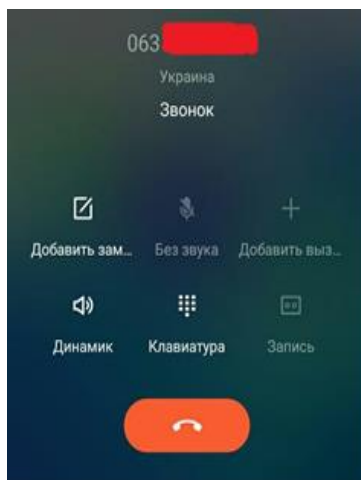
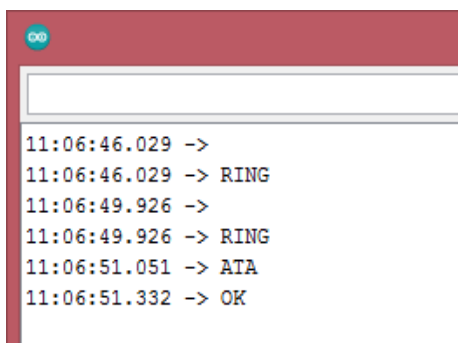


Рисунок 4.51 – Отримання дзвінка

4.5.3 Визначення геолокації за допомогою комунікаційного шилда

Для підключення GNSS (Global Navigation Satellite System) потрібно підключити до комунікаційного шилда GSM/GPRS/GNSS/Bluetooth HAT – GPS антену.

Для отримання більш точних даних необхідно, щоб антена знаходилась на відкритому просторі.

Потім відкрийте Arduino IDE та в пункті меню «Інструменти» виберіть плату, процесор та порт, до якого підключений шилд.

Далі у Arduino IDE відкрийте «Монітор порту» (Ctrl+Shift+M) і виберіть у списку переклад рядка пункт NL&CR для відправки команд.

Далі необхідно відправити шилду перелік команд для увімкнення GPS та діагностики роботи (таблиця 4.4).

Увімкнення GPS відбувається за допомогою команди «AT+CGNSPWR=1».

Для перевірки швидкості передачі даних (яка буде необхідна далі) треба виконати команду «AT+CGNSIPR?».

Відправляти отримані дані через UART (AT+CGNSTST=1).

Таблиця 4.4 – AT-команди для роботи з GPS

Команда	Опис	Повернення
AT+CGNSPWR	AT+CGNSPWR=1 увімкнути GPS AT+CGNSPWR=0 вимкнути GPS	OK
AT+CGNSIPR	AT+CGNSIPR? Запит швидкості передачі даних AT+CGNSIPR=<Baudrate> встановлення швидкості передачі даних	Поточна швидкість OK
AT+CGNSTST	AT+CGNSTST=1 Відправляти отримані дані через UART AT+CGNSTST=0 Зупинити відправку отриманих даних через UART	OK
AT+CGPSSTATUS	Перевірка статусу GPS	OK

Приклад використання команд наведено на рисунку 4.52.

Далі за допомогою програми u-center виставляємо необхідний порт та швидкість передачі даних, які ми отримали на попередньому етапі (рис. 4.53).

Після увімкнення передачі даних програма буде видавати результат (рис. 4.54 - 4.56).

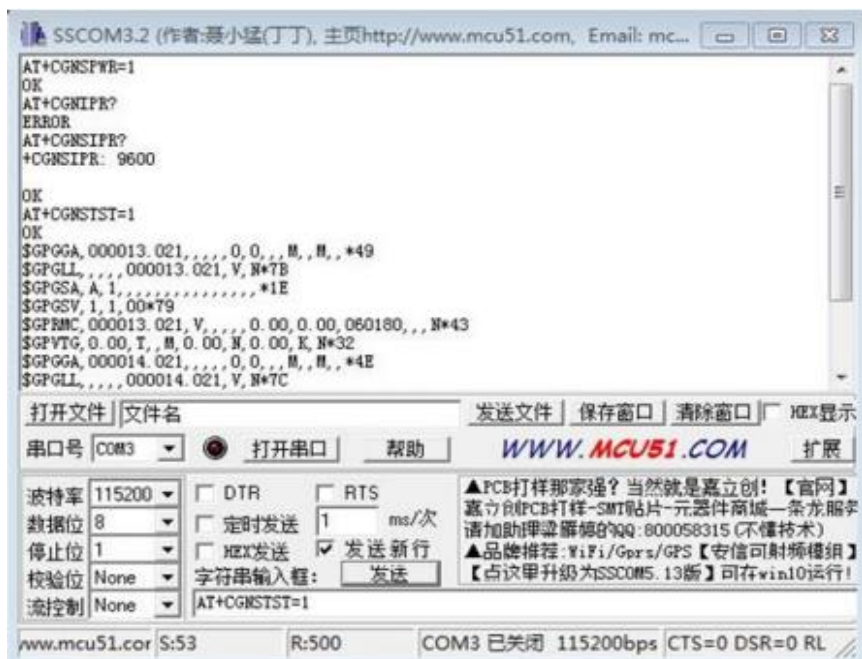


Рисунок 4.52 – Приклад використання АТ команд

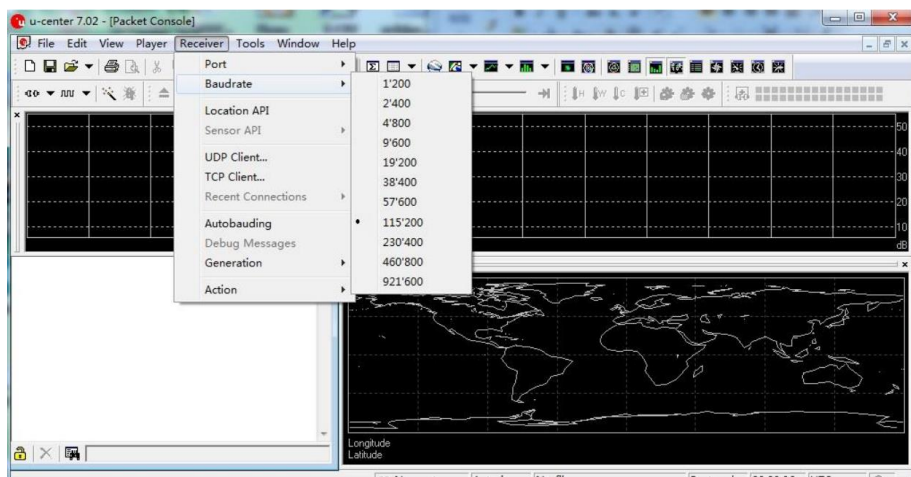


Рисунок 4.53 – Налаштування програми u-center

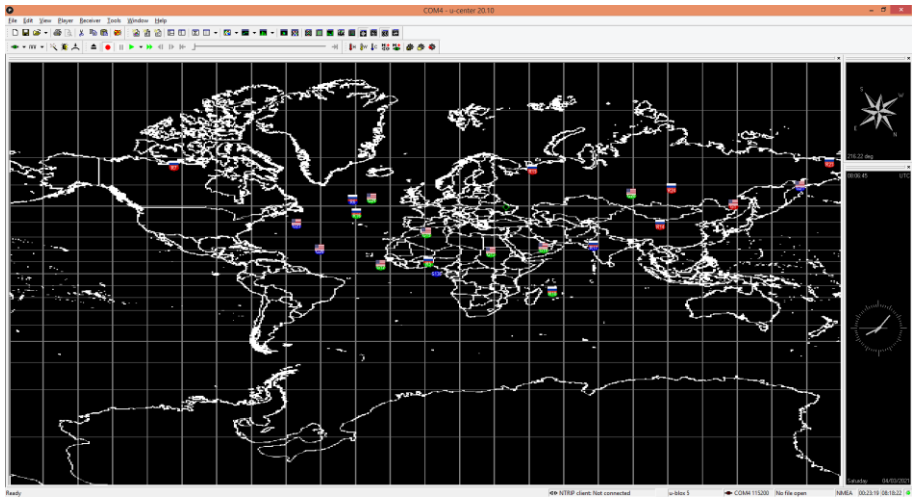


Рисунок 4.54 – Результат роботи програми u-center

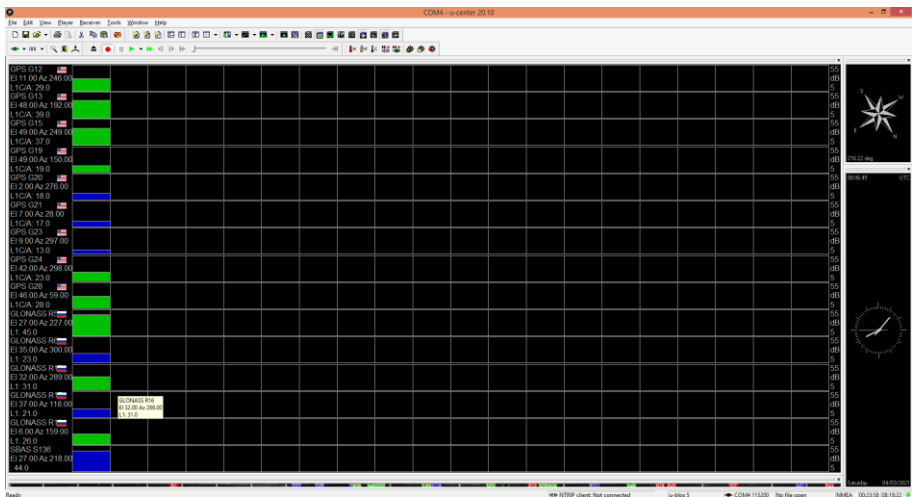


Рисунок 4.55 – Результат роботи програми u-center

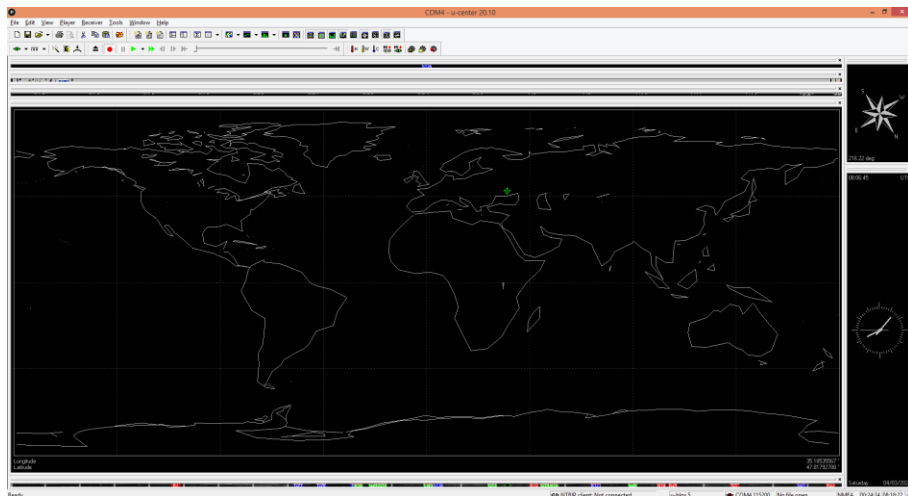


Рисунок 4.56 – Результат роботи програми u-center

4.5.4 Взаємодія GSM/GPRS/GNSS HAT та Raspberry Pi

Основне джерело інформації для підключення та тестування: USER MANUAL [75].

Для подальшої роботи необхідно мати:

- Raspberry Pi зі встановленою операційною системою [76];
- GSM/GPRS/GNSS HAT з комплектом.

4.5.4.1 Встановлення Raspberry Pi OS

Перш за все необхідно вставити SD-карту у картрідер та підключити до комп'ютера. Переконайтеся, що комп'ютер побачив вашу карту (рис. 4.57).

Далі скачайте Raspberry Pi Imager, який дасть змогу встановлення операційної системи (OS) на SD-карту [76] (рис. 4.58).

Після скачування та запуску файлу, необхідно обрати OS та сховище, на яке її буде встановлено (рис. 4.59).

Оберіть Raspberry Pi OS (32-bit) (рис. 4.60).

Оберіть вашу SD-карту (рис. 4.61).

Натисніть кнопку “WRITE”, запис (рис. 4.62).



Рисунок 4.57 – SD-карта та картрідер

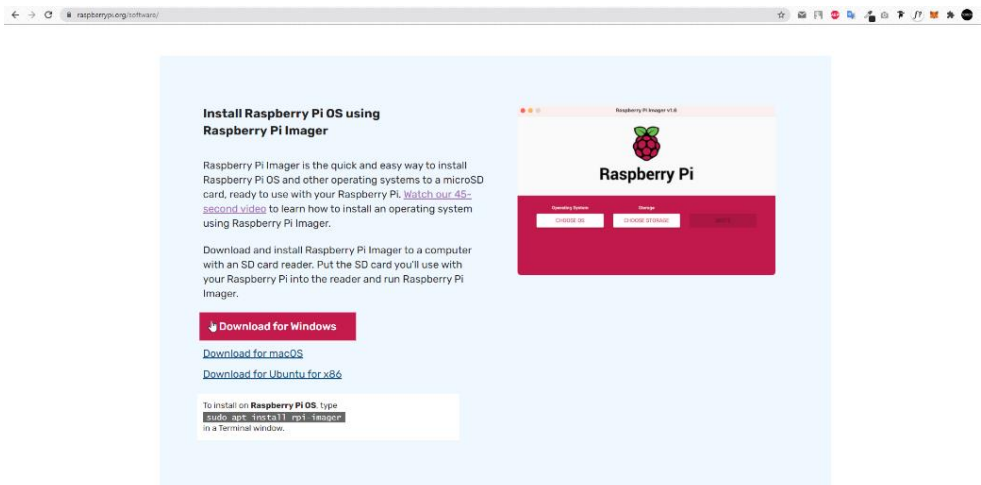


Рисунок 4.58 – Скачування Raspberry Pi Imager



Рисунок 4.59 – Інтерфейс Imager

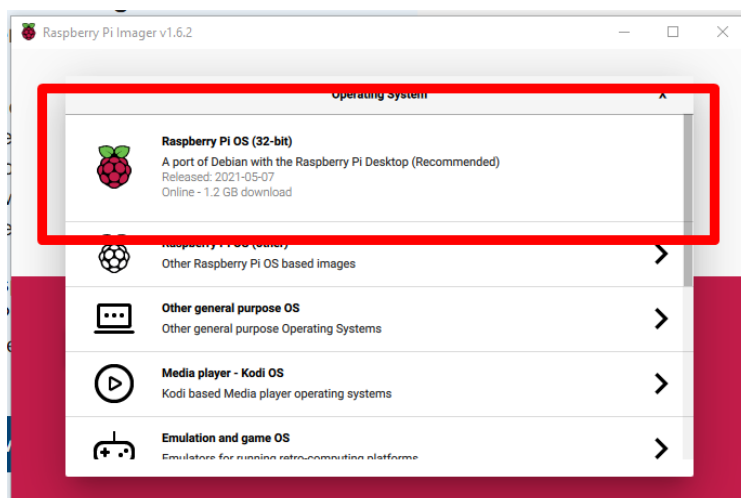


Рисунок 4.60 – Вибір ОС для встановлення

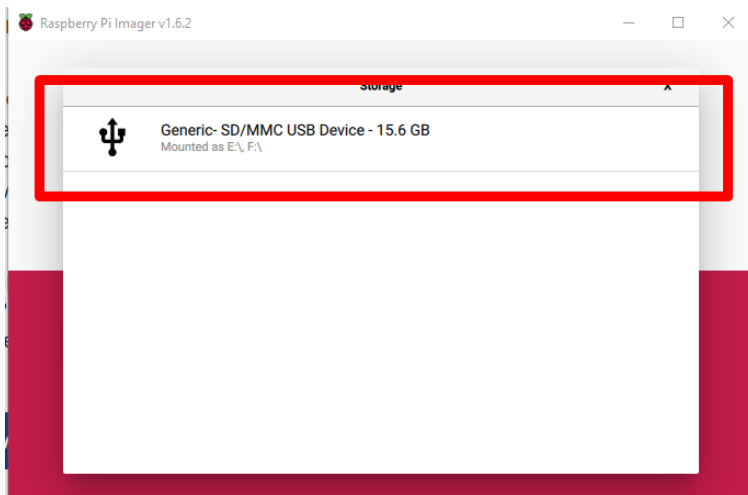


Рисунок 4.61 – Вибір накопичувача, на який буде встановлено ОС

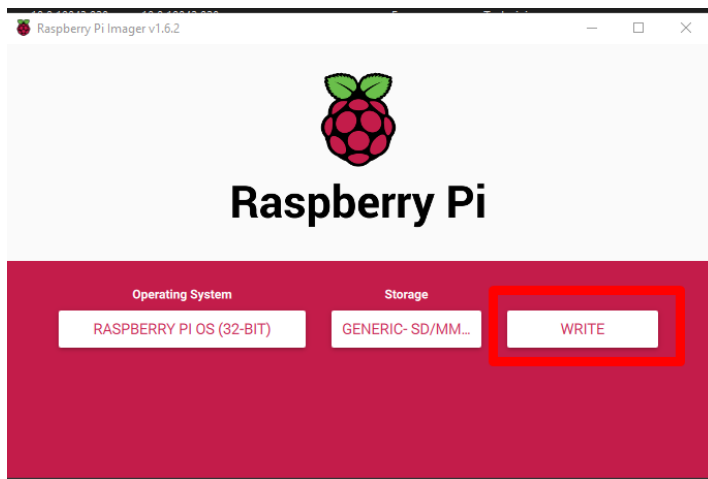


Рисунок 4.62 – Запис ОС на носій

У наступному діалоговому вікні вас з'явиться попередження, що всі дані будуть стерті з носія, натисніть “Yes” для підтвердження (рис. 4.63).

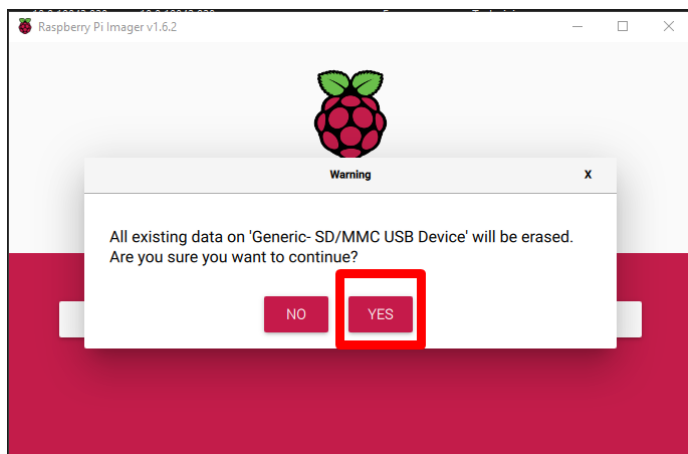


Рисунок 4.63 – Діалогове вікно підтвердження знищення даних

Після чого почнеться процес запису ОС на носій (рис. 4.64).

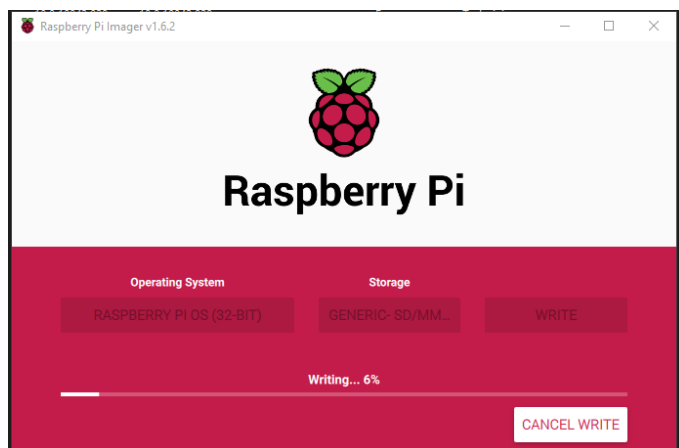


Рисунок 4.64 – Процес запису ОС на носій

Після запису ОС на носій ви побачите таке вікно, натисніть кнопку "Continue" (рис. 4.65).

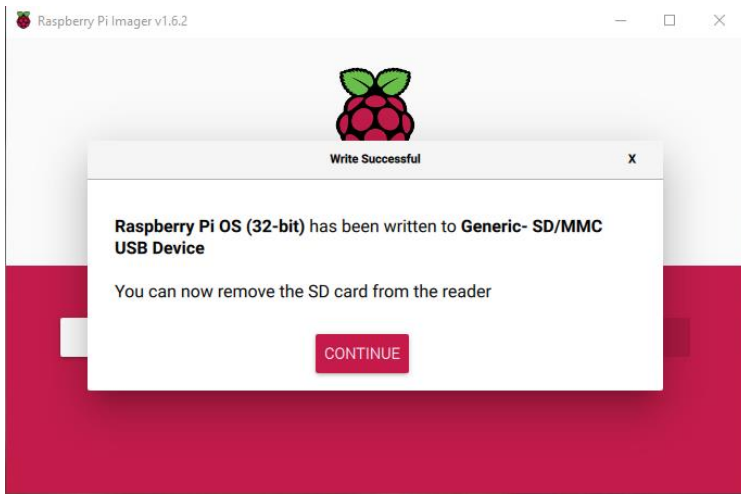


Рисунок 4.65 – Завершення процесу запису ОС

Все що залишилось зробити, це вставити SD-карту у Raspberry Pi та подати живлення (рис. 4.66). Raspberry Pi ОС успішно встановлено.

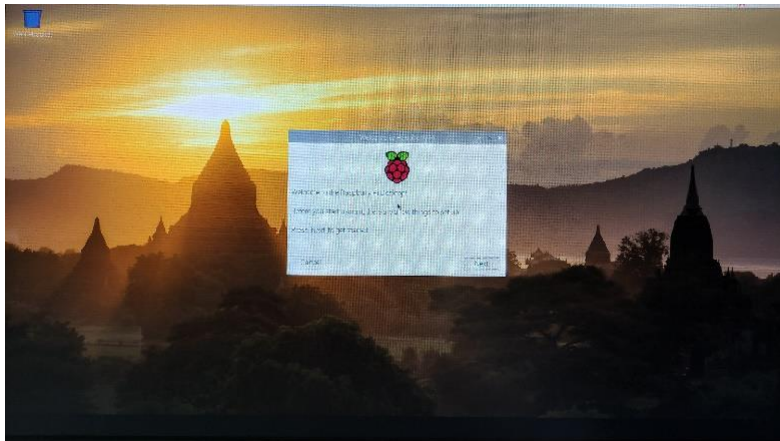


Рисунок 4.66 – Raspberry Pi з операційною системою

4.5.4.2 Підключення GSM/GPRS/GNSS HAT до Raspberry Pi

Спочатку вставте сім-карту до GSM/GPRS/GNSS HAT. Переключіть джампери (жовті) в режим В (рис. 4.67).

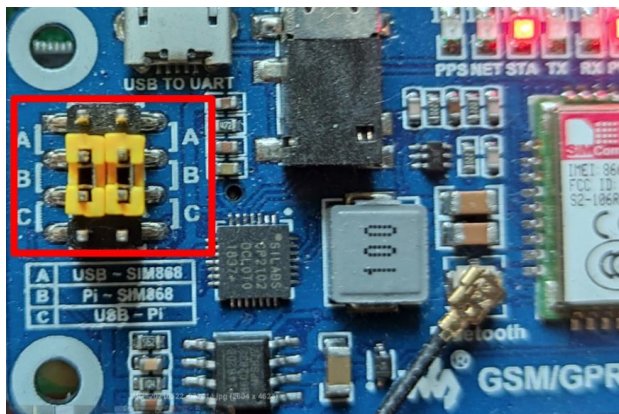


Рисунок 4.67 – Переключення джамперів в режим В

Під'єднайте шилд до Raspberry Pi та підключіть необхідні антени до шилда (GSM, GNSS, Bluetooth) (рис. 4.68). Під'єднайте периферійні пристрої та живлення до Raspberry Pi (рис. 4.69).

4.5.4.3 Перевірка підключення до Інтернету, дати та часу

Переконайтеся, що при запуску системи є доступ до Інтернету, а час і дата збігаються з реальними часом та датою (якщо ні, встановіть їх вручну за допомогою команди `sudo date -s 'YYYY-MM-DD HH:MM:SS'`, наприклад `sudo date -s '2014-12-25 12:34:56'`) (рис. 4.70).

4.5.4.4 Робота з GSM мережею

Переконайтеся, що на шилді горить індикатор живлення (PWR). Натисніть кнопку PWRKEY і утримуйте 1 секунду, індикатор NET почне блимати, а STA буде горіти, як показано на рисунку 4.71.

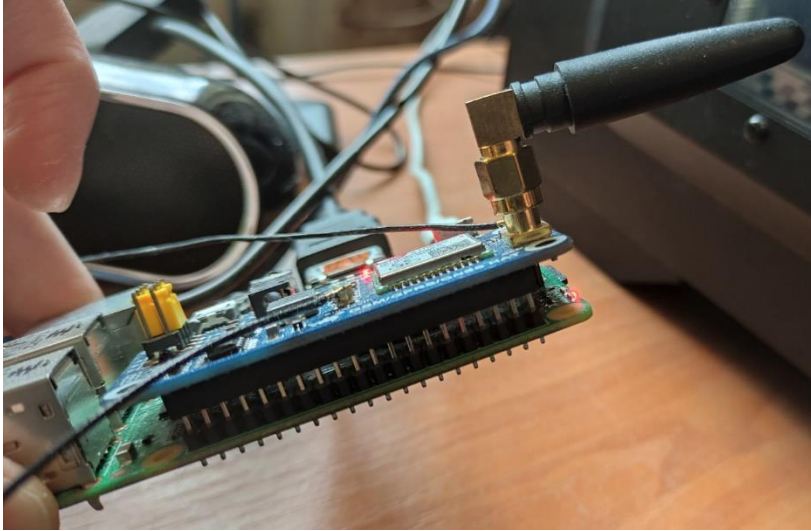


Рисунок 4.68 – Підключення шилду до Raspberry Pi

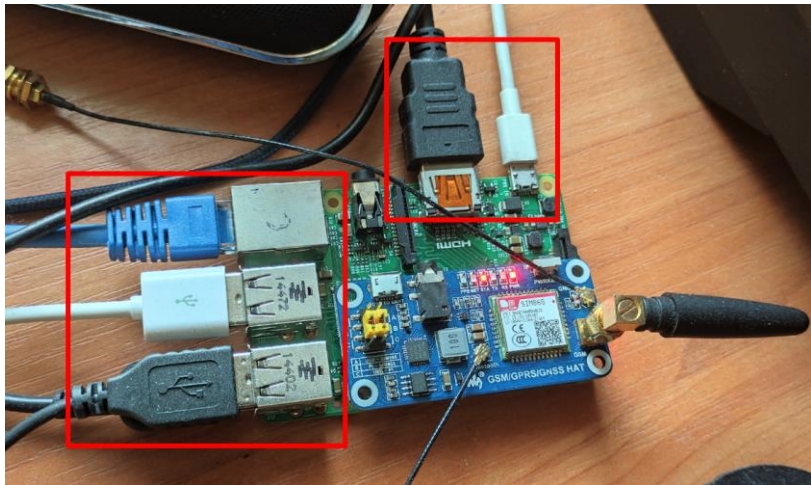


Рисунок 4.69 – Підключення периферійних пристроїв та живлення до Raspberry Pi

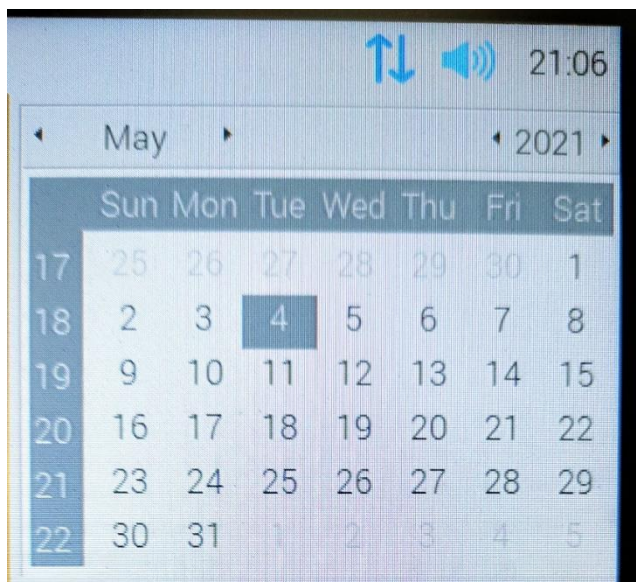


Рисунок 4.70 – Коректність відображення дати і часу



Рисунок 4.71 – Вхід до мережі GSM

Щоб використовувати інтерфейс UART Raspberry Pi, спочатку слід увімкнути Serial інтерфейс Raspberry Pi, як показано на рисунку 4.72: `sudo raspi-config`.

Виберіть Interface Options -> Serial Port -> No -> Yes. To close serial debug and enable the hardware serial. Перезапустіть Raspberry Pi.

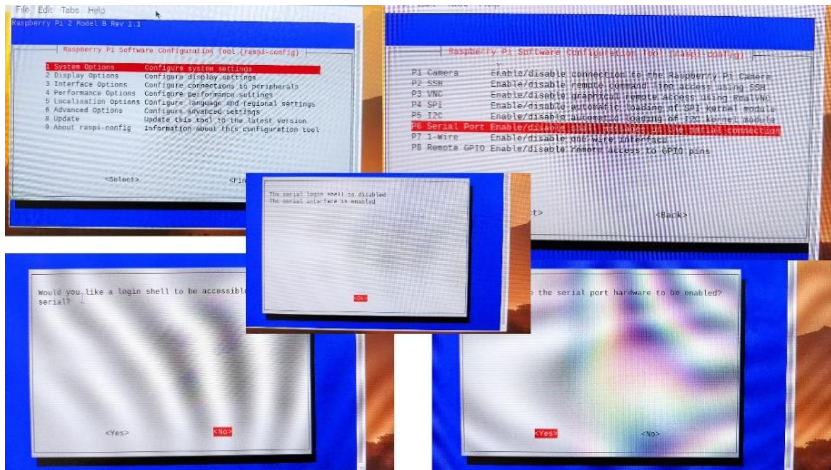


Рисунок 4.72 – Увімкнення серіал інтерфейсу

Встановіть minicom на ваш Raspberry Pi за допомогою команди: `sudo apt-get install minicom`.

Відкрийте minicom для тестування за допомогою команди: `minicom -D /dev/AMA0`

*ttyS0 – послідовний порт для Pi 3B/3B+; ttyAMA0 для Pi 2B/Zero. Якщо ви використовуєте USB інтерфейс, порт може бути ttyUSB.

Після відкриття minicom, ви побачите вікно, наведене на рисунку 4.73.

4.5.4.5 Здійснення дзвінків з шилда на телефон

Надішліть “AT+CPIN?” та Enter, щоб запитати стан SIM-картки.

Отримаєте “+CPIN: READY”, якщо SIM-карта готова.

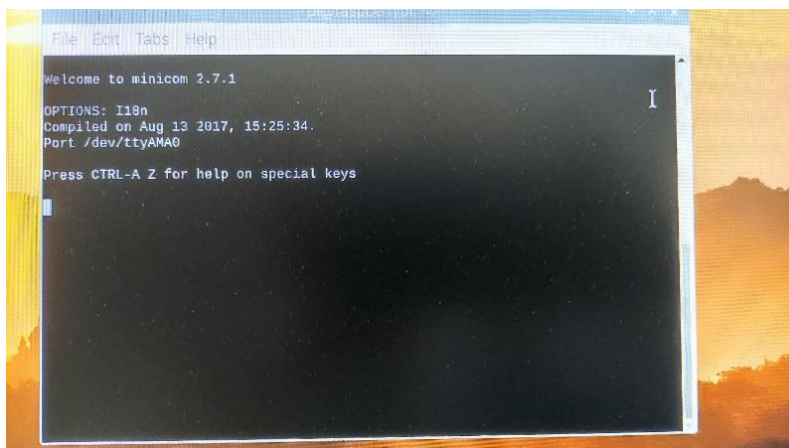


Рисунок 4.73 – Вікно роботи з minicom

Номер телефону: наприклад, “ATD0961111111;”, в кінці обов’язкова крапка з комою.

Надішліть “ATH” та Enter, щоб припинити дзвінок, як показано нижче (рис. 4.74).

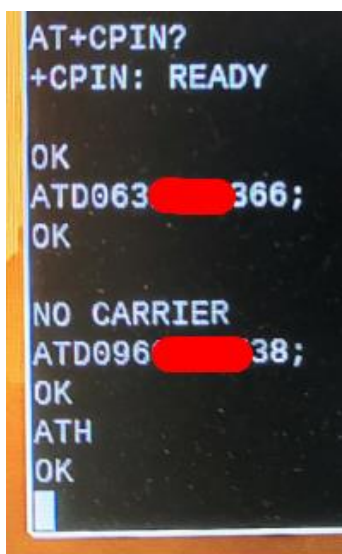


Рисунок 4.74 – Здійснення дзвінків з шилда

Приклад того, як можна здійснити дзвінок за допомогою коду на Raspberry Pi, зображено на рисунку 4.75.

Команду `sudo python call_phone.py` треба запускати з тієї директорії, де знаходиться файл `call_phone.py` (для переходу до директорії використовуйте `cd /.../`).

The image shows a terminal window with two panes. The left pane displays the source code of a Python script named `call_phone.py`. The script imports the `serial` and `time` modules, initializes a serial connection to `/dev/ttyAMA0` at 115200 baud, and sends two AT commands: `AT+CREG?<br>\r\n` and `ATD096[REDACTED]8;<br>\r\n`. The right pane shows the terminal output after running `sudo python call_phone.py`. It displays the responses from the AT module: `AT+CREG?` followed by `ATD096[REDACTED]8;`.

```
call_phone.py
1  #!/usr/bin/python
2  import serial
3  import time
4
5  ser = serial.Serial("/dev/ttyAMA0", 115200)
6
7  W_buf_login = "AT+CREG?\r\n"
8  W_buf_phone = "ATD096[REDACTED]8;\r\n"
9  ser.write(W_buf_login)
10 ser.write(W_buf_phone)
11
12 print W_buf_login
13 print W_buf_phone
```

```
pi@raspberrypi:~/Desktop $ sudo python call_phone.py
AT+CREG?
ATD096[REDACTED]8;
pi@raspberrypi:~/Desktop $
```

Рисунок 4.75 – Програма здійснення дзвінка та її виклик з консолі

4.5.4.6 Отримання дзвінків на шилд

Увімкніть сповіщення CLIP: `AT+CLIP=1`.

Відповідь: `ATA` та `Enter`.

Покладіть слухавку: `ATH`.

Приклад роботи наведено на рисунку 4.76.

4.5.4.7 Відправлення SMS за допомогою шилда

Встановіть локальний SMSC: `AT+CSCA="+380номер сім-карти в шилду"`, отримайте відповідь `"OK"`.

`AT+CMGF=1`: Встановіть SMS в режим TEXT.

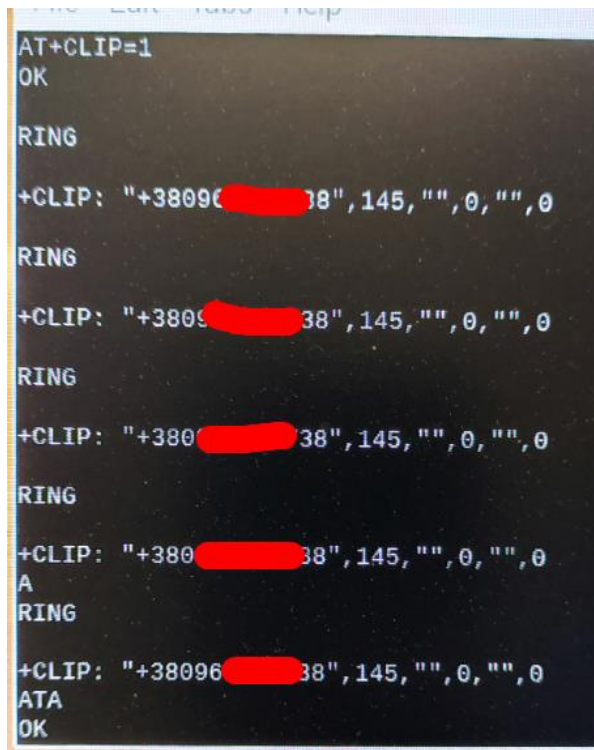


Рисунок 4.76 – Отримання дзвінків на шилд

AT+CMGS="0631111111" – номер, на який буде відправлено SMS, тоді ви отримаєте відповідь:

« > », введіть своє повідомлення (не потрібно Enter в кінці).

Після вводу повідомлення натисніть "CTRL + Z" (1A у форматі HEX (0x1A) є ключовим значенням, це буде повідомляти модуль, щоб надіслати повідомлення). Якщо повідомлення успішно відправлено, модуль отримає відповідь +CNGS: 174 (174 - випадкове число), як показано на рисунку 4.77.

4.5.4.8 Отримання SMS повідомлення на шилд

Надішліть повідомлення, наприклад "Sure, let's test it" на GSM/GPRS/GSNN HAT зі свого телефону.

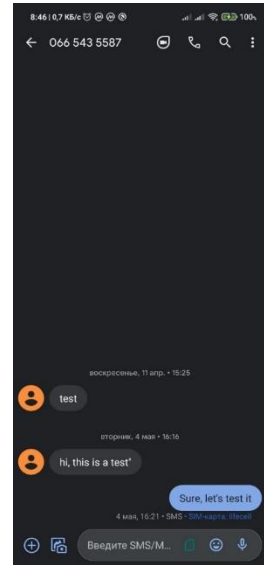
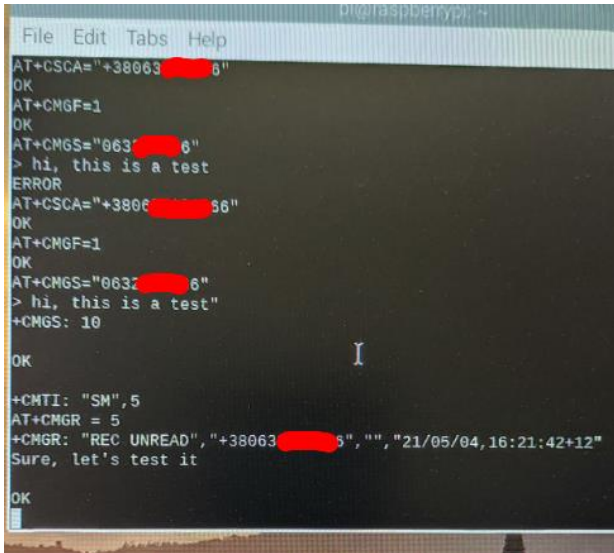


Рисунок 4.77 – Відправлення SMS з шилду

Отримуючи повідомлення, модуль повідомляє про це UART: "SM", 3, це означає, що в SM є 3 повідомлення, і повідомлення, яке ми отримуємо зараз, є третім повідомленням.

Щоб прочитати повідомлення: AT+CMGR=3, де 3 - третє повідомлення (AT+CMGL="ALL", щоб прочитати всі повідомлення).

Видалення повідомлення: AT+CMGD=3, щоб видалити повідомлення, як показано нижче (рис. 4.78).

4.5.4.9 Тестування GNSS

Підключивши GPS-антену, розташуйте приймач на відкритій ділянці, щоб приймати сигнал GPS.

Увімкніть живлення GNSS: AT+CGNSPWR=1.

Перевірте швидкість передачі даних: AT+CGNSIPR?.

Почніть надсилати дані, отримані в UART: AT+CGNSTST=1.

```

AT+CMGL="ALL"
ERROR
AT
OK
AT+CMGR=5
+CMGR: "REC READ", "+3806[REDACTED]36", "", "21/05/04,16:21:42+12"
Sure, let's test it

OK
AT+CMGL="ALL"
+CMGL: 1, "REC READ", "1020", "", "21/03/20,12:24:37+08"
041D0430002004360430043B044C002C002004120430044804300020043C043E04340435043B044F

+CMGL: 2, "REC READ", "1020", "", "21/03/20,12:24:37+08"
0020043F043E0441043B044304330438002E00200414043B044F0020043E044204400438043C0432

+CMGL: 3, "REC READ", "1020", "", "21/03/20,12:24:37+08"
04350440043D04560442044C0441044F00200434043E0020043E043F0435044004300442043E0449

+CMGL: 4, "REC READ", "650646166606+656", "", "21/03/20,12:27:22+08"
04120430044800200440043004450443043D043E043A0020043F043E043F043E0432043D04350435

+CMGL: 5, "REC READ", "+3806[REDACTED]36", "", "21/05/04,16:21:42+12"
Sure, let's test it

OK
AT+CMGD=5
OK

```

Рисунок 4.78 – Отримання і читання SMS за допомогою шилда

Зачекайте декілька хвилин (не менше 10), доки шилд отримає інформацію про місцезнаходження.

Зупиніть отримання даних, для цього напишіть у файлі.txt команду AT+CGNSTST=0, скопіюйте її та за допомогою правої клавіші миші вставте у консоль.

Введіть AT+CGNSINF, для отримання GPS інформації.

Введіть отримані координати в Google Maps для перевірки місцезнаходження антени (антена повинна бути на вулиці, для більш чіткої координації).

Приклад виконання команд наведено на рисунку 4.79.

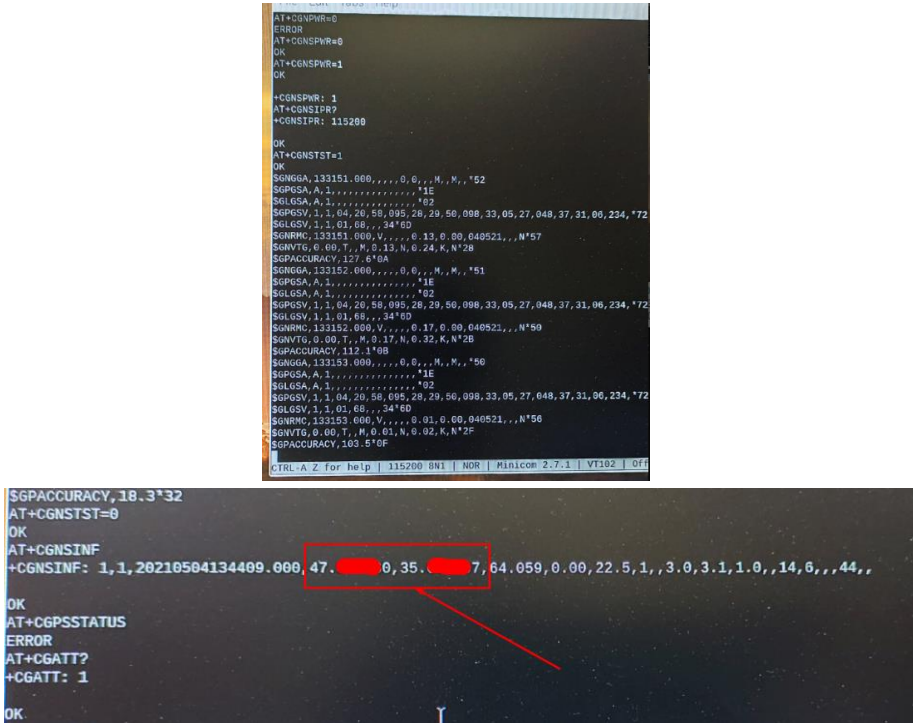


Рисунок 4.79 – Тестування GNSS

4.5.4.10 Тестування GPRS

Для тестування необхідна «біла», статична IP-адреса та віртуальний сервер, який визначає відображення між сервісними портами WAN та веб-серверами LAN. Усі запити з Інтернету до портів обслуговування WAN будуть перенаправлені на комп'ютер (веб-сервери локальної мережі), за вказаною IP-адресою сервера.

Увійдіть в консоль керування маршрутизатором за допомогою браузера (прочитайте посібник із маршрутизатора для конкретної адреси) [77]. Консоль керування зображена на рисунку 4.80.

Встановіть порт: 5000 (Порт не може суперечити іншим. Тут ми встановлюємо його на 5000).

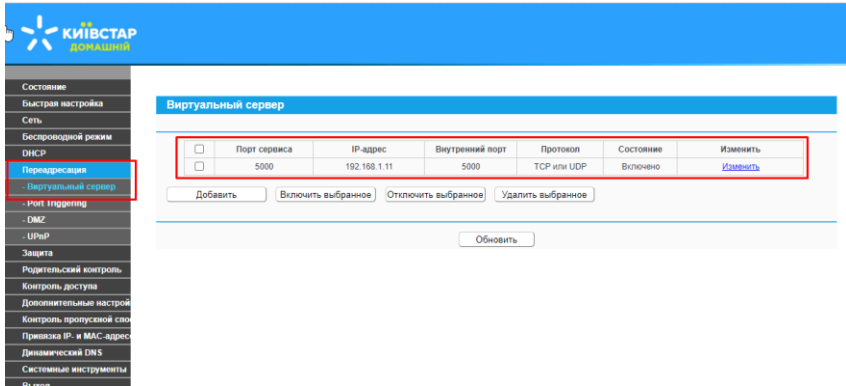
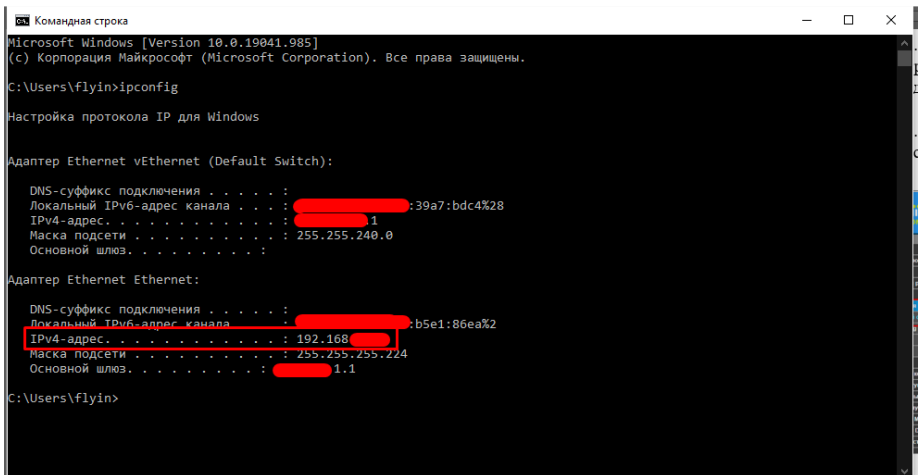


Рисунок 4.80 – Консоль керування маршрутизатором

Дізнайтеся IP-адресу локальної мережі для свого комп'ютера (ви можете запустити CMD на своєму комп'ютері та виконати команду `ipconfig` для запиту адреси IPv4), 192.168.1.14 як приклад (рис. 4.81).

WAN можна отримати за допомогою сайту [78] (рис. 4.82).

Рисунок 4.81 – Команда `ipconfig` у консолі cmd, для отримання IPv4

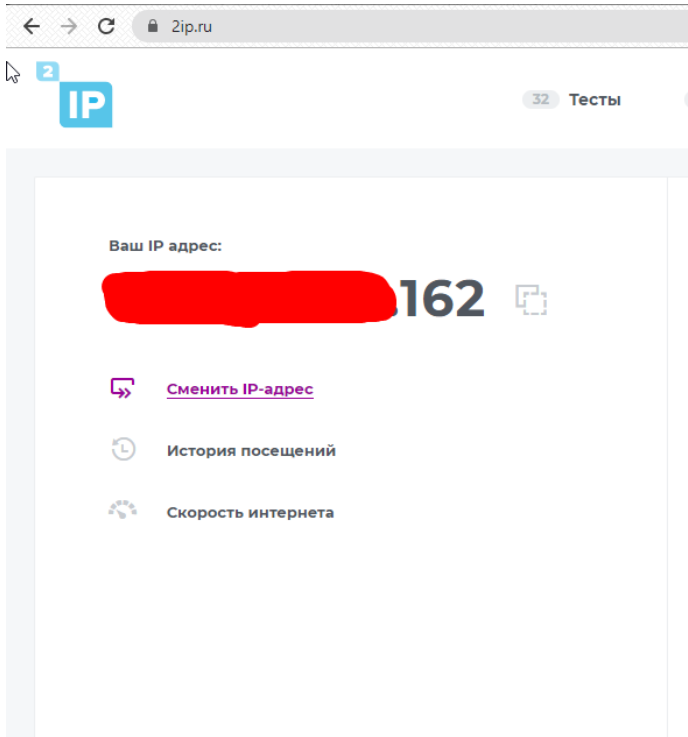


Рисунок 4.82 – Wan IP-адреса

Команди для тестування GPRS (рис. 4.83) наступні.

AT+CSQ для дослідження якості сигналу. Першим параметром відповіді є якість сигналу (Макс. 31). Сигнал сильніший, значення більше.

AT+CREG? Перевірте реєстрацію в мережі. Якщо другим параметром відповіді є 1 або 5, це означає, що Мережа зареєстрована успішно.

AT+CGATT? Перевірте стан підключення GPRS.

AT+CSTT="CMNET" Встановить мережу відповідно до фактичної ситуації. Тут ми використовуємо CMNET.

AT+CIICR Налаштувати бездротове з'єднання з GPRS.

AT+CIFSR Отримайте локальну IP-адресу.

AT+CIPSTART="TCP", "113.81.232.4", 5000 Встановити з'єднання TCP/IP.

```

at
OK
AT+CSQ
+CSQ: 17,0

OK
AT+CREG?
+CREG: 0,1

OK
AT+CGATT?
+CGATT: 1

OK
AT+CSTT="CMNET"
OK
AT+CIICR
OK
AT+CIFSR
10.113
AT+CIPSTART="TCP", "188.163.", 5000
OK

```

Рисунок 4.83 - Команди для тестування GPRS

Команди для відправки даних:

AT+CIPSEND, модуль збирається надіслати дані на сервер.

Отримавши відповідь:

>, відредагуйте вміст повідомлення без Enter в кінці. Потім надішліть «CTRL + Z» (1A у форматі HEX).

Якщо дані надіслано успішно, сервер отримає дані.

Команди для отримання даних:

Виберіть IP-адресу модуля у полі введення Peers.

Введіть дані, які ви хочете надіслати: "привіт, я сервер, будь ласка, отримай моє повідомлення".

Натисніть кнопку Надіслати, ви побачите, що модуль отримує дані.

Надішліть AT+CIPCLOSE або AT+CIPSHUT, щоб деактивувати підключення.

4.5.4.11 Тестування Bluetooth

Підключіть антену Bluetooth до GSM/GPRS/GNSS HAT.

Увімкніть Bluetooth свого телефону та встановіть його видимим для всіх Bluetooth, що знаходяться поруч. Виконайте наступні команди (рис. 4.84).

AT+VTPower=1, увімкніть Bluetooth.

AT+BTHOST? Запитайте ім'я та MAC-адресу модуля, ви також можете використовувати команду AT+BTHOST=<Name>, щоб змінити назву Bluetooth GSM/GPRS/GNSS HAT.

AT+BTSCAN=1,10 Для пошуку доступних пристроїв поблизу. Час пошуку - 10 с. Під час пошуку модуль надрукує інформацію про наявний пристрій в UART.

Наприклад:

+BTSCAN: 0,2, "H60-L01", 50: a7: 2b: bb: a4: 50, -47;

«0,2» - ідентифікатор цього пристрою;

“H60-L01” - назва пристрою;

“50: a7: 2b: bb: a4: 50” - це MAC-адреса пристрою;

“-47” - значення RSSI.

AT+VTPAIR=0,2, Пара з доступним пристроєм, другий параметр – це ідентифікатор, який ми отримали на кроці 4. Якщо з'являється Помилка відповіді, просто скористайтесь AT+BTUNPAIR, щоб видалити дані про сполучення та знову створіть пару.

Після успішної відправки команди пари ви зможете побачити, що ваш телефон запитує запит пари. Потім потрібно натиснути «Пара», щоб прийняти запит, і надіслати AT+VTPAIR на ПК для підтвердження поведінки пари. З ними модуль успішно поєднується з телефоном. Якщо ви не надішлете команду AT для підтвердження сполучення, не вдасться створити пару. У цьому випадку вам потрібно надіслати команду пари знову. Ви також можете використовувати телефон, щоб надіслати запит на сполучення, а потім введіть AT+VTPAIR=1,1, щоб підтвердити його.

Відкрийте програму, натисніть кнопку SCAN у верхньому правому куті, щоб відсканувати доступні пристрої. Потім виберіть “SIM868” (“SIM868” за замовчуванням Bluetooth-ім'я GSM/GPRS/GNSS HAT) і натисніть UART.

```

AT+BTPOWER=1
OK
AT+BTHOST?
+BTHOST: SIM868,48:e6:c0:04:03:88

OK
AT+BTSCAN=1,10
OK

+BTSCAN: 1
AT
+BTCONNECT: 1,"3",dc:b7:2e:5f:fa:8f,"HFP"

```

Рисунок 4.84 – Тестування Bluetooth

Тоді ви отримаєте інформацію про те, що +BTCONNECTING в COM асистенті, що означає, що є запит на підключення. Якщо ви не відповісте на це через деякий час, застосунок підкаже, що підключення не вдалося. А невдала інформація “+BTDISCONN” буде надрукована на ПК.

Підключившись знову, надішліть команду AT+BTACPT=1, щоб підтвердити та прийняти з'єднання Bluetooth. Ви бачите, що +BRCONNECT надруковано на ПК, які успішно підключаються до SPP. Потім ви можете надіслати дані в модуль за допомогою програми.

Під час отримання даних, надісланих з телефону, дані будуть надруковані з ідентифікатором пристрою, довжиною рядка та вмістом на ПК.

Надішліть команду AT+BTSPSEND для передачі даних. Отримавши відповідь:

>, введіть вміст без Enter в кінці.

Надішліть 1A («CTRL + Z») у шістнадцятковій системі, щоб почати передавати дані. Тоді ви зможете побачити, що дані отримує ваш телефон.

4.5.5 Завдання до лабораторної роботи

1. Дослідіть основні функціональні можливості комунікаційного шилда.
2. Виконайте розробку концепції телемедичної системи з використанням об'єктного моделювання. Результати наведіть у вигляді UML діаграм.
3. Виконайте описаний вище комплекс робіт з налаштування, тестування та практичного використання комунікаційного шилда та мінікомп'ютера Raspberry Pi. Самостійно підключіть будь-який датчик.

4.5.6 Зміст звіту

1. Тема та мета роботи.
2. Діаграми UML.
3. Скріншоти етапів виконання роботи та отриманих результатів.

4.5.7 Контрольні питання

1. Які основні можливості модуля Waveshare?
2. Назвіть основні етапи встановлення ОС на Raspberry Pi.
3. Яким чином проводиться тестування Bluetooth?

4.6 Дослідження та розробка носимих пристроїв для пацієнтів з особливими потребами

Мета роботи: ознайомитись з існуючими апаратними та програмними засобами для користувачів з особливими потребами. Адаптувати систему Розумний будинок для користувачів з особливими потребами.

4.6.1 Адаптація системи Розумний будинок для людей з особливими потребами

Система Розумний будинок створюється за допомогою сучасних технологій та пристроїв домашньої автоматизації для

забезпечення комфорту, ресурсозбереження та безпеки користувачів. У найпростішому випадку така система повинна вміти розпізнавати конкретні ситуації, що відбуваються в помешканні та відповідним чином на них реагувати [79].

Принципи керування роботою системи Розумний будинок традиційно базуються на використанні сучасних платформ домашньої автоматизації, а також смартфона, планшету або комп'ютеру для організації взаємодії мешканців з системою. Проте, користувачі з особливими потребами не завжди можуть виконувати певні дії, пов'язані з використанням клавіатури, сенсорних панелей або голосового управління. Їм часто складно оперувати навіть простими речами, наприклад, дотягнутися до вимикача або вчасно прикрутити кран з водою. Уникнути цього можна, використовуючи правильне налаштування інженерних систем Розумного будинку: освітлення може активуватися по шляху проходження, подача води і газу – перекриватися, коли людина залишає кухню. Те саме можна сказати про замки – розумні моделі, оснащені великою кількістю датчиків, можуть відмикатися сканером зображення або в будь-який інший спосіб.

З іншого боку, система Розумний будинок може надавати лікарям дані про фізичний стан та поведінку людей з хронічними захворюваннями або обмеженими можливостями у режимі онлайн. Спеціальні пристрої можуть відстежувати частоту серцевих скорочень, пульс, в той час як розумні коробочки для пігулок і датчики можуть відправляти оповіщення, якщо пацієнт не прийняв ліки або невдало пересувався по приміщенню [80].

Існує величезна кількість додаткових пристосувань і аксесуарів, які можуть бути інтегровані в систему Розумний будинок, дозволяючи значно полегшити життя людей з особливими потребами. Communicaid – спеціальні окуляри, що сповіщають глухих людей про події миготливими піктограмами, які проєктуються прямо на скло. Braille Interpreter – аксесуар для людей, що мають проблеми із зором і не знають мову Брайля. Пристрій представляє собою напальчник, що сканує написи, зроблені опуклим шрифтом, який переводить їх і озвучує. Відеотелефон для людей з вадами слуху – в його основі особлива камера, здатна знімати без затримок відео у високій роздільній здатності HD-формату. Це особливо важливо при спілкуванні

жестами, коли співрозмовникам просто необхідно добре бачити один одного. SignAloud – рукавички для глухонімих, здатні інтерпретувати і переводити мову жестів на будь-яку іншу, а також озвучувати мову, використовуючи динаміки [81]. Але вартість цих пристроїв поки залишається досить високою. Тому, адаптація системи Розумний будинок для людей з вадами зору, слуху, опорно-рухової системи, що дасть їм шанс стати більш самостійними та почуватися впевненіше, залишається актуальною задачею.

4.6.2 Дослідження варіантів організації взаємодії носимого пристрою зі смартфоном

Як приклад, в якості носимого пристрою для збору даних про стан пацієнта з особливими потребами може бути обрано фітнес браслет Xiaomi Mi Band 2, через його низьку ціну та одночасно весь необхідний функціонал для моніторингу базових показників стану здоров'я.

Виробник не надає відкритого API ані для браслета ані до свого фірмового застосунку. Фітнес браслет являє собою пристрій-клієнт BLE і дані передає за допомогою Bluetooth. Для отримання даних нам необхідний пристрій, який виконував би роль сервера. Цю роль може виконувати або ПК або смартфон.

Наступним питанням є як саме, за допомогою якої технології отримувати дані, які передає пристрій. Існує декілька варіантів вирішення задачі:

- написати власний мобільний застосунок, який синхронізувався би з пристроєм і обмінювався даними;
- отримати дані з іншого застосунку через API;
- отримувати дані не за допомогою смартфона, а за допомогою ПК.

Першим варіантом було синхронізувати браслет зі смартфоном. Для цього розробити Android застосунок з використанням бібліотеки для роботи з пристроями BLE. Цей застосунок передавав би дані на сервер вебзастосунку.

Перший крок у взаємодії застосунка з BLE-пристроєм є підключення до нього, а точніше, підключення до GATT-серверу

на пристрої. Для підключення до GATT-серверу на BLE-пристрої використовується метод `connectGatt()`.

Застосунок підключається до GATT-сервера, що знаходиться на BLE-пристрої, і повертає екземпляр `BluetoothGatt`, який потім можна використовувати для проведення клієнтських операцій GATT. Застосунок для Android є GATT-клієнтом. `BluetoothGattCallback` використовується для отримання результатів клієнтом, таких як статус підключення, а також будь-які додаткові клієнтські операції GATT.

Щойно застосунок підключається до GATT-сервера і виявляє послуги, він може читати і писати атрибути, де це підтримується.

На практиці застосунок не завжди підключався до браслету. Інколи пристрій взагалі не відображався при пошуку. Коли з'єднання вдавалося налагодити, виявлялися інші недосконалості використаної бібліотеки, а саме те, що характеристики та дескриптори не вдалося розпізнавати автоматично.

Другий варіант отримання даних - через універсальний застосунок Google Fit (рис. 4.85). Дані з застосунку автоматично синхронізуються з Google акаунтом користувача та зберігаються на сервері. В документації вказані API, за допомогою якого можна отримувати та додавати дані на цей сервер. Це є найпростіший шлях, оскільки дані можна отримувати безпосередньо на вебзастосунку обліку показників фізичного стану пацієнта і не писати додаткових програм.

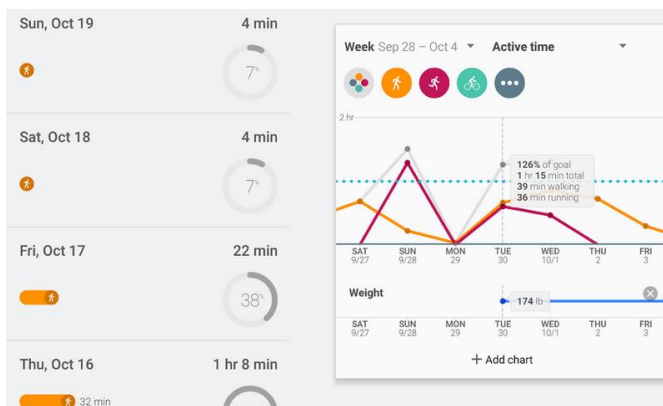


Рисунок 4.85 – Вебзастосунок Google Fit

Але як виявилось, отримати дані з Google серверу можливо тільки ті, які були туди відправлені з застосунку. Дані, що отримані ним з фітнес браслету виявилися недоступними. Звідси можна зробити висновок, що API, яке надається, потрібно тільки розробникам застосунків для фітнес браслетів, які бажають синхронізувати дані зі своїх пристроїв з Google акаунтами своїх користувачів.

Наступним кроком може бути розглянута нова технологія Web Bluetooth. Перша версія цієї специфікації дозволяє вебсторінкам, що працюють на стороні клієнта в центральній ролі, підключатися до серверів GATT через з'єднання BR/EDR або LE. Це означає, що Web Bluetooth надає можливість управляти будь-яким BLE пристроєм, в тому числі і смарт браслетом, безпосередньо з ПК або смартфона без необхідності встановлення спеціального застосунку. Крім того, таке рішення буде кросплатформним.

Технологія Web Bluetooth на сьогодні підтримується всіма популярними браузерями останніх версій: Chrome, Samsung Internet v6.4, Opera, Servo, Firefox, Microsoft Edge, Safari. Хоча рішення і є кросплатформним, обмеження на ОС все ж існують. Технологія підтримується на операційних системах: Android 6.0 Marshmallow+, iOS X Yosemite+, linux Kernel 3.19+ and BlueZ 5.41+, Windows 10.

Для роботи з пристроєм BLE треба знати список його характеристик та дескриптори. Ці параметри можливо отримати за допомогою безкоштовної програми для налагодження BLE-пристроїв – nRF Connect. Цей застосунок підключається до будь-якого пристрою Bluetooth LE та виявляє й аналізує послуги та характеристики.

На рисунку 4.86 представлені результати сканування фітнес браслета, за допомогою якого проводилось дослідження, в таблиці 4.5 наведено його характеристики.

Web Bluetooth надає API для розробки на мові Java Script. В Інтернеті також є приклад робочого застосунка для пошуку і підключення до фітнес браслету. Цей застосунок стабільно підключався до пристрою та виконував вимірювання пульсу.

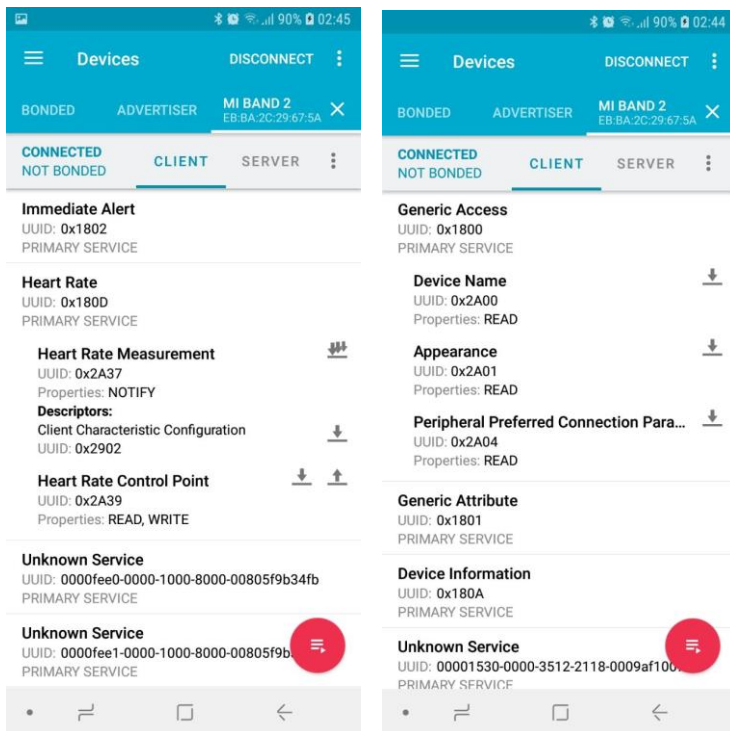


Рисунок 4.86 – Результати сканування фітнес браслета Mi Fit застосунком nRF Connect

Таблиця 4.5 – UUID характеристики пристрою

Назва	UUID
Hardware service (HRDW)	0000fee0-0000-1000-8000-00805f9b34fb
Heart Monitor Service (HMS)	0000180d-0000-1000-8000-00805f9b34fb
Heart Rate Measure Characteristic (HRM)	00002a37-0000-1000-8000-00805f9b34fb
Heart Monitor Control Characteristic (HMC)	00002a39-0000-1000-8000-00805f9b34fb
Sensor Characteristic (SENS)	00000001-0000-3512-2118-0009af100700

4.6.3 Особливості Bluetooth технології

Bluetooth — технологія бездротового зв'язку, створена у 1998 році групою компаній: Ericsson, IBM, Intel, Nokia, Toshiba.

Нині розробки в області Bluetooth ведуться групою Bluetooth SIG (Special Interest Group), до якої входять також Lucent, Microsoft та інші компанії, чия діяльність пов'язана з мережевими технологіями. Основне призначення Bluetooth — забезпечення економного (з точки зору споживаного струму) і дешевого радіозв'язку між різноманітними типами електронних пристроїв, такими як мобільні телефони та аксесуари до них, портативні та настільні комп'ютери, принтери та інші. Причому, велике значення приділяється компактності електронних компонентів, що дає можливість застосовувати Bluetooth у малогабаритних пристроях розміром з наручний годинник.

Інтерфейс Bluetooth дає змогу передавати як голос (зі швидкістю 64 Кбіт/с), так і дані. Для передачі даних можуть бути використані асиметричний (721 Кбіт/с в одному напрямку і 57,6 Кбіт/с в іншому) та симетричний (432,6 Кбіт/с в обох напрямках) методи. Працюючи на частоті 2.4 ГГц, прийомопередавач (Bluetooth-chip) дає змогу встановлювати зв'язок у межах 10 або 100 метрів. Різниця у відстані, безумовно, велика, однак з'єднання в межах 10 метрів дає змогу зберегти низьке енергоспоживання, компактний розмір і досить невисоку вартість компонентів. Так, малопотужний передавач споживає всього 0.3 мА в режимі standby і в середньому 30 мА під час обміну інформацією. У стандарті Bluetooth передбачене шифрування даних, що передаються з використанням ключа ефективної довжини від 8 до 128 біт і можливістю вибору односторонньої або двосторонньої аутентифікації. Додатково, до шифрування на рівні протоколу, може бути використано шифрування на програмному рівні.

Технологія Bluetooth працює за принципом FHSS (англ. Frequency-hopping spread spectrum). Коротко це можна пояснити так: передавач розбиває дані на пакети і передає їх за псевдовипадковим алгоритмом стрибкоподібної перебудови частоти (1600 разів в секунду), або шаблоном (pattern), складеним з 79 підчастот. «Зрозуміти» один одного можуть тільки ті пристрої, які налаштовані на один і той самий шаблон передачі — для

сторонніх приладів передана інформація буде звичайним шумом. Основним структурним елементом мережі Bluetooth є так звана «пікомережа» (piconet) – сукупність від 2 до 8 пристроїв, що працюють на одному і тому ж шаблоні. У кожній пікомережі один пристрій працює як активний (master), а інші як пасивні (slave). Активний пристрій (Master) визначає шаблон, на якому працюватимуть усі пасивні пристрої (slave) його пікомережі, і синхронізує її роботу.

Ініціалізацією, щодо bluetooth, прийнято називати процес встановлення зв'язку. Її можна розділити на три етапи:

- генерація ключа Kinit;
- генерація ключа зв'язку (він носить назву link key і позначається, як Kab);
- аутентифікація.

Перші два пункти входять в так звану процедуру парінга. Парінг (PAIRING), або пару – процес зв'язку двох (або більше) пристроїв з метою створення єдиної секретної величини Kinit, яку вони будуть надалі використовувати при спілкуванні. В деяких перекладах офіційних документів по bluetooth можна також зустріти термін «підгонка пари».

Перед початком процедури сполучення на обох сторонах необхідно ввести PIN-код. Звичайна ситуація: дві людини хочуть зв'язати свої телефони і заздалегідь домовляються про PIN-код.

Для простоти будемо розглядати ситуацію з двома пристроями. Принципово це не вплине на механізми встановлення зв'язку і подальші атаки. Далі з'єднані пристрої будуть позначатися А і В, більш того, один з пристроїв при сполученні стає головним (Master), а другий – веденим (Slave). Будемо вважати пристрій А головним, а В – веденим.

Створення ключа Kinit починається відразу після того, як були введені PIN-коди.

Kinit формується за алгоритмом E22, який оперує такими величинами:

– BD_ADDR - унікальна MAC-адреса BT-пристрою. Довжина 48 біт (аналог IP-адреси, але встановлюється виробником і унікальний для кожного мережевого пристрою);

– PIN-код і його довжина;

– IN_RAND. Випадкова 128-бітова величина.

На виході E22 алгоритму отримуємо 128-бітове слово, іменоване Kinit. Число IN_RANDOM відсилається пристроєм А в чистому вигляді. У випадку, якщо PIN незмінний для цього пристрою, то при формуванні Kinit використовується BD_ADDR, отримане від іншого пристрою. У випадку, якщо у обох пристроїв змінювані PIN-коди, буде використаний BD_ADDR (B) – адреса slave-пристрою. Перший крок сполучення пройдений. За ним слідує створення Kab. Після його формування Kinit виключається з використання. Для створення ключа зв'язку Kab пристрої обмінюються 128-бітними словами LK_RANDOM (A) і LK_RANDOM (B), що генеруються випадковим чином. Далі використовується побітовий XOR з ключем ініціалізації Kinit і знову обмін отриманим значенням. Потім відбувається обчислення ключа за алгоритмом E21. Для цього необхідні величини: BD_ADDR; 128-бітний LK_RANDOM (кожен пристрій зберігає своє і отримане від іншого пристрою значення).

На даному етапі pairing закінчується і починається останній етап ініціалізації bluetooth – Mutual authentication або взаємна аутентифікація. Заснована вона на схемі «запит-відповідь». Один з пристроїв стає верифікатором, генерує випадкову величину AU_RANDOM (A) і відправляє її сусідньому пристрою (у plain text), званому пред'явником (claimant — в оригінальній документації). Як тільки пред'явник отримує це «слово», починається обчислення величини SRES по алгоритму E1, і вона вирушає до верифікатора. Сусідній пристрій виробляє аналогічні обчислення і перевіряє відповідь пред'явника. Якщо SRES збіглися, то, значить, усе гаразд, і тепер пристрої міняються ролями, таким чином процес повторюється заново.

4.6.4 Підсистема керування жестами

Підсистема керування жестами для системи Розумний будинок повинна забезпечувати: отримання даних від акселерометра; форматування даних; передачу відформатованих даних до смартфона за допомогою Bluetooth модуля; обробку отриманих даних мобільним застосунком.

Функціональну схему підсистеми наведено на рисунку 4.87.

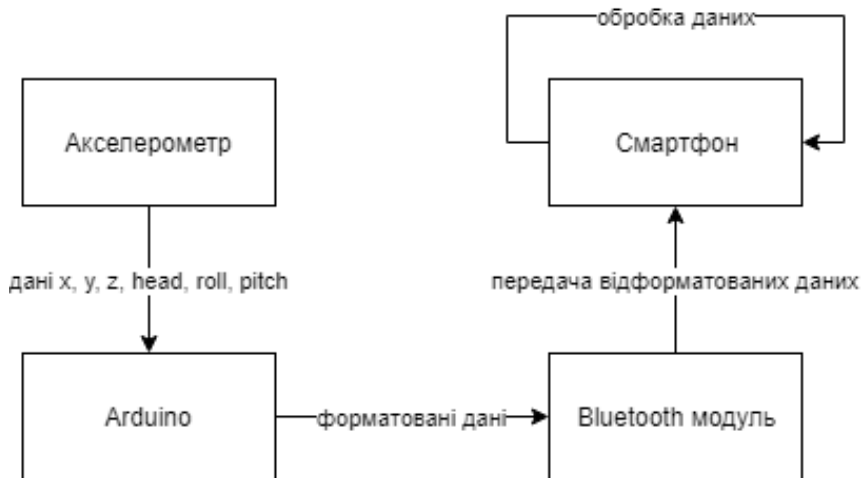


Рисунок 4.87 – Функціональна схема підсистеми

ADXL345 – це крихітний мікропотужний трьохвісевий акселерометр з високою роздільною здатністю (13 біт). Діапазон вимірювання положення коливається до ± 16 g. Результат вимірювання надається у вигляді 16-розрядних чисел в додатковому коді і через цифрові інтерфейси SPI / I2C.

HC-06 – це Bluetooth модуль для підключення Arduino до інших пристроїв по bluetooth. Модуль працює в пасивному режимі, тобто потрібно задати пошук на керуючому (Master) пристрої (ноутбук, телефон), знайти пристрій, після цього в Майстер-пристрої з'явиться послідовний порт, все що буде надіслано в нього з'явиться на вашому Arduino, і навпаки, все що Arduino відправить вам - буде прийнято на вашому комп'ютері. Якщо необхідно, можна підлаштувати параметри модуля за допомогою AT команд.

Arduino Nano V3.0 – маленька, самодостатня, роз'ємо-сумісна з макетами плата на МК ATmega328. Вона більш-менш збігається за функціональністю з Arduino Duemilanove / Uno, але має інший форм-фактор. Arduino Nano бракує тільки роз'єму живлення, а для підключення до ПК застосовується Mini-B USB кабель.

4.6.5 Порядок виконання роботи

Для початку необхідно завантажити та встановити застосунок Serial Bluetooth Terminal або його аналог. Знайти його можна у Google Play (рис. 4.88).

Serial Bluetooth Terminal – це мобільний застосунок, який представляє собою термінал / консоль для МК, Arduino та інших пристроїв з послідовним / UART-інтерфейсом, підключеним до Android-гаджета через Bluetooth.

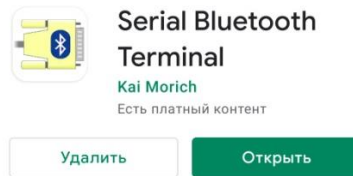
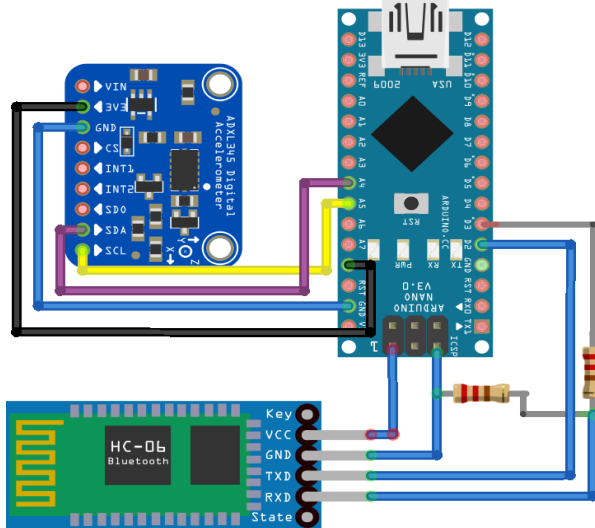


Рисунок 4.88 – Мобільний застосунок Serial Bluetooth Terminal

Далі необхідно підключити Bluetooth модуль HC-06, акселерометр ADXL345, Arduino Nano (рис. 4.89).



fritzing

Рисунок 4.89 – Схема підключення компонентів

Приклад зібраного пристрою наведено на рисунку 4.90.

Для взаємодії з Bluetooth модулем HC-06 використовуємо код програми 1, що наведений нижче. Для організації взаємодії між системою та застосунком використовується бібліотека SoftwareSerial. Вона дозволяє реалізувати послідовний інтерфейс на будь-яких цифрових виводах Arduino за допомогою програмних засобів, які дублюють функціональність UART (звідси і назва "SoftwareSerial"). Бібліотека дозволяє програмно створювати кілька послідовних портів, які працюють на швидкості до 115200 бод.

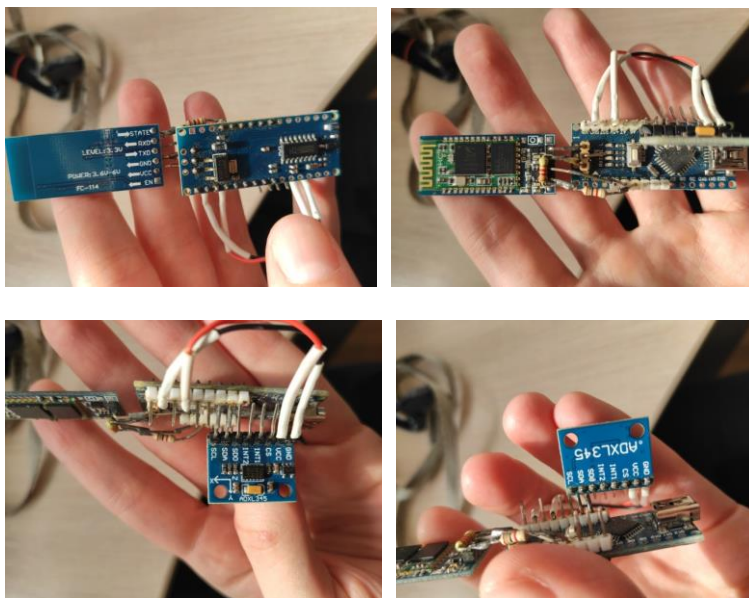


Рисунок 4.90 – Приклад підключення Bluetooth модуля та акселерометра до Arduino Nano

Код програми 1:

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial BTSerial(2, 3); //де RX - 2, TX - 3
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Enter AT commands:");
}
```

```

    BTSerial.begin(9600);
}
void loop()
{
    if (BTSerial.available())
    {
        int c = BTSerial.read(); // зчитуємо з software-порту
        Serial.write(c); // пишемо в hardware-порт
    }
    if (Serial.available())
    {
        int c = Serial.read(); // зчитуємо з hardware-порту
        BTSerial.write(c); // пишемо в software-порт
    }
}
}

```

Далі потрібно завантажити наведений код у Arduino Nano. Спочатку переконайтеся, що встановлено правильні налаштування (рис. 4.91 - 4.92). Далі скопіюйте та завантажте код.

Після цього потрібно на своєму смартфоні увімкнути Bluetooth та відкрити застосунок Serial Bluetooth Terminal. Потім треба перейти на вкладку Devices і серед переліку доступних пристроїв обрати Bluetooth модуль (у даному випадку він має назву HC-06 (рис. 4.93)).

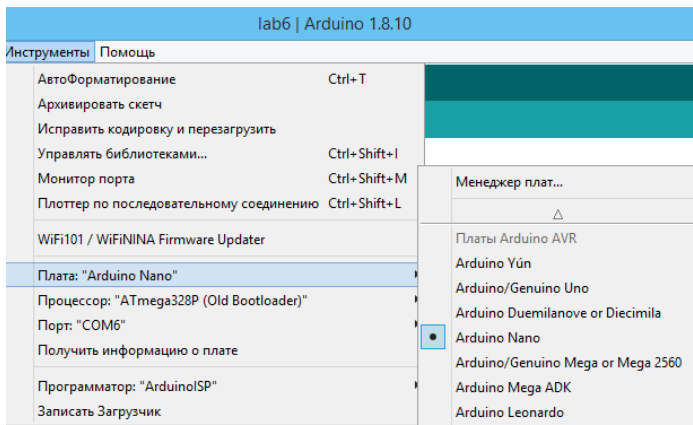


Рисунок 4.91 – Вибір плати

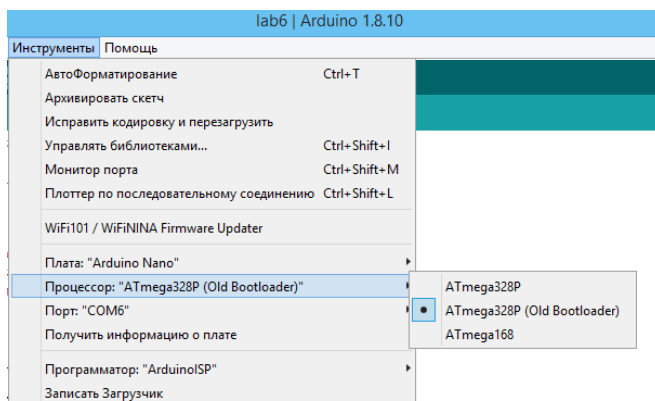


Рисунок 4.92 – Вибір процесора

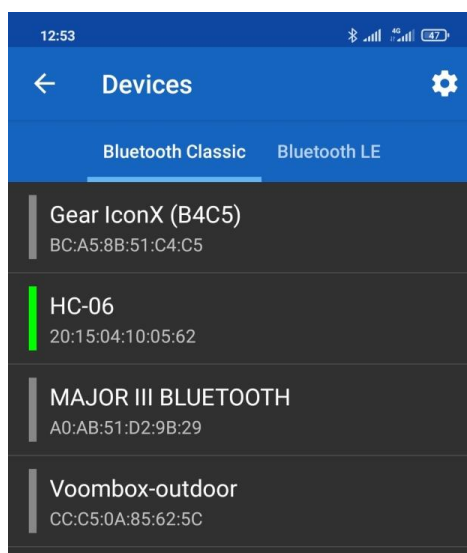


Рисунок 4.93 – Підключення Bluetooth модуля HC-06

Після успішного підключення, за допомогою Монітор порту (Ctrl+Shift+M), можна організувати “спілкування” з HC-06 модулем. Приклад обміну повідомленнями наведено на рисунку 4.94.

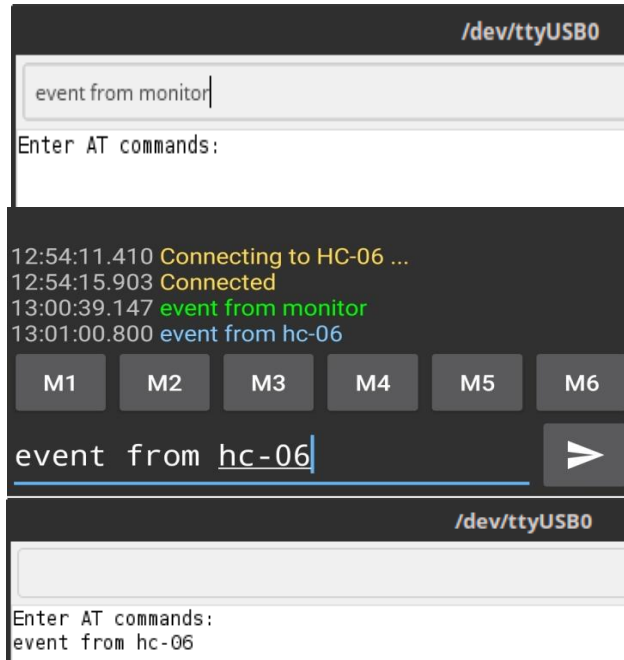


Рисунок 4.94 – Обмін повідомленнями

Також за допомогою спеціальних команд можна виконувати різні дії з модулем HC-06. Перелік команд наведено на рисунку 4.95.

На рисунку 4.96 наведено приклад використання команди AT+VERSION (для того щоб виконати команду, відключіться від застосунку).

Для того, щоб отримати дані від акселерометра, спочатку треба завантажити бібліотеку Adafruit_ADXL345_Unified. Для цього у Arduino IDE обрати пункт Інструменти -> Керувати бібліотеками та встановити потрібну бібліотеку (рис. 4.97).

Для отримання XYZ даних від акселерометра ADXL345 використаємо код, що наведений нижче. Програма 2 отримує значення від акселерометра, формує з них рядок та за допомогою Bluetooth модуля цей рядок передається у застосунок.

AT Commands

The HC-06 has a limited number of commands. You can rename the device, change the baud rate, and change the PIN/password. That's about it.

Command	Reply	Comment
AT	OK	Communications test
AT+VERSION	OKlinvorV1.8	Firmware version.
AT+NAMEmyBTmodule	OKsetname	Sets the modules name to "myBTmodule"
AT+PIN6789	OKsetPIN	Set the PIN to 6789
AT+BAUD1	OK1200	Sets the baud rate to 1200
AT+BAUD2	OK2400	Sets the baud rate to 2400
AT+BAUD3	OK4800	Sets the baud rate to 4800
AT+BAUD4	OK9600	Sets the baud rate to 9600
AT+BAUD5	OK19200	Sets the baud rate to 19200
AT+BAUD6	OK38400	Sets the baud rate to 38400
AT+BAUD7	OK57600	Sets the baud rate to 57600
AT+BAUD8	OK115200	Sets the baud rate to 115200
AT+BAUD9	OK230400	Sets the baud rate to 230400
AT+BAUDA	OK460800	Sets the baud rate to 460800
AT+BAUDB	OK921600	Sets the baud rate to 921600
AT+BAUDC	OK1382400	Sets the baud rate to 1382400

Рисунок 4.95 – Приклади AT-команд для взаємодії з модулем HC-06

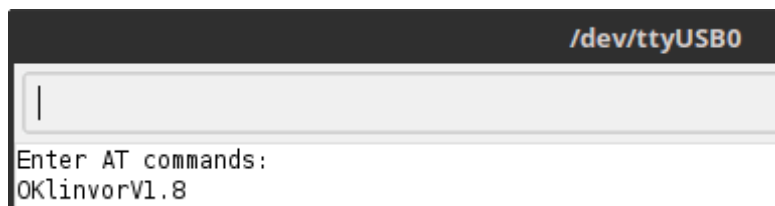


Рисунок 4.96 – Використання команди AT+VERSION

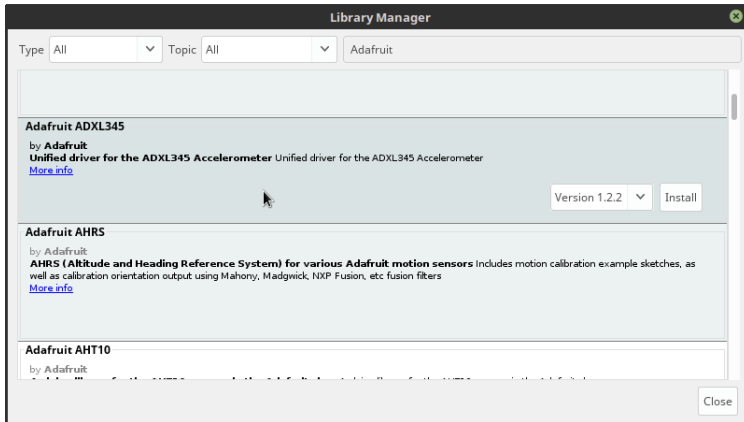


Рисунок 4.97 – Встановлення бібліотеки
Adafruit_ADXL345_Unified

Код програми 2:

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_ADXL345_U.h>
SoftwareSerial BTSerial(2, 3);
Adafruit_ADXL345_Unified adxl(1029384756);
float x = 0.0;
float y = 0.0;
float z = 0.0;
void setup()
{
  BTSerial.begin(9600);
  adxl.begin();
  BTSerial.println("Accelerometer's data:");
}
void loop()
{
  sensors_event_t adxlEvent;
  adxl.getEvent(&adxlEvent);
  float tempX = adxlEvent.acceleration.x;
  float tempY = adxlEvent.acceleration.y;
  float tempZ = adxlEvent.acceleration.z;
```

```

    if (x == tempX && y == tempY && z == tempZ) {
        return;
    }
    String coordinates = String("x = ") + x + ", y = " + y + ", z = " +
z;

    BTSerial.println(coordinates);
    x = tempX;
    y = tempY;
    z = tempZ;

    delay(1000);
}

```

На рисунку 4.98 наведено дані, що отримані від акселерометра ADXL345.

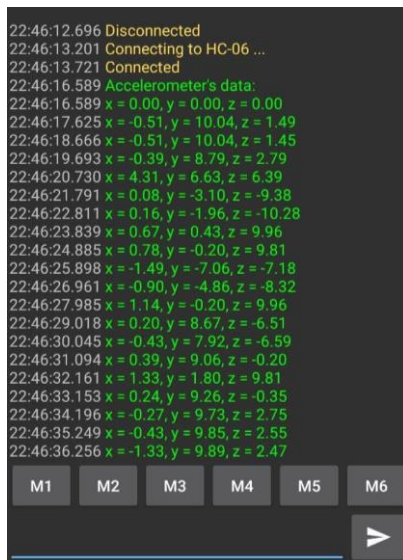


Рисунок 4.98 – Отримання даних XYZ від акселерометра

Тепер змінимо код програми для отримання даних обертання навколо осі X та осі Y від акселерометра ADXL345:

Код програми 3:

```

#include <SoftwareSerial.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_ADXL345_U.h>

SoftwareSerial hc06(2, 3);
Adafruit_ADXL345_Unified adxl(1029384756);
int cmd;
float x = 0.0;
float y = 0.0;
float z = 0.0;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  hc06.begin(9600);
  adxl.begin();
  hc06.println("Accelerometer's data.");
  hc06.println("Enter '1' to start or '0' to stop.");
}
void loop()
{
  if (hc06.available())
  {
    int response = hc06.read();
    if (response == '1' || response == '0') {
      cmd = response;
    }
  }
  if (cmd == '1') {
    getRollAndPitch();
  }
}

void getRollAndPitch() {
  sensors_event_t adxlEvent;
  adxl.getEvent(&adxlEvent);
  float tempX = adxlEvent.acceleration.x;
  float tempY = adxlEvent.acceleration.y;
  float tempZ = adxlEvent.acceleration.z;
}

```

```

float roll = atan(tempY / sqrt(pow(tempX, 2) + pow(tempZ, 2)))
* 180 / PI; //обертання навколо осі X
float pitch = atan(tempX / sqrt(pow(tempY, 2) + pow(tempZ,
2))) * 180 / PI; //обертання навколо осі Y
String positionXY = String("roll = ") + roll + ", pitch = " +
pitch;
hc06.println(positionXY);
x = tempX;
y = tempY;
z = tempZ;
delay(1000);
}

```

Для того, щоб почати отримувати дані, потрібно ввести «1» у консолі застосунку. Щоб завершити отримання даних, введіть «0». Результат роботи коду наведено на рисунку 4.99.

Приклад інтерфейсу розробленого мобільного застосунку для Android наведено на рисунку 4.100, набір компонентів для виконання роботи – на рисунку 4.101.



Рисунок 4.99 – Отримання даних обертання навколо осі X та осі Y від акселерометра

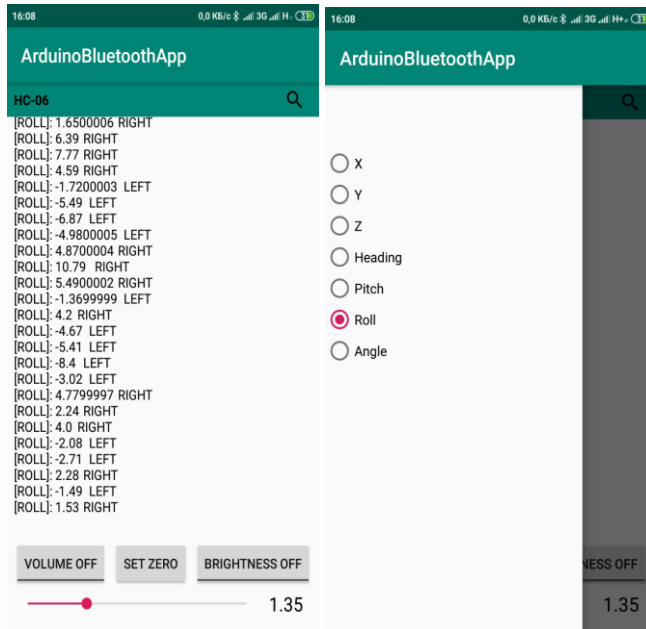


Рисунок 4.100 – Приклад розробленого Android-застосунку

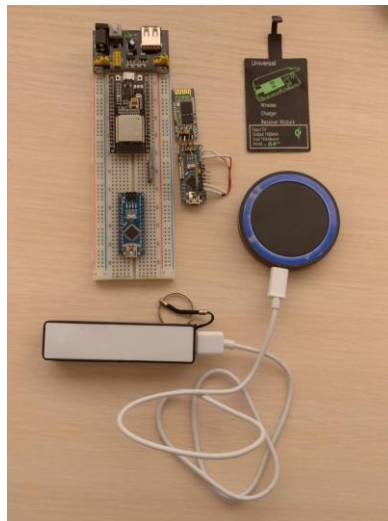


Рисунок 4.101 – Набір компонентів для роботи

4.6.6 Завдання до лабораторної роботи

1. Розробити концепцію підсистеми управління жестами системи Розумний будинок, для мешканців, що мають особливі потреби з використанням об'єктного моделювання. Результати наведіть у вигляді UML діаграм.
2. Проаналізуйте варіанти організації взаємодії носимого пристрою зі смартфоном.
3. Дослідіть програмні бібліотеки, використовувані в роботі.
4. Зберіть схему. Навчіться працювати з акселерометром та за допомогою мобільного застосунку отримувати дані з нього.

4.6.7 Зміст звіту

1. Тема та мета роботи.
2. Діаграми UML, що ілюструють концепцію підсистеми управління жестами системи Розумний будинок.
3. Фото зібраної схеми підключення компонентів підсистеми управління жестами.
4. Результати тестування мобільного застосунку.
5. Висновки з роботи.

4.6.8 Контрольні питання

1. Охарактеризуйте бездротові технології, що найчастіше використовуються в системі Розумний будинок. Порівняйте технології Bluetooth та Wi-Fi.
2. Яким чином можливо організувати взаємодію носимого пристрою зі смартфоном?
3. В чому полягає принцип роботи акселерометра та гіроскопа?
4. Які особливості реалізації Android-застосунку для управління жестами.

ВИСНОВКИ

В посібнику представлено огляд існуючих носимих пристроїв для контролю показників фізичного стану людини. Показано актуальність розробки носимого пристрою для моніторингу пульсу, насиченості крові киснем та визначення положення пацієнта, який буде працювати в інформаційній системі медичного закладу.

Показано особливості реалізації сучасних бездротових технологій, систем та мереж. Показано переваги Wi-Fi технології та Mesh мережі при створенні інформаційної системи медичного закладу.

Наведено архітектуру системи моніторингу, структуру прототипу носимого пристрою, яка включає в себе апаратну та програмну частини. Проведено аналіз та вибір компонентів апаратного забезпечення. В середовищі КОМПАС-3D створено 3D моделі всіх компонентів та загальне складання носимого пристрою. З використанням технологій 3D друкування виготовлено фізичний прототип механічної частини проєктованого браслету. Виконано розробку програмного забезпечення для носимого пристрою, зібрано та протестовано функціонування прототипу. Таким чином, показано можливості створення прототипу браслету для контролю показників фізичного стану людини, що здатний відстежувати пульс та переміщення користувача та формувати JSON-запит для подальшої відправки на сервер даних моніторингу.

Слід зазначити, що залишається багато можливостей для модифікації пристрою. Наприклад, можливо замінити використані компоненти на наступні: акселерометр та гіроскоп MPU-6050 модуль 6DOF; інтегрований датчик MAX30102; модуль ESP32 з OLED-дисплеєм та відсіком 18650; акумулятор Liitokala NCR18650B Protected 3400мАч з захистом. Навіть при заміні компонентів, загальна вартість складе біля 30 \$. В подальшому, також можливо реалізувати інтелектуальний аналіз отриманих моніторингових даних.

Практична складова посібника спрямована на вивчення апаратних та програмних засобів моніторингу біомедичних показників, а також технологій та пристроїв для організації бездротової передачі даних, що збираються та аналізуються.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Frost & Sullivan [Electronic resource]. Access mode: <https://ww2.frost.com>.
2. The Internet of Things: Today and Tomorrow. [Electronic resource]. Access mode: https://www.arubanetworks.com/assets/eo/HPE_Aruba_IoT_Research_Report.pdf.
3. Електронна система охорони здоров'я eHealth. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://portal.ehealth.gov.ua>
4. Медичні інформаційні системи. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://portal.ehealth.gov.ua/providers.html>.
5. Parkhomenko, A. Research and development of the API for personal health record / A. Parkhomenko, I. Tyshchenko // Second International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2019), Zaporizhzhia, Ukraine, 15-19 April 2019: proceedings. – 2019, P. 303-312.
6. Remote heart rate monitoring of the hospital patients// A. Parkhomenko, Y. Presaizen, O. Gladkova, A. Tulenkov, M. Kalinina // 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), Metz, France, 18-21 September 2019: proceedings. – Los Alamitos: IEEE, 2019.- P. 991-996.
7. Method of Monitoring of Young Athletes' Physical State Indicators Based on Wearable Devices Usage/ A. Parkhomenko, A. Volynska, Y. Zalyubovskiy, A. Parkhomenko, M. Kalinina // Third International Workshop on Computer modeling and intelligent systems (CMIS-2020), Zaporizhzhia, Ukraine, April 27–May 1 2020: proceedings. – 2020, P. 436-449.
8. Adaptation of Smart House System for People With Special Needs Based on Wireless Technologies/ A. Tulenkov, Y. Yaremchenko, A. Parkhomenko, Ya. Zalyubovskiy, A. Parkhomenko, M. Kalinina // The 5th IEEE International Symposium on Smart and Wireless Systems within the International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, Dortmund, Germany, 17-18 September 2020: proceedings. – Los Alamitos: IEEE, 2020.- P. 12-17.

9. Алейникова Т.В. Вербальность сердечного ритма [Текст] / Т.В. Алейникова // Проблемы здоровья и экологии. – 2012. - № 1 (31). - С. 17-23.

10. Класифікація кардіомоніторів [Електрон. ресурс]. Режим доступу: http://reff.net.ua/46041-Klassifikaciya_kardiomonitorov.html

11. MIT technology Review, February, 2019. How we'll invent the future, by Bill Gates. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.technologyreview.com/lists/technologies/2019/>.

12. The 6 best heart rate monitors of 2019 [Electronic resource]. Access mode: <https://www.verywellfit.com/best-heart-rate-monitor-4157709>.

13. 7 of the best fitness trackers for monitoring heart rate [Electronic resource]. Access mode: <https://mashable.com/roundup/best-fitness-trackers-smart-watch-heart-rate/>.

14. Apple Watch Series 6 delivers breakthrough wellness and fitness capabilities [Electronic resource]. Access mode: <https://www.apple.com/newsroom/2020/09/apple-watch-series-6-delivers-breakthrough-wellness-and-fitness-capabilities/>.

15. Норма пульсу людини по віковим групам таблиця у чоловіків і жінок [Електрон. ресурс]. Режим доступу: <https://meduk.net.ua/archives/10472>.

16. Національний медичний дослідницький інститут ім. ак. Е. Н. Мешалкіна [Електрон. ресурс]. Режим доступу: <https://meshalkin.ru/treadmill-test>.

17. Пульсоксиметрия [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%8F>.

18. Контроль температуры тела [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.microlife.ru/magazine/management>

19. Mardonova, M. Review of wearable device technology and its applications to the mining industry / M. Mardonova, Y. Choi // Energies. – 2018. - №11(3):547. - 14 p.

20. Выбираем фитнес-браслет: топ 15 лучших моделей [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://ismartwatch.ru/3471-top-fitness-brasletov-2017-god#x1f947-xiaomi-mi-band-4>.

21. Пульсометры: особенности, преимущества и польза + как выбрать пульсометр и цены [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://goodlooker.ru/pulsometry.html>.

22. Что такое умные часы и зачем они нужны – 5 полезных функций [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.moyo.ua/news/chto-takoe-umnye-chasy-i-zachem-oni-nuzhny-5-poleznykh-funktsiy.html>.

23. Фитнес браслеты: их особенности, функции и сравнение со смарт часами [Электрон. ресурс]. Режим доступа: https://bookz.ru/authors/vasilii-potapenko/nizkoe-d_754/1-nizkoe-d_754.html.

24. Фитнес трекер для бега adidas Running [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.runtastic.android&hl=ru>.

25. Mi Fit [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.xiaomi.hm.health&hl=ru&gl=US>.

26. Google Fit – здоровье и трекер активности [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.fitness&hl=ru&gl=US>.

27. Каталог Смарт-годинників [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://hotline.ua/mobile/umnye-chasy-smartwatch/559992/>.

28. Каталог фітнес-трекерів [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://hotline.ua/mobile/umnye-chasy-smartwatch/559993/>.

29. Mike, Как сделать фитнес-трекер на Arduino? [Электрон. ресурс] / Mike. Режим доступа: http://digitrode.ru/computing-devices/mcu_cpu/346-kak-sdelat-fitness-treker-na-arduino.html.

30. Фітнес браслет UWatch Micro K Dark Blue [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://hotline.ua/mobile/umnye-chasy-smartwatch/uwatch-micro-k-dark-blue/>.

31. Бездротові технології [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://surl.li/aerti>.

32. Бездротова мережа [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://surl.li/pzwr>.

33. Беспроводные технологии [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://surl.li/aerto>.

34. Dementyev, A. Power consumption analysis of Bluetooth Low Energy, ZigBee and ANT sensor nodes in a cyclic sleep scenario / A. Dementyev, S. Hodges, S. Taylor, J. Smith // International Wireless Symposium, Beijing, 14–18 April 2013 : proceedings. – Los Alamitos: IEEE, 2013. – P. 1-4.

35. Макаренко, А.С. Бездротові технології передачі даних Wi-Fi, Bluetooth та ZigBee // А.С. Макаренко, А.А. Парфенова, С.Б. Могильний// Вісник Національного технічного університету України «КПІ» Серія: Радіотехніка. Радіоапаратобудування.- 2010.- №41.- С. 171-181.

36. Wi-Fi [Електрон. ресурс]. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>.

37. RTLS [Електрон. ресурс]. Режим доступу: <https://buywifi.com.ua/product/other-product/wifi-rtls/>.

38. IEEE Standarts Association [Electronic resource]. Access mode: <https://www.webcitation.org/6HcipkMwJ?url=http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2007.pdf>.

39. Mareco, D. 5 Reasons your hospital needs Wi-Fi RTLS [Electronic resource] / D. Mareco. Access mode: https://www.securedgenetworks.com/blog/5-Reasons-Your-Hospital-Needs-Wi-Fi-RTLS?utm_source=feedburner&utm_medium=twitter&utm_campaign=Feed:+volweb/WRsA+%28News+from+openspectrum.info%29.

40. RFID для медицинских центров [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://scanberry.ru/news/rfid-dlya-meditsinskogo-oborudovaniya/>

41. Применения RFID [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://surl.li/aertp>.

42. Денисов, Д. Обзор технологии Wi-Fi [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://nag.ru/articles/reviews/104595/obzor-tehnologii-wi-fi.html>

43. Устройство и принцип работы Wi-Fi сети (преимущества и недостатки) [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://hobbyits.com/ustrojstvo-i-princip-raboty-wi-fi-seti/>

44. Wi-Fi Mesh системы – что это и почему будущее за Mesh сетями? [Электрон. ресурс] Режим доступа: <https://help->

wifi.com/poleznoe-i-interesnoe/wi-fi-mesh-sistemy-chto-eto-i-pochemu-budushhee-za-mesh-setyami/

45. MQTT Brokers/Servers and Cloud Hosting Guide [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.steves-internet-guide.com/mqtt-hosting-brokers-and-servers>

46. PainlessMesh Technical Documentation. [Electronic resource] Access mode: <https://gitlab.com/painlessMesh/painlessMesh/wikis/home>

47. The features of wireless technologies application for Smart House systems // [A. Tulenkov, A. Parkhomenko, A. Sokolyanskii et al.] // 4th IEEE International Symposium on Wireless Systems within the IEEE International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, Lviv, Ukraine, 20-21 September 2018: proceedings.- Los Alamitos: IEEE, 2018. – P. 1–6.

48. ESP8266 [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ESP8266>.

49. Миниатюрный NodeMcu ESP8266 от WeMos D1 mini [Электрон. ресурс]. Режим доступа: http://geekmatic.in.ua/nodemcu_esp8266_wemos.

50. ESP32 [Электрон. ресурс] Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ESP32>.

51. Микроконтроллер ESP32 и проекты Arduino [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://arduinomaster.ru/platy-arduino/esp32-arduino-raspinovka-arduino-ide/>.

52. KY-039 – ИК датчик измерения пульса [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://voltiq.ru/shop/finger-measuring-heartbeat-sensor/>.

53. CJMCU-pulse sensor pulse heart rate sensor pulse sensor module rate detecting monitoring [Electronic resource]. Access mode: <https://www.thanksbuyer.com/cjmcu-pulse-sensor-pulse-heart-rate-sensor-pulse-sensor-module-rate-detecting-monitoring-35055>.

54. Ермилов, С. Соединяем монитор частоты сердечных сокращений max30100 с Ардуино [Электрон. ресурс] / С. Ермилов. – Режим доступа: <https://arduinoplus.ru/arduino-max30100/>.

55. Датчик пульса, сердечного ритма PulseSensor [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://controller.in.ua/sensori-%E2%86%92-taktilnie>

56. AD8232 – модуль для ЭКГ [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://controller.in.ua/ad8232---modul-dlja-jekg>

57. PSL-iECG2 (Mini-size 2ch ECG sensor module with isolation) [Electronic resource]. – Access mode: https://physiolab.en.ec21.com/PSL-iECG2-Mini-size-2ch--9063127_9816937.html

58. Датчики. Акселерометры, гироскопы [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://controller.in.ua/datchiki/akselerometry/>

59. Аккумулятор Li-Po 2000 мАг 3.7В формату 103450 [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://arduino.ua/prod3075-akkumulyator-li-po-2000mach-3-7v-formata-103450>

60. OLED дисплей 0,91” I2C 128x32 [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://arduino.ua/prod1795-oled-displei-modyl-0-91-i2c-128x32-belii>

61. USB зарядное устройство для литиевых батарей 3,7В, I_{max} 1А, TP4056 microUSB (без защиты) [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://surl.li/afwsb>

62. Модуль с динамиком KY-006 (пассивный) [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://arduino.ua/prod1153-modyl-s-dinamikom-ky-006-passivnii>

63. Fritzing [Electronic resource]. – Access mode: <https://fritzing.org/home/>

64. АСКОН. КОМПАС-3D [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://ascon.ru/products/7/review/>

65. Браслет для часов Good Prod прочный нейлоновый NATO 20 мм Черный (20277) [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: https://bt.rozetka.com.ua/105589278/p105589278/?gclid=Cj0KCQiA7OnxBRCNARIsAIW53B_eW4L-D-an0itZb5-xBgchn7ImylyBGogKIu8gm0oJhvkrdGAo9sEaAu6fEALw_wcB

66. 3D print. LeapFrog HS (High Speed), [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.3dprint.com.ua/leapfrog-hs>

67. Arduino IDE [Электрон. ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Arduino_IDE

68. Arduino Software (IDE) [Electronic resource]. Access mode: <https://www.arduino.cc/en/guide/environment>

69. IoT analytics [Electronic resource]. Access mode: <http://iot-analytics.com/wp/wp-content/uploads/2016/01/White-paper-IoT->

platforms-The-central-backbone-for-the-Internet-of-Things-Nov-2015-vfi5.pdf.

70. Visualize the Internet of Things. [Electronic resource]. Access mode: <http://freeboard.io/>.

71. Bodmer/TFT_HX8357 [Electronic resource]. Access mode: https://github.com/Bodmer/TFT_HX8357.

72. Library: UTFT [Electronic resource]. Access mode: <http://www.rinkydinkelectronics.com/library.php?id=51>.

73. sparkfun/SparkFun_MAX3010x_Sensor_Library [Electronic resource]. Access mode: https://github.com/sparkfun/SparkFun_MAX3010x_Sensor_Library.

74. thinger.io platform [Electronic resource]. Access mode: <https://thinger.io/>.

75. GSM/GPRS/GNSS HAT User Manual [Electronic resource]. Access mode: https://www.waveshare.com/w/upload/4/4a/GSM_GPRS_GNSS_HAT_User_Manual_EN.pdf.

76. Install Raspberry Pi OS using Raspberry Pi Imager [Electronic resource]. Access mode: <https://www.raspberrypi.org/software/>.

77. Панель керування маршрутизатором [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://192.168.1.1/>.

78. Сервис электронных услуг [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://2ip.ru/>.

79. Популярність системи домашньої автоматизації буде продовжувати зростати протягом наступного десятиліття [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://worldvision.com.ua/ua/populyarnost-sistemy-domashney-avtomatizatsii-budet-prodolzhat-rasti-v-techenie-sleduyushchego-desyatiletia/>.

80. Yassine, A. Mining human activity patterns from Smart Home big data for health care applications / A. Yassine, S. Singh, A. Alamri // IEEE Access. – 2017. – №5. - P. 13131-13141.

81. 10 гаджетів для людей з особливими потребами [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://spilka.kiev.ua/10-hadzhativ-dlya-lyudej-z-osoblyvymy-potrebamy>.

Додаток А

Текст програми

```

#include <Adafruit_GFX.h>           //OLED
бібліотека
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <Wire.h>
#include "MAX30105.h"               //MAX3010x
бібліотека
#include "heartRate.h"              //Алгоритм
розрахунку пульсу
#include                            <ArduinoJson.h>
//Бібліотека Json

//Адреси пристроїв, що під'єднанні до шини
//I2C device found at address 0x3C !  0x57
! 0x68 !

MAX30105 particleSensor;
const int MPU = 0x68;
int16_t AcX, AcY, AcZ, Tmp, GyX, GyY, GyZ;

const byte RATE_SIZE = 4; //Збільште це до
більш середнього. 4 - це добре.
byte rates[RATE_SIZE];    //Масив для
зберігання пульсу
byte rateSpot = 0;
long lastBeat = 0; //Час, в який відбувся
останній побив серця
float beatsPerMinute;
int beatAvg;
String jsonResult;

StaticJsonBuffer<200> jsonBuffer;

#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED ширина
дисплея, в пікселях

```

```

#define SCREEN_HEIGHT 32 // OLED висота
відображення, в пікселях
#define OLED_RESET      -1

Adafruit_SSD1306      display(SCREEN_WIDTH,
SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET); //Оголошення
відображуваного імені (дисплея)

static const unsigned char  PROGMEM
logo2_bmp[] =
{ 0x03, 0xC0, 0xF0, 0x06, 0x71, 0x8C,
0x0C, 0x1B, 0x06, 0x18, 0x0E, 0x02, 0x10, 0x0C,
0x03, 0x10,
//Logo2 та Logo3 - це два
bmp-зображення, які відображаються на OLED, якщо
вони викликаються
0x04, 0x01, 0x10, 0x04, 0x01, 0x10,
0x40, 0x01, 0x10, 0x40, 0x01, 0x10, 0xC0, 0x03,
0x08, 0x88,
0x02, 0x08, 0xB8, 0x04, 0xFF, 0x37,
0x08, 0x01, 0x30, 0x18, 0x01, 0x90, 0x30, 0x00,
0xC0, 0x60,
0x00, 0x60, 0xC0, 0x00, 0x31, 0x80,
0x00, 0x1B, 0x00, 0x00, 0x0E, 0x00, 0x00, 0x04,
0x00,
};

static const unsigned char  PROGMEM
logo3_bmp[] =
{ 0x01, 0xF0, 0x0F, 0x80, 0x06, 0x1C,
0x38, 0x60, 0x18, 0x06, 0x60, 0x18, 0x10, 0x01,
0x80, 0x08,
0x20, 0x01, 0x80, 0x04, 0x40, 0x00,
0x00, 0x02, 0x40, 0x00, 0x00, 0x02, 0xC0, 0x00,
0x08, 0x03,
0x80, 0x00, 0x08, 0x01, 0x80, 0x00,
0x18, 0x01, 0x80, 0x00, 0x1C, 0x01, 0x80, 0x00,
0x14, 0x00,

```

```

        0x80, 0x00, 0x14, 0x00, 0x80, 0x00,
0x14, 0x00, 0x40, 0x10, 0x12, 0x00, 0x40, 0x10,
0x12, 0x00,
        0x7E, 0x1F, 0x23, 0xFE, 0x03, 0x31,
0xA0, 0x04, 0x01, 0xA0, 0xA0, 0x0C, 0x00, 0xA0,
0xA0, 0x08,
        0x00, 0x60, 0xE0, 0x10, 0x00, 0x20,
0x60, 0x20, 0x06, 0x00, 0x40, 0x60, 0x03, 0x00,
0x40, 0xC0,
        0x01, 0x80, 0x01, 0x80, 0x00, 0xC0,
0x03, 0x00, 0x00, 0x60, 0x06, 0x00, 0x00, 0x30,
0x0C, 0x00,
        0x00, 0x08, 0x10, 0x00, 0x00, 0x06,
0x60, 0x00, 0x00, 0x03, 0xC0, 0x00, 0x00, 0x01,
0x80, 0x00
    };

```

```

void setup() {
    display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC,
0x3C); //Запустіть OLED-дисплей
    display.display();
    delay(3000);
    // Ініціалізація сенсору
    particleSensor.begin(Wire,
I2C_SPEED_FAST); //Використовувати I2C порт за
частотою 400kHz speed
    particleSensor.setup();

particleSensor.setPulseAmplitudeRed(0x0A);
//Поверніть червоний світлодіод на низький, щоб
вказати, що сенсор працює

    Wire.beginTransmission(MPU);
    Wire.write(0x6B);
    Wire.write(0);
    Wire.endTransmission(true);

```

```

        byte error, address;
        int nDevices;

    }

    void loop() {
        long irValue = particleSensor.getIR();
        //Читання значення ІЧ дозволить нам дізнатися,
        чи є палець на датчику чи ні
        //Also detecting a heartbeat
        if      (irValue      >      7000)      {
        //Якщо виявлено палець
            display.clearDisplay();
        //Очистіть дисплей
            display.drawBitmap(5, 5, logo2_bmp,
            24, 21, WHITE);      //Малює першу картинку bmp
            (маленьке серце)
            display.setTextSize(2);
        //Біля нього відображається середній показник
        BPM, ви можете відображати BPM, якщо хочете
            display.setTextColor(WHITE);
            display.setCursor(50, 0);
            display.println("BPM");
            display.setCursor(50, 18);
            display.println(beatAvg);
            display.display();

            if  (checkForBeat(irValue)  ==  true)
        //Якщо виявлено серцебиття
            {
                display.clearDisplay();
        //Очистіть дисплей
                display.drawBitmap(0, 0, logo3_bmp,
                32, 32, WHITE);      //Намалювати другу картинку
                (більшим серцем)
                display.setTextSize(2);
        //відображає середній показник BPM
                display.setTextColor(WHITE);

```

```

        display.setCursor(50, 0);
        display.println("BPM");
        display.setCursor(50, 18);
        display.println(beatAvg);
        display.display();
        tone(3,                                1000);
//Тональний зумер на 100 мс
        delay(100);
        noTone(3);
        //We sensed a beat!
        long delta = millis() - lastBeat;
//Вимір тривалості між двома ударами
        lastBeat = millis();

        beatsPerMinute = 60 / (delta /
1000.0);                                //Розрахунок BPM

        if (beatsPerMinute < 255 &&
beatsPerMinute > 20)                    //Для
обчислення середнього значення ми накреслили
деякі значення (4), а потім зробимо деякі
операції для обчислення середнього значення
        {
            rates[rateSpot++] =
(byte)beatsPerMinute; //Збереження в масиві
            rateSpot %= RATE_SIZE;

            //Середнє кількість прочитаних
значень

            beatAvg = 0;
            for (byte x = 0 ; x < RATE_SIZE ;
x++)
                beatAvg += rates[x];
            beatAvg /= RATE_SIZE;
        }
    }
}

```

```

        if (irValue < 7000) { //Якщо
жодного пальця не виявлено, повідомляємо про це
користувача та встановить середній показник BPM
до 0, або він буде збережений для наступного
заходу

            beatAvg = 0;
            display.clearDisplay();
            display.setTextSize(1);
            display.setTextColor(WHITE);
            display.setCursor(30, 5);
            display.println("Please Place ");
            display.setCursor(30, 15);
            display.println("your finger ");
            display.display();
            noTone(3);
        }

        Wire.beginTransaction(MPU); //Початок
роботи з гіроскопом
        Wire.write(0x3B);
        Wire.endTransmission(false);
        Wire.requestFrom(MPU, 12, true);
        //Зчитування значень гіроскопу
        AcX = Wire.read() << 8 | Wire.read();
        AcY = Wire.read() << 8 | Wire.read();
        AcZ = Wire.read() << 8 | Wire.read();
        //Зчитування значень акселерометру
        GyX = Wire.read() << 8 | Wire.read();
        GyY = Wire.read() << 8 | Wire.read();
        GyZ = Wire.read() << 8 | Wire.read();

        //Формування Json Запиту
        JsonObject      &          root          =
jsonBuffer.createObject ();
        root ["AxX"] = AcX;
        root ["AcY"] = AcY;
        root ["AcZ"] = AcZ;
        root ["GyX"] = GyX;

```

```

root ["GyY"] = GyY;
root ["GyZ"] = GyZ;
root ["beatAvg"] = beatAvg;
root.printTo(jsonResult);

```

//Виконня JSON запиту до серверу для зберігання даних

```

    client.print("POST ");
    client.print("/requestheart");
    client.println(" HTTP/1.1");
    client.print("Host: ");
    client.println(192.168.1.112);
    client.println("Connection:
close\r\nContent-Type: application/json");
    client.print("Content-Length: ");
    client.print(root.measureLength());
    client.print("\r\n");
    client.println();
    root.printTo(client);
    delay(100);
}

```

АЛФАВІТНО-ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

А

Акселерометр, 54, 171

Акумулятор, 55, 56

Алгоритм, 76

Г

Геолокація, 137

Д

Датчики

атмосферного тиску, 101

інтегральні, 55

контактні 51, 53, 87

оптичні 51, 53, 98

температури і вологості, 100, 115

Дисплей, 57, 92

Е

Електрокардіограма, 11, 81

Електрокардіографія, 80

З

Забезпечення

апаратне, 48

програмне, 74

Застосунок

eWeLink, 118

Serial Bluetooth Terminal, 171

К

Класифікація

бездротових технологій, 28

носимих пристроїв, 15

М

Маршрутизатор, 32, 40, 156

Мережа

бездротова, 28

Mesh, 40, 44

Wi-Fi, 41

Мікроконтролер, 49, 51, 85

Модель

твердотільна, 61

тривимірна, 61

О

Операційна система, 141

П

Протокол

MQTT, 43

Wi-Fi, 31

I2C, 58, 98

Bluetooth, 160, 168

Прототип, 23, 46, 73

Пульс, 11

Пульсоксиметрія, 12, 54

Р

Розумний годинник, 17, 20

С

Самодіагностика, 96

Середовище

проєктування, 60

програмування, 74

Система

моніторингу, 43, 85

Розумний будинок, 162

Схема

підключення, 59, 90, 102

структурна, 47

функціональна, 46, 170

Т

Температура тіла, 13

Технологія

бездротова, 28, 164

RTLS, 34

RFID, 38

Тривимірне друкування, 61

Ф

Фітнес-браслет, 14

Х

Хмарний сервіс

Freeboard.io, 77

Thingier.io, 106

Ц

Цикл серцевий, 82

Ш

Шилд, 128

Навчальне видання

Пархоменко Анжеліка Володимирівна
Туленков Артем Вячеславович
Гладкова Ольга Миколаївна
Залюбовський Ярослав Ігорович

**ВБУДОВАНІ БІОМЕДИЧНІ СИСТЕМИ ТА БЕЗДРОТОВІ
СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ**

Навчальний посібник

Редактор Пархоменко А. В.
Дизайн обкладинки Андрєєв М. О.

Формат 60x84/16. Ум.-друк. арк. 11,63.
Папір офсетний, 80 г/м. кв. Друк цифровий.
Тираж 100 прим. Видавець і виготівник ПП «Євро-Волинь»
м. Житомир вул. Крошенська, буд. 45, кв. 34
Свідоцтво серія ДК № 7208 від 07.12.2020