

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

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації експериментальних досліджень

«На правах рукопису»  
УДК 681.3.06

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Ю.М. Туз

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності: 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна  
техніка»**

**на тему: «Система моніторингу стану людини з використанням  
технології стиснених вимірювань»**

Виконав :

студент VI курсу, групи ВА-81мп  
Смірнов Владислав Олексійович

\_\_\_\_\_

Керівник:

доцент, к.т.н.

Богомазов С. А.

\_\_\_\_\_

Консультант з “Розробки стартап-проектів”:

доцент, д.е.н.

Бояринова К.О.

\_\_\_\_\_

Рецензент:

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

**Київ – 2019 року**

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Приладобудівний факультет**

**Кафедра автоматизації експериментальних досліджень**

**Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою «Інформаційні вимірювальні технології та системи»**

**Спеціальність (спеціалізація) – 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

\_\_\_\_\_ Ю.М. Туз

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

**Смірнову Владиславу Олексійовичу**

1. Тема дисертації «Система моніторингу стану людини з використанням технології стиснених вимірювань», науковий керівник дисертації Богомазов Сергій Анатолійович доцент, к.т.н., затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом дисертації: 10.12.2018р.

3. Об'єкт дослідження: Процес стиснених вимірювань

4. Предмет дослідження: Ефективність використання стиснених вимірювань для покращення характеристик автономних вимірювальних пристроїв

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

1. Організація систем вимірювання та обробки на основі технології стиснених вимірювань.
2. Розробка апаратного забезпечення системи моніторингу стану людини.
3. Розробка програмної частини системи моніторингу стану людини.
4. Розробка стартап проекту «Система моніторингу стану людини з використанням технології стиснених вимірювань».
5. Висновки.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу : презентація, макет.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

1. “СИСТЕМА МОНИТОРИНГУ ФІЗІОЛОГІЧНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ COMPRESSIVE SENSING” Смірнов В.О., Богомазов С.А.,
2. “MICROPROCESSOR POWERED MONITORING OF HUMAN BODY PHYSICAL STATE” Smirnov V., Bogomazov S.
3. «Система збору даних на основі стиснених вимірювань» Смірнов В.О., Богомазов С.А.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка старпат-проекту	Бояринова К.О. д.е.н., доцент		

9. Дата видачі завдання 09.09.2019

### *КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН*

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Огляд існуючих рішень для створення системи	до 29.10.2018 р.	
2.	Розробка схематичної роботи веб-системи	до 01.02.2019 р.	
3.	Розробка програмного забезпечення мікроконтролера	до 20.06.2019 р.	
4.	Розробка програмного забезпечення веб-системи	до 01.10.2019 р.	
5.	Розробка старпат-проекту.	до 22.11.2019 р.	
6.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу.	до 8.12.2019 р.	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації  
доцент кафедри АЕД к.т.н, доцент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Богомазов С.А.  
(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

**Магістерська дисертація на тему:** «Система моніторингу стану людини з використанням технології стиснених вимірювань», 102 сторінки, 2 додатки.

**Об'єкт дослідження:** Процес стиснених вимірювань.

**Предмет дослідження:** Ефективність використання стиснених вимірювань для покращення характеристик автономних вимірювальних пристроїв.

**Мета роботи:** Розробка апаратно-програмного забезпечення для системи моніторингу стану людини з використанням технології стиснених вимірювань.

**Методи дослідження та апаратура:** Робота з джерелами інформації, пов'язаними з проблеми дослідження, експериментальні дослідження за допомогою програмного забезпечення на основі мов програмування TypeScript та Python; бібліотек BaconJS, numpy та scipy.

**Результати роботи та їхня новизна:** Розроблено програмне забезпечення для обробки та відображення результатів стиснених вимірювань. Використання стиснених вимірювань дозволило зменшити кількість вимірювань, необхідних для відтворення спостережуваного сигналу.

**Рекомендації щодо використання результатів роботи:** Розроблене програмне забезпечення може бути використане в системах збору експериментальних даних, для яких зменшення навантаження на вимірювальний модуль є важливішим за збільшення кількості обчислень на приймальному модулі.

**Ключові слова:** *система моніторингу фізіологічного стану людини, функціональне реактивне програмування, стиснені вимірювання.*

## ABSTRACT

**Master's thesis:** "System for monitoring of human body physical state using compressed sensing», 102 pages, 2 attachments".

**Object of research:** The process of compressed sensing.

**Subject of research:** Effectiveness of compressed sensing for improved performance of autonomous measurement devices.

**Objective:** Development of software for system for monitoring of human body physical state using compressed sensing.

**Research methods and equipment:** Processing of information sources related to research problem, experimental research involving TypeScript, Python, BaconJS, numpy and scipy.

**Results of work and their novelty:** Software for processing and displaying of compressed sensing results was developed. Compressed sensing allowed for less measurements required for reconstruction of measured signal.

**Recommendations on the use of work results:** Developed software can be used in practically any application where less power usage in measurement module is substantially more important than increased computation requirements for processing module.

**Keywords:** *system for monitoring of human body physical state, functional reactive programming, compressed sensing.*

## ЗМІСТ

1 ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ ТА ОБРОБКИ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ СТИСНЕНИХ ВИМІРЮВАНЬ.....	10
1.1 Особливості використання технології стиснених вимірювань (Compressive Sensing, Compressed Sensing).....	10
2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЛЮДИНИ.....	21
2.1 Огляд сучасних методів та засобів вимірювання пульсу людини.....	21
2.2 Розробка мікроконтролерного пристрою системи збору даних.....	33
2.2.1 Мікроконтролер.....	36
2.2.2 Первинний давач.....	39
3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЛЮДИНИ.....	41
3.1 Огляд методів оптимізації.....	41
3.2 Відтворення сигналу.....	49
3.3 Обробка сигналу за допомогою технології функціонального реактивного програмування.....	53
3.3.1 Основні операції.....	55
3.3.2 Розробка програмного забезпечення системи збору даних на основі технології реактивного програмування.....	57
4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЛЮДИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ СТИСНЕНИХ ВИМІРЮВАНЬ».....	61
4.1 Опис ідеї проекту.....	61
4.2 Технологічний аудит проекту.....	63
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	64
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	71
4.5 Розробка маркетингової програми стартап-проекту.....	75

ДОДАТОК А. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	90
ДОДАТОК Б. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ.....	96

## ВСТУП

Сучасні промислові системи моніторингу та керування збільшуються у розмірах, потребують дедалі більше обчислювальних потужностей та пропускну здатності мереж передачі інформації.

Хоча сучасні обчислювальні пристрої та мережева інфраструктура дозволяють підтримувати постійне широкосмугове з'єднання та обробляти велику кількість даних, але продуктивність автономних пристроїв обмежується характеристиками елементів живлення. До того ж, автономні пристрої зазвичай використовують модулі бездротової передачі інформації, які споживають багато енергії.

Для автономних пристроїв важливими показниками є вага, ємність елемента живлення, час автономної роботи, споживання енергії. Ці показники пов'язані між собою – зменшення споживання енергії дозволяє використати менший елемент живлення, зменшити вагу та збільшити час автономної роботи. Альтернативний шлях – залишити існуючий елемент живлення. Це дозволяє збільшити час автономної роботи та зберегти існуючу вагу пристрою.

Одним із шляхів покращення одного з показників без впливу на інші є використання нових апаратних рішень, які з'являються в результаті досліджень, тестування, та процесу впровадження нової розробки. Інший шлях – покращення програмної частини продукту. Цей шлях має набагато менший цикл дослідження-розробки-впровадження, тому його доцільно обирати для оптимізації витрат.

Сучасні автономні пристрої здебільшого використовують стандартизовані модулі обробки та передачі інформації, і лише найбільші виробники можуть витратити кошти на дослідження та розробку власних апаратних рішень. Ці модулі зазвичай є найбільш енерговитратною частиною і використовують більше енергії при більшій кількості обчислень за одиницю часу, тому бажаним

є зменшення інтенсивності обчислень. Тому доцільним є оптимізація програмних алгоритмів, реалізованих у обчислювальному модулі.

Модулі бездротової передачі потребують більше енергії із збільшенням кількості та частоти передачі інформації. Очевидним рішенням для зменшення об'єму передаваної інформації є її стиснення перед відправкою.

Існуючі алгоритми стиснення потребують великої кількості обчислювальних операцій, що призводить до збільшення енерговитрат та зменшення часу автономної роботи.

В даній роботі пропонується використання методу стиснених вимірювань (Compressive Sensing, Compressed sensing), що дозволяє зменшити обсяги обчислень та кількість переданої інформації в автономних вимірювальних пристроях, та демонструється ефективність використання даного методу на практиці.

Тому об'єктом дослідження для даної роботи була обрана технологія стиснених вимірювань. Дана робота пропонує використовувати технологію стиснених вимірювань для покращення характеристик автономних пристроїв збору даних.

Очевидним рішенням для зменшення передаваної інформації є її стиснення перед відправленням. Тому зменшення кількості вимірювань без зменшення кількості отримуваної інформації є дуже актуальним напрямом досліджень.

Розробка систем моніторингу стану людини з використанням технології стиснених вимірювань дає можливість підвищити час автономної роботи бездротових пристроїв збору даних для таких систем.

# 1 ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ ТА ОБРОБКИ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ СТИСНЕНИХ ВИМІРЮВАНЬ

## 1.1 Особливості використання технології стиснених вимірювань (Compressive Sensing, Compressed Sensing)

Безперервні широкосмугові сигнали, дискретизовані у відповідності з теоремою Найквіста-Котельникова, можуть перетворюватись у величезну кількість цифрових даних, які далі необхідно обробляти. Зважаючи на те, що при класичному підході частота дискретизації повинна бути щонайменше вдвічі більше за максимальну частоту сигналу, така процедура дискретизації може виявитися неефективною, особливо при перетворенні високочастотних сигналів. Якщо до того ж необхідно обробляти дані з великої кількості датчиків, це може призвести до суттєвого підвищення вимог до швидкодії системи збору даних. З цього випливає, що стиснення сигналу часто є необхідним кроком у системах збору та обробки експериментальних даних.

Більшість сигналів, з якими ми маємо справу в реальному світі, містять надлишкову або повторювану інформацію, мають деяку структуру і надмірність. Вони не є чистим шумом і цей факт можна використати для їх стиснення. Зокрема, більшість сигналів розріджені, тобто включають багато коефіцієнтів, що близькі до нуля, або дорівнюють нулю, коли сигнали представлені в деякому базисі. Ті ж ідеї лежать в основі багатьох видів стиснення з втратами. Один з підходів до стиснення - відкинути деяку частину вибірки, представлені як коефіцієнти перетворення сигналу у деякому базисі, зважаючи на умову, що коефіцієнти перетворення з малими значеннями є несуттєвими для зворотного відтворення сигналу. Той факт, що багато реальних сигналів є розрідженими для певного базису представлення, використовується в теорії стиснених вимірювань. Однією із ідей, що стоять за теорією стиснених вимірювань, було уникнення стиснення після отримання та

натомість отримання даних безпосередньо у стисненому вигляді. Іншими словами, стиснені вимірювання дозволяють обробляти менше даних, ніж зазвичай, та при цьому мати можливість відтворювати інформацію з невеликими втратами [1].

Більшість сучасних алгоритмів архівації пов'язані з поняттям розрідженості. Суть архівації полягає в пошуку базису, в якому наші дані максимально розріджені, тобто мають багато нулів. У більшості випадків, сигнал має дуже велику довжину, і доки ми не знаємо всі компоненти сигналу, ми не можемо застосувати перетворення для його стиснення. Тобто потрібно витратити багато зусиль, щоб отримати весь сигнал, потім виконати складні перетворення, щоб наприкінці відкинути більшість елементів. З цього випливає питання - навіщо вимірювати весь сигнал, щоб потім більшість інформації відкинути? Чи можемо ми виміряти тільки ті компоненти, які нам потрібні? Один з підходів до стиснення - відкинути деяку частину вибірки, представлені як коефіцієнти перетворення сигналу у деякому базисі, зважаючи на умову, що коефіцієнти перетворення з малими значеннями є несуттєвими для зворотного відтворення сигналу. Той факт, що багато реальних сигналів є розрідженими для певного базису представлення, використовується в теорії стиснених вимірювань. Однією із ідей, що стоять за теорією розріджених вимірювань, було уникнення стиснення після отримання та натомість отримання даних безпосередньо у стисненому вигляді. Іншими словами, стиснені вимірювання дозволяють отримувати менше даних, ніж зазвичай, та при цьому мати можливість відтворювати інформацію.

Формалізуємо завдання. Вважаємо, що процес вимірювання лінійний, і записується в такий спосіб:

$$y = Ax \quad (1.1)$$

де  $x$  - вимірюваний вектор розмірності  $N$ ,  $A$  - вимірювальна матриця розмірності  $m * N$ ,  $m \ll N$ ,  $y$  – безпосередньо виміряні дані.

Завдання: виходячи з вектора  $y$  відновити вектор  $x$ . Як видно з умови, система лінійних рівнянь є невизначеною, тому для знаходження рішення

вводимо додаткову умову. Нехай матриця  $B$  - ортогональна матриця Фур'є-перетворення (по стовпцях базису Фур'є), тоді будемо шукати рішення рівняння (X.1), яке мінімізує

$$\|Bx\|_0 \quad (1.2)$$

де  $\|\cdot\|_0$  означає кількість ненульових елементів.

Стиснені вимірювання зазвичай починаються з одержання обмеженого (можливо, випадкового) числа вибірок в базисі, відмінному від базису, в якому сигнал є розрідженим (наприклад, відліки дискретизованого в часі сигналу). Так як число вибірок обмежено, задача перетворення зображення назад в намічену область спричинила б за собою рішення недовизначеного матричного рівняння - тобто, є величезна кількість різних зображень-кандидатів, який можуть бути результатом для даної вибірки, так як число вибірок менше, ніж число коефіцієнтів в повному зображенні. Таким чином, потрібно ввести деяке додаткове обмеження, щоб вибрати «кращого» кандидата.

Класичне рішення для таких проблем - мінімізація норми  $L_2$  - тобто, мінімізація кількості енергії в системі. Це зазвичай прості математичні перетворення, що включають тільки множення матриць за допомогою псевдо-оберненого базису вибірки. Однак це призводить до поганих результатів для більшості практичних застосувань, тому що невідомі (відсутні в вибірці) коефіцієнти рідко мають нульову енергію.

Більш привабливим рішенням було б мінімізувати норму  $L_0$ , що еквівалентно максимізації числа нульових коефіцієнтів в новому базисі. Однак це складна задача. Таким чином, згідно з ідеями Тао Теренса et al., прийнято мінімізувати апроксимуючу  $L_1$ -норму, або суму абсолютних значень. Пошук мінімуму  $L_1$ -норми формулюється у вигляді завдання лінійного програмування, для якої існують ефективні методи вирішення. Це призводить до результатів, порівнянних з результатами використання  $L_0$ -норми, коли багато коефіцієнтів дорівнюють нулю [2].

Деякі ідеї, які сьогодні використовуються в рамках підходів до стиснених вимірювань, беруть початок у 1970-х роках. У 1990 був запропонований

алгоритм для прибирання шуму з двовимірних зображень з використанням мінімізації за допомогою норми першого порядку. У 2000 році було доведено, що розріджений сигнал порядку  $k$  можна відтворити маючи  $2k$  вимірювань. Ідея стиснених вимірювань почала набирати обертів з того моменту, коли стало зрозуміло, що невелика вибірка некорельованих вимірювань може забезпечити досить точне відтворення вимірюваного сигналу [3].

У даній роботі зосереджена увага на практичному застосуванні стиснених вимірювань. Однак існують деякі конкретні вимоги до вимірюваних сигналів, необхідні для успішного застосування технології стиснених вимірювань. Головна умова - існування розрідженого представлення вимірюваного сигналу (стискуваність в деякому базисі). Розрідженість сигналу є однією з умов, необхідних для використання стиснених вимірювань, і її можна задовольнити в різних областях представлення: часових, частотних або частотно-часових областях. Ця умова справедлива для багатьох сигналів реального світу. Інша умова - відсутність кореляції між інтервалами вимірювання (рисунок 1.1).

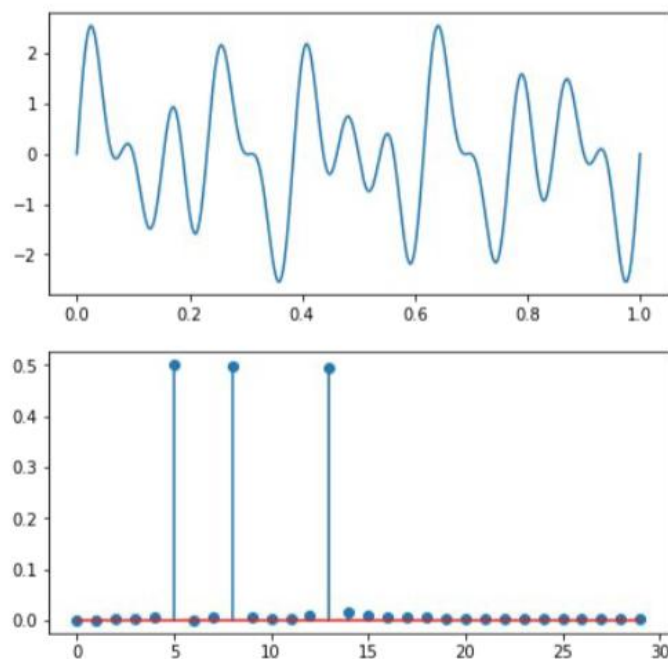


Рисунок 1.1 - Приклад стиснутого сигналу і його відображення у частотній області

Існує велика кількість застосувань стиснених вимірювань - від тих, що приймають одновимірні сигнали, до різноманітних застосувань для обробки зображень та відео. Деякі підвиди стиснених вимірювань використовуються для роботи с сигналами у реальному часі. Постійне зростання і розвиток у галузі стиснених вимірювань спрямоване на зменшення складності пристроїв, прискорення вимірювання та передачі та зменшення споживання електроенергії. Оскільки стиснені вимірювання використовуються для отримання максимально можливої інформації з мінімальної кількості даних, то варто виділити можливість застосування у медицині, особливо в магнітно-резонансній томографії - МРТ. Зменшуючи кількість коефіцієнтів, необхідних для відтворення зображень, час впливу томографа на пацієнта скорочується, а отже, і негативний вплив пристрою зменшується. Ще одне корисне застосування - в радіолокаційній томографії, де стиснені вимірювання використовують розрідженість у частотній області. Крім того, стиснені вимірювання використовуються в системах зв'язку та мережах, бездротових сенсорних мережах (WSN), в когнітивних радіоприймачах для вимірювання спектру тощо.

## 1.2 Математичні основи технології стиснених вимірювань

Виходячи з умови, що вхідний сигнал  $x$  має розмір  $N$  і є розрідженим у області перетворення  $i$ , то вектор отриманого сигналу можна записати так:

$$y = \Omega I^{-1} X \quad (1.3)$$

де матриця  $\Omega$  використовується для випадкової субдискретизації досліджуваного сигналу у часі (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 - Матриця субдискретизації для перетворення сигналу з 20 відліків у стиснену форму з 5 відліків

Важливо, що порядок відліків у стисненій формі сигналу може бути довільний. Приклад матриці відображення у розріджену область наведено на рисунку 1.3.

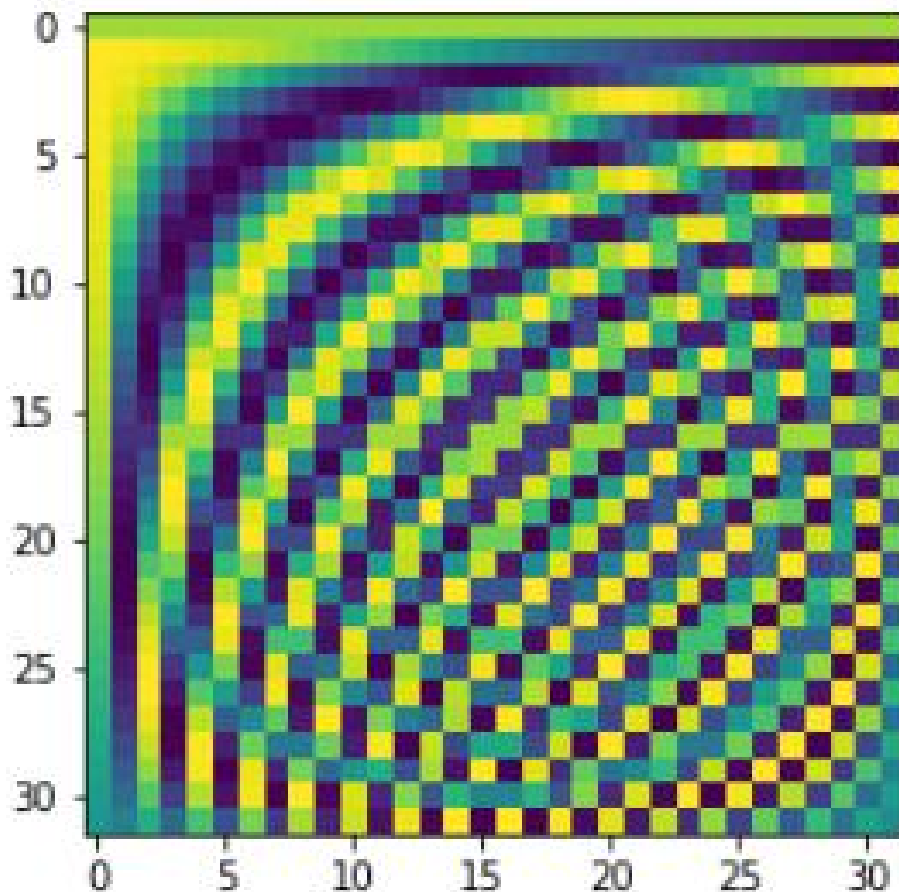


Рисунок 1.3 - Матриця для перетворення у область дискретних косинусів

Сигнал є  $K$ -розрідженим, що означає, що лише  $K$  коефіцієнтів з  $N$  у розрідженій області є ненульовими. Припускається, що лише  $M$  з  $N$  точок

вимірюються у векторі  $y$ , де  $M$  набагато менше ніж  $N$  та принаймні у два рази більше, ніж  $K$  (рисунок 1.4).

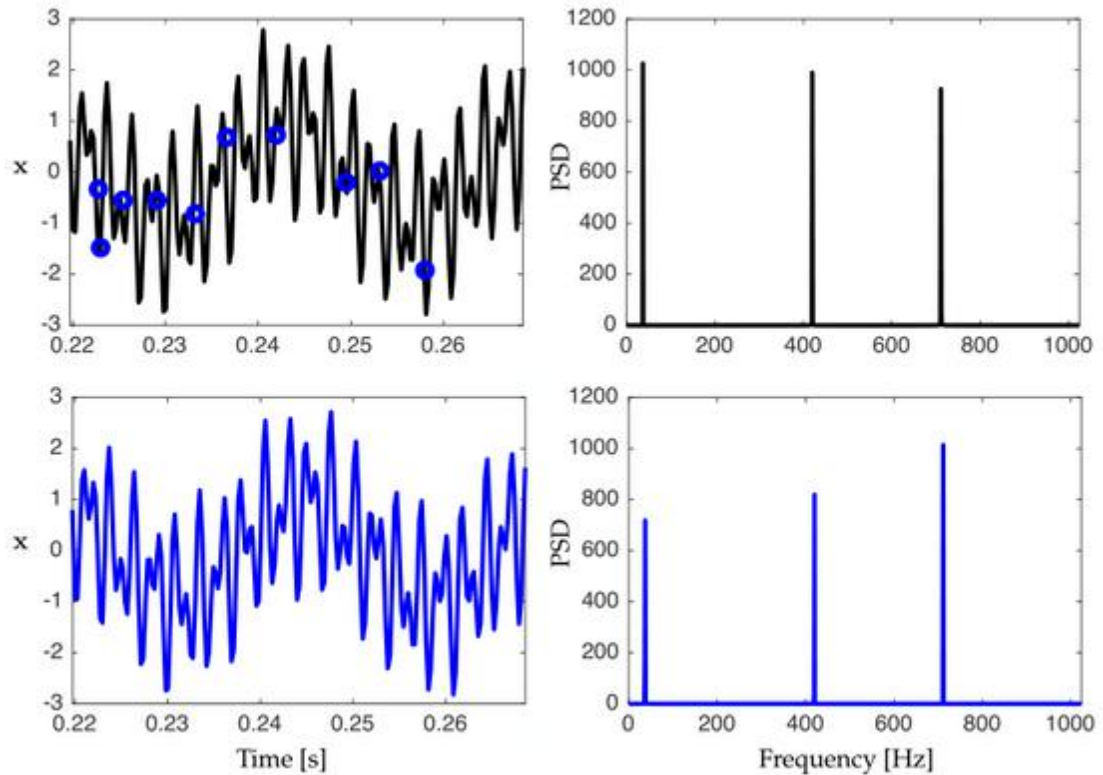


Рисунок 1.4 - Відтворення  $K$ -розрідженого сигналу за допомогою 10 вимірювань ( $K=3$ )

У якості методу розрідженого відображення можуть використовуватися різні базиси перетворення:

- дискретне перетворення Фур'є;
- дискретне косинусне перетворення;
- вейвлети та ін.

Окрім розрідженості, ще однією важливою умовою є некорельованість матриці субдискретизації, яка дозволяє успішно реконструювати сигнал з невеликої кількості наявних вимірювань. А саме, матриця вимірювання  $\Omega$  не повинна бути корельованою з матрицею перетворення у розріджену область.

Система рівнянь (1.1) може бути записана у вигляді:

$$y_{M \times 1} = A_{M \times N} X_{N \times 1},$$

де  $A$  є матрицею стисненого вимірювання .

Така система рівнянь є невизначеною, оскільки на  $M$  рівнянь припадає  $N$  невідомих. Тому використовуються методи оптимізації для того, щоб знайти рішення для цієї системи. Оптимізація рішення використовує критерій розрідженості сигналу - найкращим є найрозрідженіше рішення. Існує ряд алгоритмів, які використовуються для отримання розрідженого рішення системи. Деякі з них засновані на методах опуклої оптимізації та алгоритмах на градієнтного спуску.

### 1.3 Алгоритм стиснених вимірювань

Розрідженість сигналу може бути визначена як кількість ненульових елементів у векторі. Це можна описати, використовуючи норму нульового порядку (1.5):

$$K = \sum_i |x_i|^p = \sum_{i, x \neq 0} 1 \quad (1.5)$$

Тому рішення невизначеної системи рівнянь (1.2) у випадках, коли сигнал  $x$  є розрідженим в області перетворення, можна звести до мінімізації норми нульового порядку (1.6):

$$\min \|X\|_0, y = AX \quad (1.6)$$

Норма нульового порядку на практиці недоцільна, оскільки невеликий шум в сигналі буде прийнятий як ненульовий елемент. Тому зазвичай використовується норма першого порядку. Умова для оптимізації на основі норми першого порядку виглядає наступним чином (1.7):

$$\min \|X\|_1, y = AX \quad (1.7)$$

#### 1.4 Методи оптимізації рішення системи рівнянь стиснених вимірювань

**Метод переслідування базису.** Рівняння (1.6) представляє задачу комбінаторної оптимізації, що не є опуклою. Вирішення цієї задачі вимагає вичерпного пошуку по підмножинах стовпців матриці  $A$ . Для  $K$ -розрідженого сигналу довжиною  $N$  загальна кількість підмножин  $K$ -позицій становить  $\frac{N}{K}$ , що є обчислювально важкою задачею. Інший підхід вирішує задачу опуклої оптимізації за допомогою лінійного програмування, що обчислювально більш ефективно. Найпоширенішими алгоритмами опуклої оптимізації є: переслідування базису, переслідування базису зі знешумленням (BPDN), лассо (LASSO), регресія з найменшим кутом (LARS) тощо.

Підхід на основі опуклої  $\ell_1$ -мінімізації, що забезпечує майже оптимальне рішення, можна визначити як:

$$\min \|X\|_1, y = AX \quad (1.8)$$

Цей підхід відомий як “переслідування базису” (Basis Pursuit, BP). Суть даного підходу, запропонованого Chen S.S. і Donoho D.L. [4], зводиться до заміни обчислювально складної задачі  $L_0$ -апроксимації більш легким завданням  $L_1$ -апроксимації. Він спрямований на декомпозицію сигналу на суперпозицію елементів, які мають найменшу норму першого порядку для коефіцієнтів. Переслідування базису можна вирішити, використовуючи метод первинно-подвійного точкового інтер'єру. Задача (1.6) може бути переписана наступним чином у випадку дійсних  $y$ ,  $A$  і  $X$

$$\|X\|_1 = \sum_{i=1}^N |X_i| \quad (1.9)$$

де змінна  $t$  вводиться, щоб уникнути обчислення абсолютного значення.

У випадках вимірювань сигналів зі значним шумом, матимемо рівняння  $y = AX + n$ , де  $n$  позначає шум ( $\|n\|_2 < \varepsilon$ ), задача оптимізації перетворюється у “переслідування базису зі знешумленням” (BPD) і визначається як

$$\min \|X\|_1, y = AX \quad (1.10)$$

Нижче наведено алгоритм:

1. Встановити  $X = X_0 = A^T y$  для відомого вектора вимірювання  $y$ .
2. Встановити  $t_0 = \gamma |X_0| + \lambda \max\{|X_0|\}$ . Параметри  $\gamma$  та  $\lambda$  обираються вручну.
3. Наступний крок -- формування Лагранжіану.

**Адаптивний градієнтний спуск.** Алгоритм на основі адаптивного градієнта належить до групи опуклих методів оптимізації. Він починається з обраних початкових значень доступних точок сигналу. Початкове значення ітераційно змінюється на  $+\Delta$  і  $-\Delta$ , а ступінь наближення до бажаного результату вимірюється в розрідженій області. Вектор градієнту, що використовується для оновлення значень сигналу, отримують як різницю між нормами векторів першого порядку, змінених на  $+\Delta$  та змінених на  $-\Delta$ . Це градієнтне значення використовується для оновлення значень відсутніх точок.

Швидкість цього алгоритму може бути ефективною навіть для сигналів, які не є дуже розрідженими.

**Жадібні алгоритми.** Жадібні алгоритми представляють собою другу групу алгоритмів, що використовуються для отримання найрозрідженішого рішення системи (1.6). Ці алгоритми є менш обчислювально складними і тому є набагато швидшими порівняно з методами оптимізації на основі норми першого порядку, але також менш точні. Жадібні алгоритми у своїй основі полягають у ітеративному знаходженні елементів матриці перетворення, яку зазвичай називають “словником”, який найкраще відповідає сигналу.

## Висновки

Стиснені вимірювання - це технологія, яка дозволяє реконструювати сигнали, не обмежуючись теоремою Найквіста-Котельникова. У майбутньому цей метод може значно революціонізувати телекомунікації, що є однією з областей, яка найбільше виграє від стиснення даних. В даний час стиснені вимірювання використовуються в таких галузях, як біологія, геологія, телекомунікації тощо. Стиснені вимірювання підходять для роботи з фізіологічними сигналами такими як голос, ЕКГ та ЕМГ, залежно від того, якої точності результат необхідно отримати. Крім того, для належної роботи стиснених вимірювань необхідно вибрати відповідну область відображення для трансформації даних. Найкращою областю відображення для фізіологічних даних є дискретне косинусне перетворення, враховуючи що воно створює розріджене зображення у дійсній області чисел, без уявних чисел, які часто ускладнюють обробку даних.

## 2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЛЮДИНИ

### 2.1 Огляд сучасних методів та засобів вимірювання пульсу людини

Серце - це автономний м'язовий орган, який виконує насосну функцію, забезпечуючи безперервний потік крові в кровоносних судинах шляхом ритмічних скорочень. У серці є ділянка, в якій генеруються імпульси, відповідальні за скорочення м'язових волокон, так званий водій ритму (pacemaker). Якщо патології серцевої діяльності нема, водій ритму визначає частоту серцебиття. Скорочення серцевого м'язу називається систолою, розслаблення - діастолою. Послідовність скорочень і розслаблень серцевих м'язів утворює серцевий цикл. Під пульсом розуміють частоту, з якою повторюється серцевий цикл.

Коли медицина не використовувала технічних засобів діагностики, пульс вимірювали пальпацією, тобто прикладали палець до певної області тіла і підраховували кількість поштовхів стінки судини за деякий час. Пульс можна визначити за електричною активністю серця. В електрокардіосигналі вимірюється інтервал між R-зубцями з наступним перерахунком в удари на хвилину. Це шлуночковий пульс, PP інтервал (період скорочення передсердь) може відрізнитися від нього.

Далі наведено огляд найпоширеніших способів вимірювання пульсу і приклади гаджетів, які їх реалізують, виконаний на основі матеріалів блогу компанії Darta Systems. [5].

**Вимірювання пульсу за електрокардіосигналом.** Після виявлення в кінці XIX століття електричної активності серця з'явилася технічна можливість її зареєструвати. Першим це зробив Віллем Ейнтховен (Willem Einthoven) в 1902 році, за допомогою струнного гальванометра. За свою працю в 1924 році він став лауреатом Нобелівської премії. Саме Ейнтховен вперше держав реальну електрокардіограму (назва він придумав сам), розробив систему відведень -

трикутник Ейнтховена і запропонував назви сегментів електрокардіосигналу. Найвідомішими з них є комплекс QRS - момент електричного збудження шлуночків і найбільш виражений за своїми часовими і частотними властивостями елемент цього комплексу - зубець R (рис.2.1).

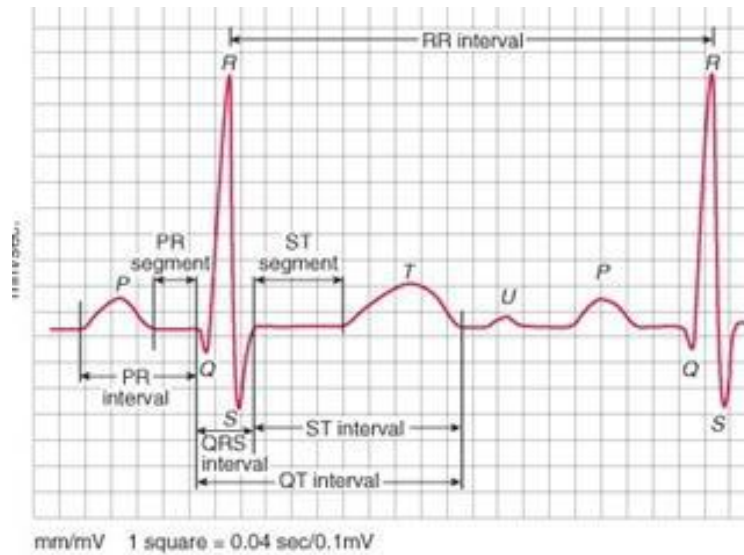


Рисунок 2.1 - Сегменти електрокардіосигналу

**Спортивні нагрудні датчики пульсу.** При проектуванні гаджетів і спортивних тренажерів система відведень була спрощена до двох точок-електродів. Найвідомішим варіантом реалізації такого підходу є спортивні нагрудні монітори у вигляді ремінця-кардіомонітор - HRM strap або HRM band (рис.2.2).

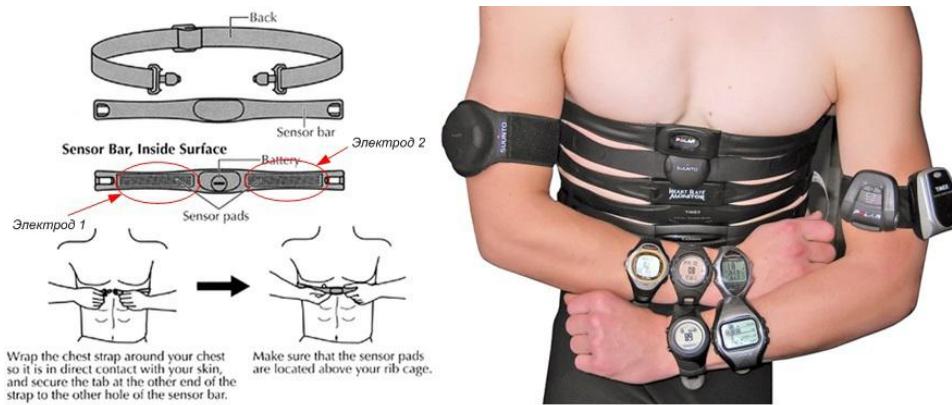


Рисунок 2.2 – Спортивний нагрудний кардіомонітор

У таких ремінцях електроди виконані у вигляді двох смужок з провідникового матеріалу. Ремінець може бути частиною всього пристрою або пристібатися до нього застібками-кліпсами. Значення пульсу, як правило, передаються по Bluetooth за протоколом ANT+ або Smart на спортивно-туристичні годинники або смартфон.

Наступним варіантом реалізації двохелектродного підключення є використання електродів для двох рук, але без постійного підключення одного електроду. При цьому один електрод можна закріпити на зап'ясті як задню стінку годинника або браслета, а інший розташувати на лицьовій частині пристрою. Щоб виміряти пульс, потрібно вільною рукою торкнутися цього електрода і почекати кілька секунд. На подібних браслетах безперервна реєстрація з вільними руками в принципі не можлива. Прилад дуже чутливий до рухів пальця на фронтальному електроді.

Цікава реалізація електрода ЕКГ - ємнісний датчик електричного поля EPiC (Ultra High impedance ECG Sensor), що розроблений компанією Plessey Semiconductors. Датчик має попередній підсилювач, тому він є активним. Датчик має розміри 10x10 мм, він не потребує електричного контакту, тому відсутній ефект поляризації. Це рішення є вельми перспективним для гаджетів з реєстрацією ЕКС (рис 2.3).

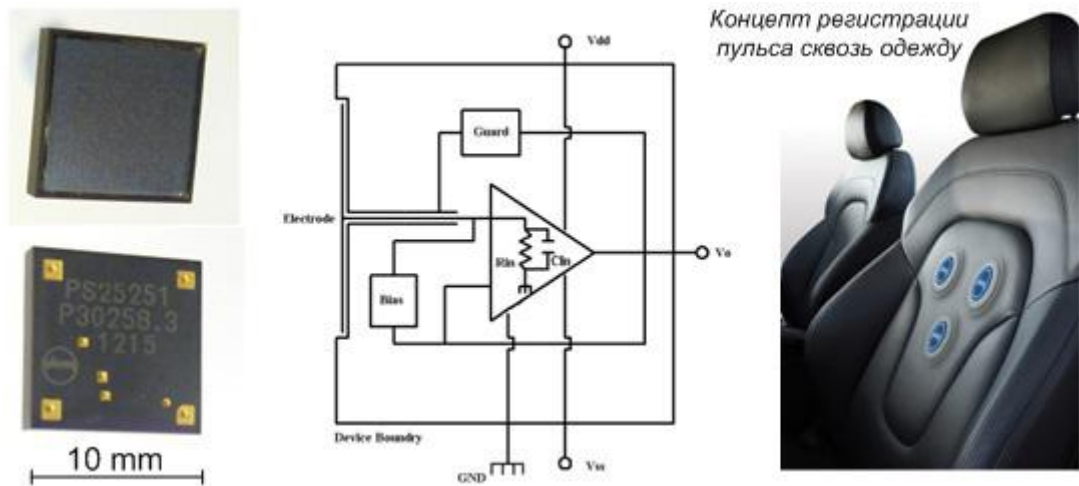


Рисунок 2.3 - Ємнісний датчик ЕРiС для безконтактної реєстрації ЕКС

**Вимірювання пульсу на основі плетизмографії.** Плетизмографія – це найпоширеніший спосіб вимірювання пульсу. Сам метод плетизмографії заснований на вимірюванні частоти зміни кровонаповнення. В результаті отримується пульсова хвиля. Визначення пульсу на основі плетизмографії може бути реалізовано двома основними способами: імпедансним і оптичним.

**Імпедансна плетизмографія.** Імпедансна плетизмографія заснована на вимірюванні зміни повного електричного опору при високочастотному змінному струмі. Цей спосіб реєстрації запропоновано в 30-ті роки вченим Манном (Mann). В даний час спосіб використовує на двох або чотирьохточкову схему для вимірювання об'ємного питомого опору. При цьому сигнал з частотою від 20 до 150 кГц пропускається через досліджуваний орган. Використовуються два електроди (рис.2.4).

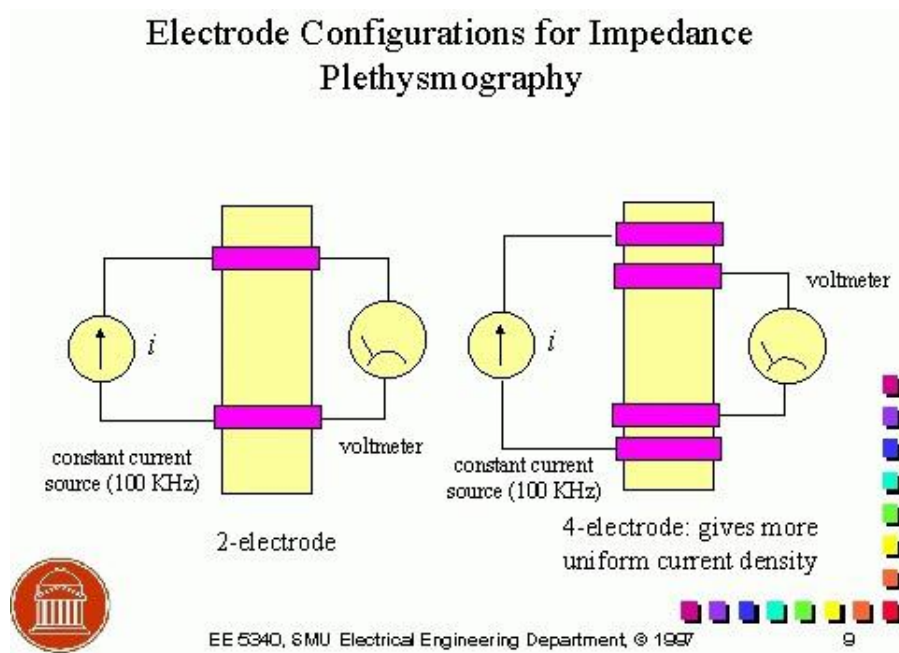


Рисунок 2.4 – Конфігурація електродів для імпедансної плетизмографії

Генератор сигналу має забезпечити сталий струм із значенням 10-15 мкА. Його амплітуда буде змодульована зміною кровонаповнення. На інших електродах знімається модульований сигнал. Це відповідає схемі перетворювача імпеданс-напруга. При двухточковій схемі електроди генератора і приймача об'єднуються. З посиленого сигналу відфільтровується несуча частота та постійна складова і залишається інформаційна складова. Для відкаліброваного приладу по осі Y можна відкладати Ом. В результаті одержимо наступний сигнал (рис. 2.5).

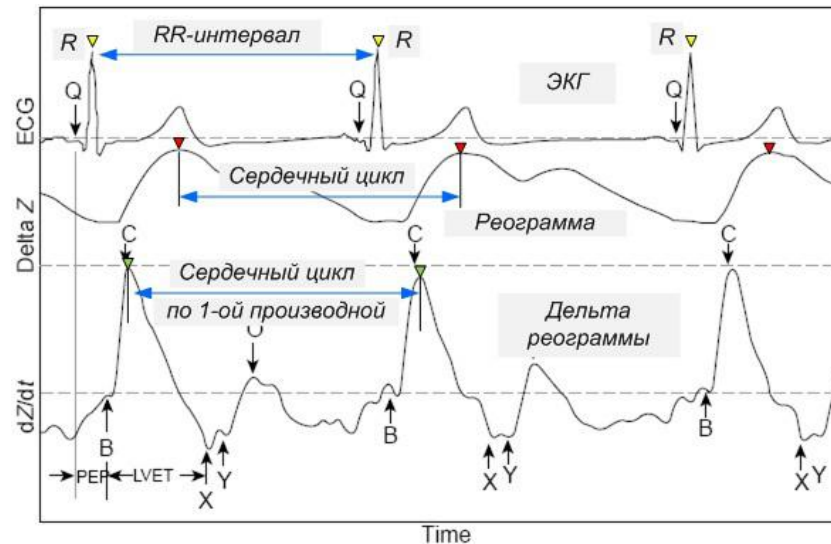


Рисунок 2.5 – Приклади сигналів ЕКГ, імпедансної плетизмограми (реограми) та її похідної

RR-інтервал на ЕКС відповідає відстані між вершинами, тобто тривалості серцевого циклу на реограмі. R-зубець має різкий фронт, систолічна фаза реограми має пологий фронт. З пульсової кривої можна отримати досить багато інформації про кровообіг досліджуваного органу, але нас цікавить тільки пульс. Для його визначення знаходимо два локальних максимуми, що відповідають максимальній амплітуді систолічної хвилі, знаходимо час між ними в секундах  $\Delta T_i$  та визначаємо  $VMP=60/\Delta T$ . Прикладів гаджетів, які використовують даний спосіб, невідомо. Зате є приклад імплантуємого датчика для контролю кровообігу артерії. Активний датчик кріпиться прямо до артерії, з хост-девайсом спілкується по індуктивному зв'язку. Використовується 4-х точкова схема реєстрації та гнучка друкована плата. Плюс цього рішення в тому, що споживання такого датчика є вкрай малим (рис.2.6).

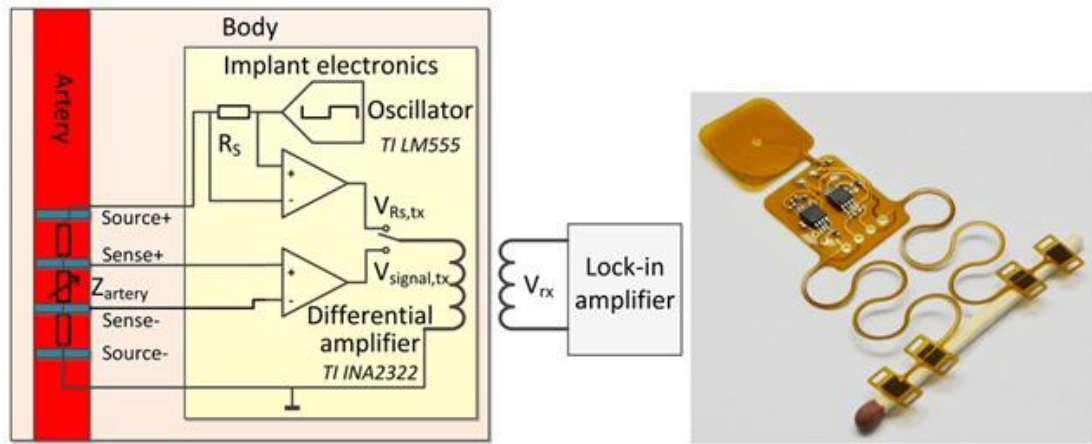


Рисунок 2.6 - Імпантований датчик для контролю кровообігу артерії

**Оптическая плетизмография** або **фотоплетизмография**. В пристроях масового застосування оптичний спосіб використовується найчастіше.

Зміни перетину судини під час пульсації кровотоку викликають зміну амплітуди сигналу з виходу відповідного фотоприймача. Спочатку такі пристрої застосовувались в клініках і вимірювали пульс з пальця в режимі просвіту або віддзеркалення. Форма пульсової кривої повторює реограму (рис.2.7).

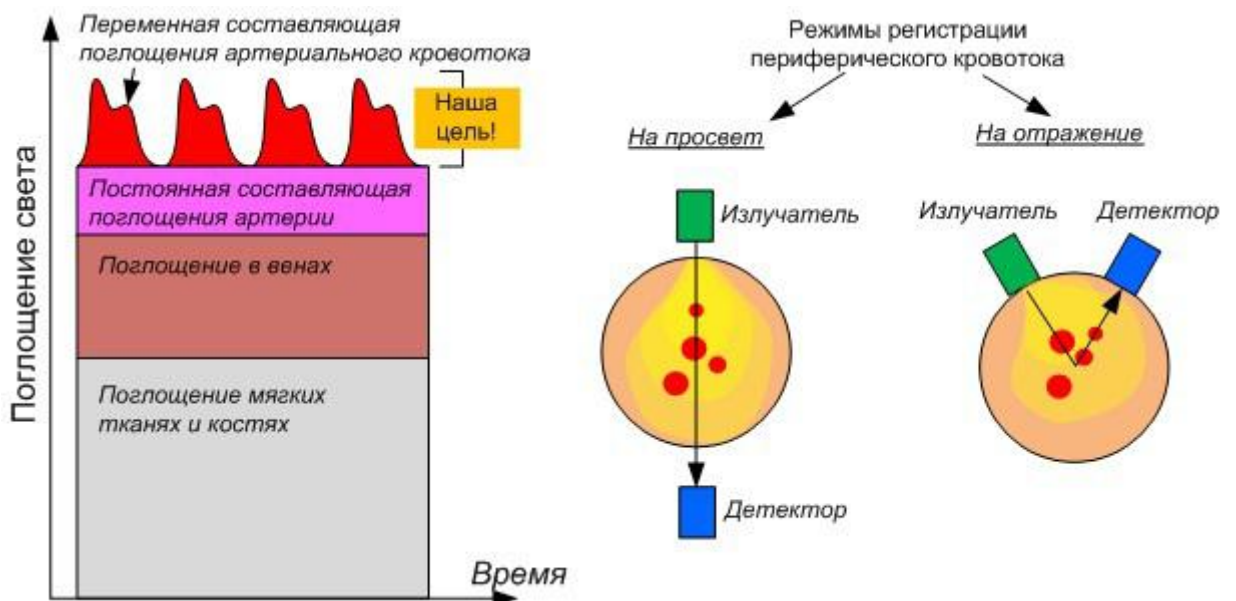


Рисунок 2.7 – Принципи оптичної плетизмографії

Цей спосіб спочатку знайшов широке застосування в клінічних умовах, потім цей принцип був використаний і в побутових пристроях. Зокрема, він використовується в компактних пульсоксиметрах, які реєструють пульс і сатурацію киснем крові. Зараз виробляється багато модифікацій, наприклад з вушними кліпсами та датчиками, що вбудовані в навушники. Найбільш привабливим було вимірювання пульсу з зап'ястя, адже це таке звичне і комфортне місце. Першим був годинник MioAlpha. Модуль датчика був розроблений в компанії Philips. На сьогоднішній день це найкращі пристрій для безперервного вимірювання пульсу з зап'ястя методом фотоплетизмографії. Далі світу стали відомі такі гідні пристрої як BasisB1, Samsung Galaxy Gear і Gear Fit, Moto360 і звичайно AppleWatch. У всіх подібних пристроях реалізується вимірювання пульсу за відбитим сигналом.

**Вибір довжини хвилі випромінювача.** Вибір довжини хвилі випромінювача залежить від розв'язуваної задачі. Обґрунтування вибору добре ілюструвати за графіком поглинання світла окси і дезоксигемоглобіну з кривими характеристик світла випромінювачів (рис. 2.8).

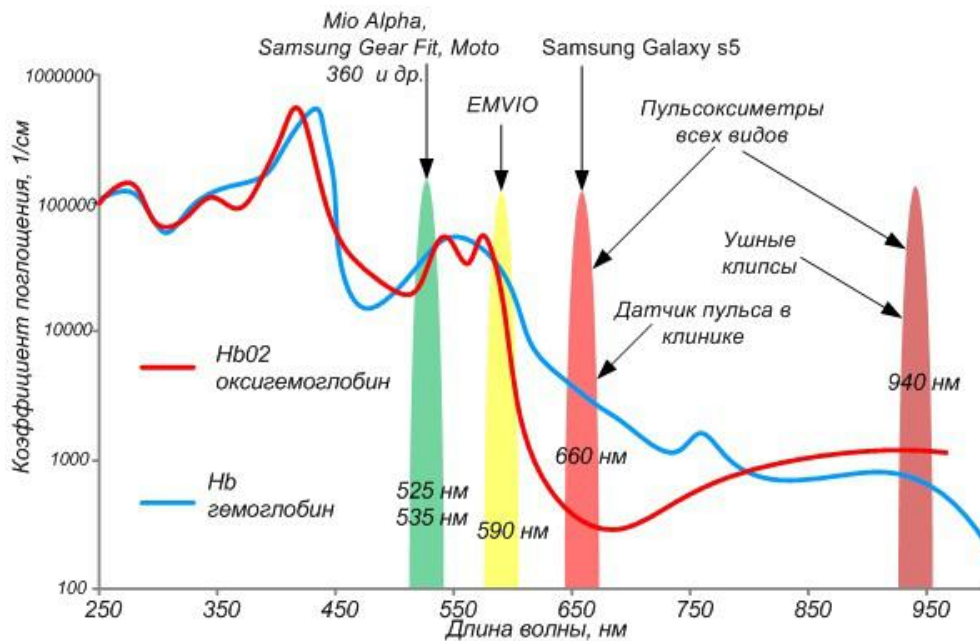


Рисунок 2.8 – Крива поглинання світла гемоглобіном і основні спектри випромінювання пульсових фотоплетизмографічних датчиків

Вибір довжини хвилі залежить від того, що потрібно вимірювати - пульс і/або сатурацію (насичення крові киснем,  $SO_2$ ). Для випадку вимірювання пульсу - важлива зона в діапазоні від 500 до 600 нм. Там максимальне поглинання. Як правило використовується значення 525 нм, що відповідає зеленому кольору. Значення 535 нм використано в датчику OSRAM SFH 7050. В режимі оксиметрії необхідно вимірювати пульс і оцінювати сатурацію крові киснем. Спосіб заснований на різниці в поглинанні пов'язаного (окси) і не пов'язаного з киснем гемоглобіну. Максимум поглинання деоксигенованого гемоглобіну (Hb) знаходиться в "червоному" (660 нм) діапазоні, максимум поглинання оксигенованого (HbO<sub>2</sub>) гемоглобіну в інфрачервоному (940 нм). Для обчислення пульсу використовується світло з довжиною хвилі 660 нм.

Звичайно, вимірювання можна проводити не тільки з зап'ястя. Є на ринку нестандартні варіанти вибору точки реєстрації пульсу. Наприклад, з чола. Такий підхід використаний в проекті розумного шолома для велосипедистів Life beam Smart helmet розробленого ізраїльською компанією Lifebeam. В цілому вибір точок реєстрації досить великий: зап'ясті, палець, мочка вуха, лоб, біцепс руки, кісточка і стопа ноги для малюків. Великим плюсом оптичного способу є простота реалізації на сучасних смартфонах, де в якості датчика використовується штатна відеокамера, а в якості випромінювача - світлодіод спалаху. У новому смартфоні Samsung Galaxy S5 на задній стінці корпусу для зручності користувача, вже є штатний модуль датчика пульсу, можливо і інші виробники будуть впроваджувати аналогічні рішення. Це може стати вирішальними для пристроїв, в яких немає безперервної реєстрації, смартфони вберуть в себе їх функціонал.

Подальший розвиток цього способу пов'язано з переосмисленням функціоналу оптичного датчика і технологічними можливостями сучасних пристроїв в плані обробки відеозображень у реальному часі. У підсумку маємо ідею вимірювання пульсу за відеозображенням особи. Підсвічуванням є природне освітлення. Це оригінальне рішення, з урахуванням того, що відеокамера є стандартним атрибутом будь-якого ноутбука, смартфона і навіть розумних годинників. Спочатку на кадрах виділяється фрагмента особи, потім

зображення розкладається на три канали кольору і розгортається по часовій шкалі (RGB trace). Виділення пульсової хвилі засноване на розкладанні зображення методом аналізу незалежних компонент (iCA) і виділення частотної складової, пов'язаної з модуляцією яскравості пікселів під дією пульсації крові. Лабораторія Philips innovation реалізувала аналогічний підхід у вигляді програми Vital Signs Camera для iPhone. Усереднення значень звичайно велике, але принципово метод працює. Аналогічний проект розвиває Fujitsu Laboratories.

**Вимірювання пульсу на основі сфїгмографії.** Цей спосіб відомий всім без винятку, просто не всі знають, що він так називається. Спосіб сфїгмографії реалізує реєстрацію артеріального пульсу по деформації стінки судини артерії. У підсумку виходить крива аналогічна плетизмографії. Реєстрацію пульсу потрібно проводити в місцях, де артерії підходять близько до поверхні шкіри, наприклад з тильного боку зап'ястя або вище ліктя, де променева артерія йде одним стволем. Биття стінки артерії дуже мале, тому для посилення сигналу в кінці XIX століття був винайдений оригінальний спосіб: перетискання артерії до рівня, коли артерія ще пропускає кровотік, але створює перешкоду ударної хвилі крові. В цьому випадку виникали сильні пульсації, які можна фіксувати механічними засобами. В цілому процеси, які відбуваються в судинах артерії при її перетискання, досить складні. Вивчення цих питань актуально, якщо ви хочете вимірювати тиск. Коли потрібен тільки пульс, то схему реєстрації можна спростити: прибрати манжету, акустичний датчик (мікрофон) або звичайний стетоскоп замінити механічним датчиком - п'єзоелементом. Цей елемент працює в режимі прямого п'єзоелектричного ефекту (деформація -> поляризація) і здатний реєструвати деформації на рівні мікрометрів.

Ідея способу на основі п'єзоелемента добре розкрита в патенті Wrist plethysmograph US20070287923A1. На датчик працює вся конструкція пристрою - ремінець забезпечує розтяжне зусилля на краях п'єзодатчика і виконує роль своєрідної манжети, корпус надає необхідну жорсткість. На зображенні показана схема пристрою (рис 2.9).

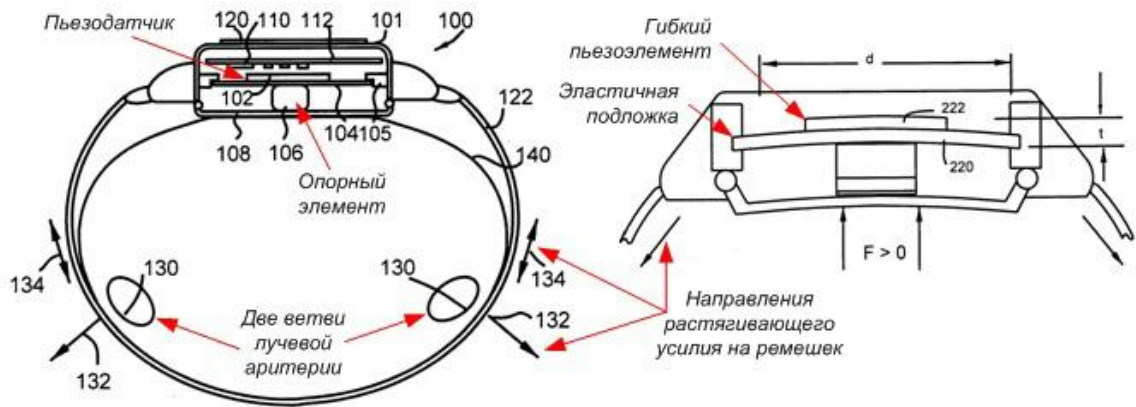


Рисунок 2.9 – Вимірювач пульсу на основі п'єзоелементу

Обчислення пульсу за сфігмограмою таке ж, як в плетизмографії, так як одержувані пульсові криві практично ідентичні.

**Гнучкі датчики.** Є концепти і наукові дослідження щодо застосування подібних датчиків. Ось приклад реалізації ультратонкого гнучкого датчика на основі золотих нанотрубок. При вигині поверхні датчика виникає зміна струму. Цієї зміни досить, щоб фіксувати динамічну складову тиску. Датчик фіксується на шкірі в районі зап'ястя і реєструє пульсові хвилі. Дослідження датчика показало, що на амплітуду сигналу впливає рівень поточного звукового фону, наприклад голос і музика, що цілком очікувано.

**Вимірювання пульсу на основі біорадіолокаторів.** Використовується класична технологія радіолокації на основі надширокопasmових (Ultra-Wide Band) сигналів. Випромінюється сигнал, він відбивається від внутрішніх органів, грудної клітки і серця, відповідно час прибуття (time-of-flight) відбитого сигналу буде залежати від відстані до антени та рухів грудної клітки і серця (рис. 2.10).

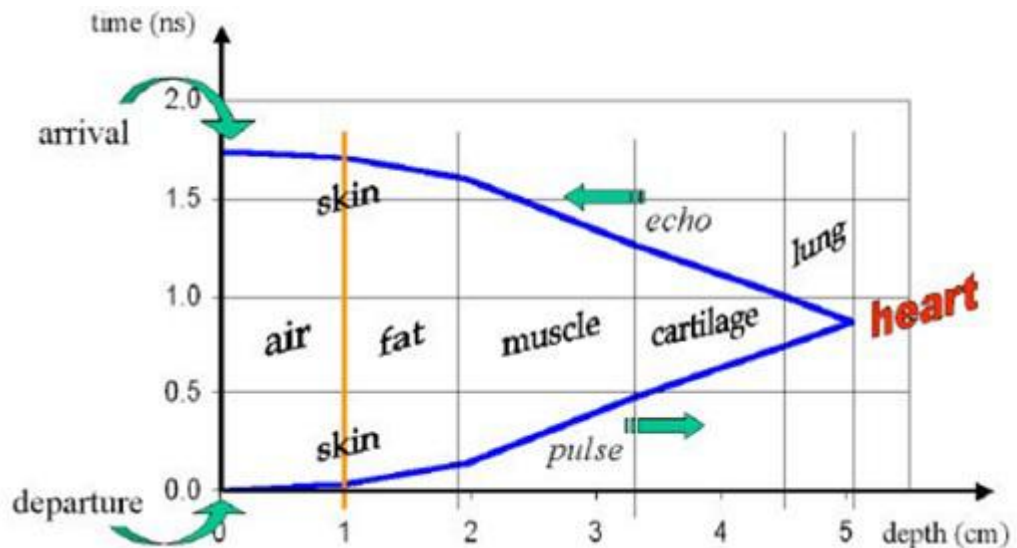


Рисунок 2.10 - Модель формування часових характеристик відбитого UWB сигналу в грудній клітці

Аналізуючи низькочастотну періодичну модуляцію затримки можна виділити дихальну і пульсову складову. Сигнал формується за першої похідною функції Гауса. Вид сигналу і його спектральна щільність потужності показані на рис.2.11.

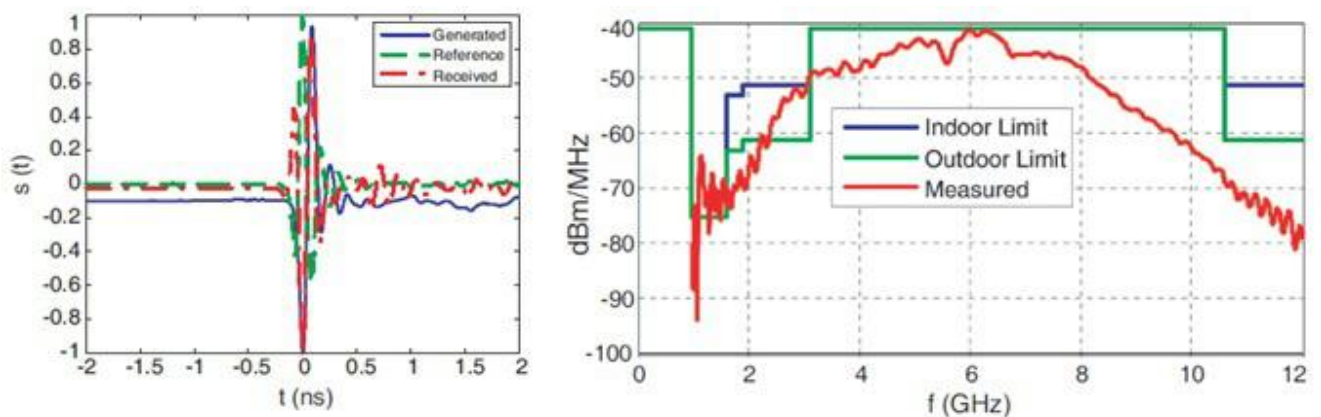


Рисунок 2.11 - UWB сигнал і його спектральний діапазон

Один з перших патентів на такий пристрій датований 1996 роком. Автор Thomas E. McEwan US 5573012 A Body monitoring and imaging apparatus and method. Зараз ця тема вельми популярна, з урахуванням того, що сам по собі

діапазон UWB дуже перспективний для передачі даних на гігабітний швидкостях (надширокосмуговий зв'язок) і на ринку з'явилися недорогі радіопередавальні модулі.

## 2.2 Розробка мікроконтролерного пристрою системи збору даних

На рисунку 2.12 наведена структурна схема.

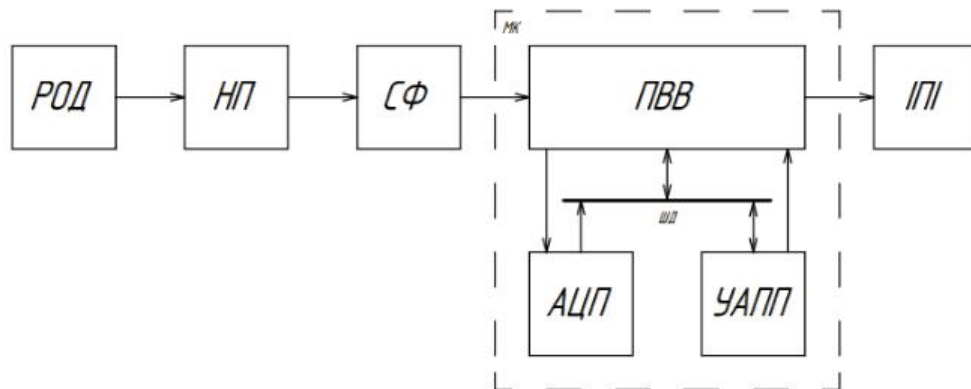


Рисунок 2.12 – Структурна схема системи

В склад пристрою входять такі блоки:

- рефлективний оптичний датчик,
- нормуючий пристрій,
- смуговий фільтр,
- мікроконтролер,
- порти вводу-виводу,
- аналогово-цифровий перетворювач,
- універсальний асинхронний приймач-передавач,
- інтерфейс до пристрою індикації

Рефлективний оптичний датчик є джерелом сигналу у вигляді струму. Для нормування сигналу до рівня, який сприймає аналогово-цифровий перетворювач, у схемі встановлений нормуючий перетворювач. Оскільки досліджуваний сигнал – змінний і знаходиться у чітко визначеному діапазоні, то у схемі встановлений смуговий фільтр для покращення характеристик вимірюваного сигналу.

Для вимірювання і оцифрування сигналу використовується мікроконтролер. Також мікроконтролер виконує функцію передачі сигналу до пристрою індикації і обробки. На основі структурної схеми розроблена функційна схема системи (рис. 2.13).

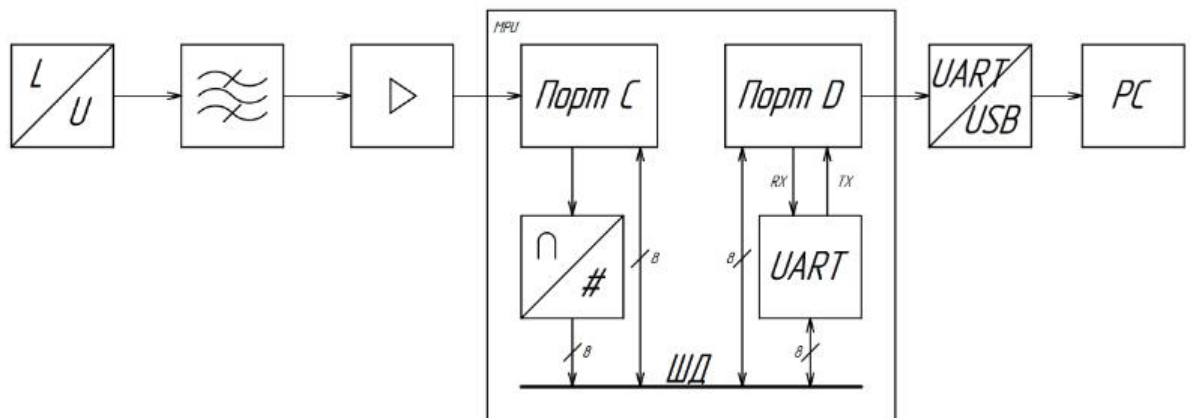


Рисунок 2.13 – Функційна схема системи

Пристрій виконує вимірювання і передачу послідовного у часі сигналу пульсу людини. Сигнал від оптичного датчика проходить через смуговий фільтр, що зменшує завади, та через підсилювач, що нормує сигнал для подальшого сприймання аналогово-цифровим перетворювачем, що є частиною мікроконтролера Atmega328P.

На основі функційної схеми розроблена принципова схема (рис. 2.14),

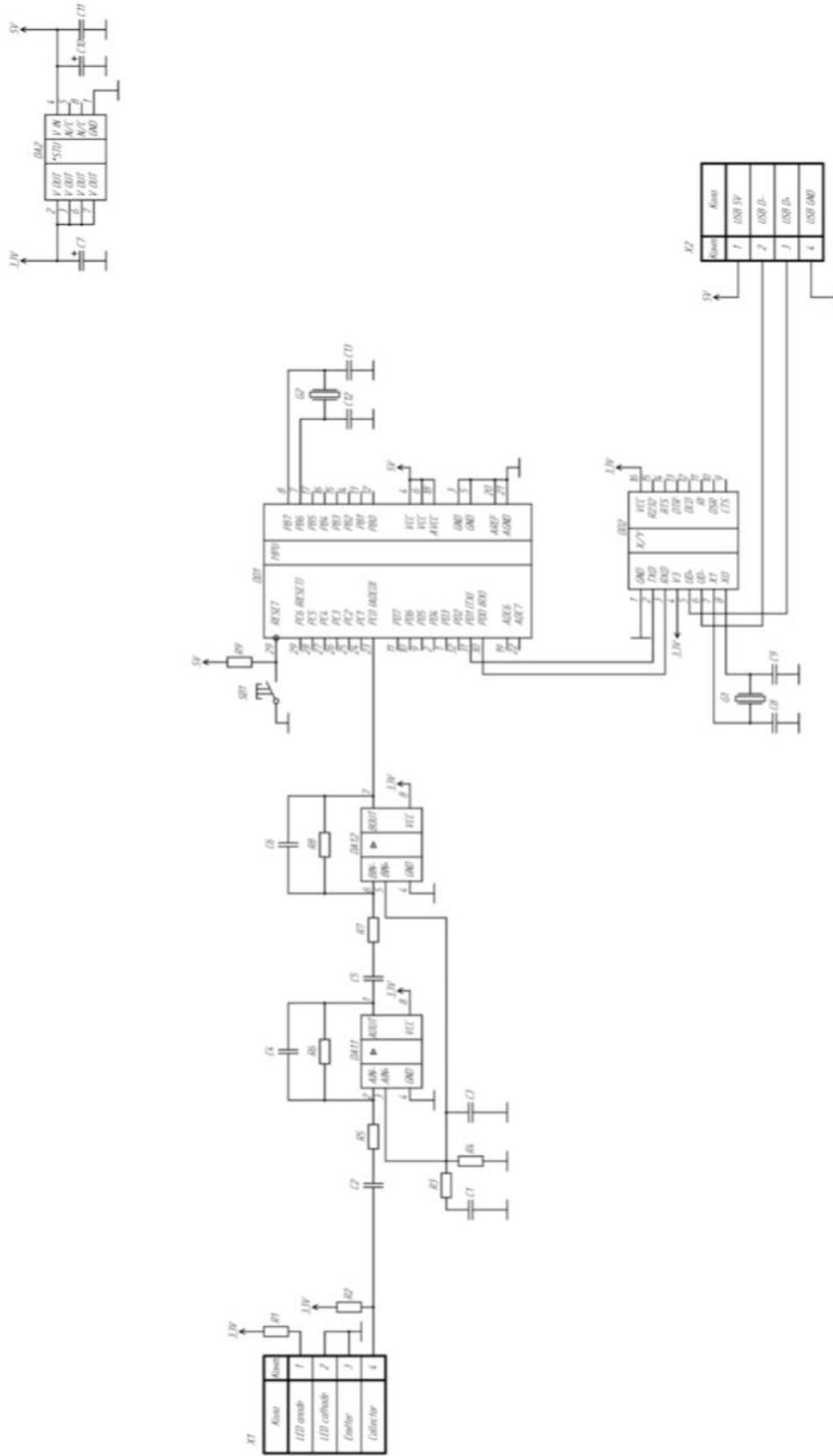
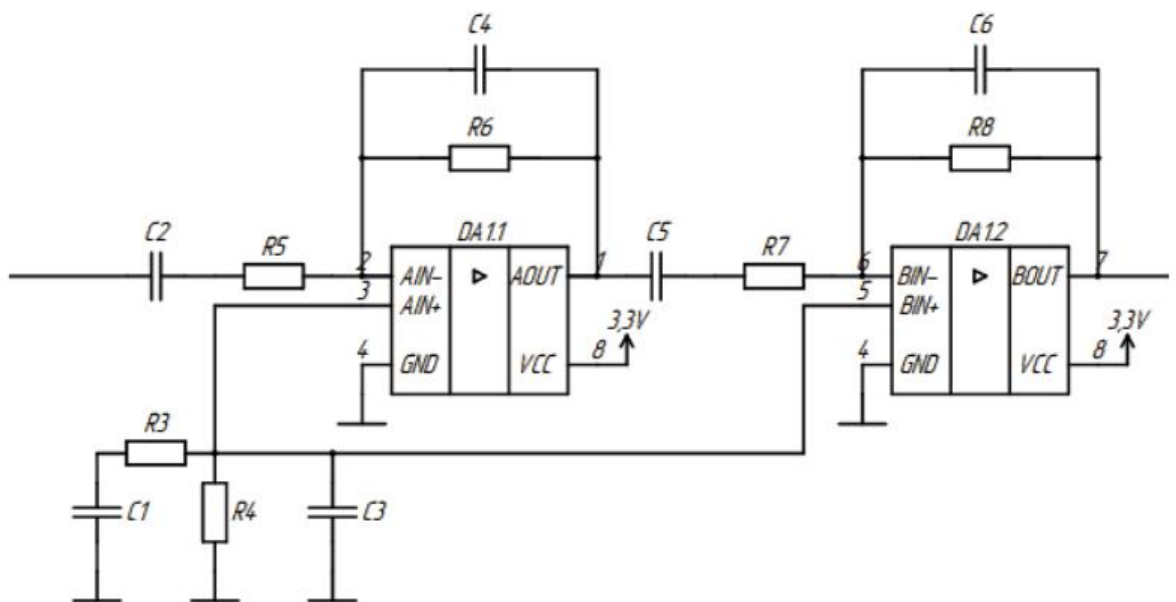


Рисунок 2.14 — Принципова схема системи збору даних

Вхідний сигнал у вигляді струму перетворюється у напругу резистором. Напруга після нормування та фільтрування схемою на операційних підсилювачах надходить до аналогово-цифрового перетворювача, що є частиною мікроконтролера. Мікроконтролер перетворює дані з аналогово-цифрового перетворювача у необхідну форму та надсилає їх послідовним сигналом до мікросхеми CH430G, яка перетворює послідовний UART сигналу такий, який може сприймати комп'ютер через USB порт.

Важливою частиною схеми є нормуючий перетворювач (рис. 2.14).



2.15 - Схема нормуючого перетворювача

### 2.2.1 Мікроконтролер

Для збору вимірювальних даних від первинного датчика та передачі їх на обчислювальний пристрій розроблена мікропроцесорна система на основі однокристального мікроконтролера ATmega328P.

В демонстраційній системі в якості обчислювального пристрою використовується персональний комп'ютер з підтримкою мови програмування Python 3. Для отримання первинних даних розроблене програмне забезпечення для роботи з COM-портом.

Одним зі складових системи є мікропроцесорний модуль на основі процесора ATmega328P - Arduino Uno (Рисунок 2.16). Він має 14 цифрових каналів вводу / виводу (з яких 6 можна використовувати як вихід ШІМ), 6 аналогових входів та кварцовий кристал 16 МГц.

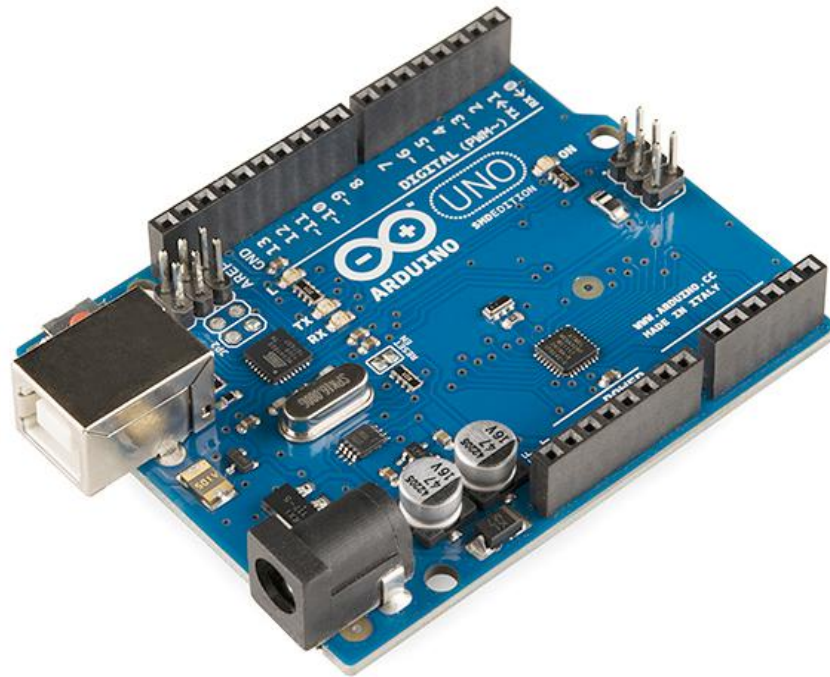


Рисунок 2.16 - Зовнішній вигляд модуля Arduino Uno

У Arduino Uno є ряд засобів для спілкування з комп'ютером, іншою платою Arduino або іншими мікроконтролерами. ATmega328 забезпечує послідовний зв'язок UART TTL (5V), який доступний на цифрових контактах 0 (RX) та 1 (TX). ATmega16U2 на платі перетворює послідовний сигнал через USB і відображається як віртуальний порт на комп'ютері.

Прошивка 16U2 використовує стандартні драйвери USB COM, і зовнішній драйвер не потрібен. Програмне забезпечення Arduino (iDE) включає послідовний монітор, який дозволяє надсилати прості текстові дані до та з плати. Світлодіоди RX і TX на платі будуть блимати, коли дані передаються через USB-послідовний чіп та USB-з'єднання до комп'ютера.



Uno відрізняється від усіх попередніх плат тим, що в ньому не використовується мікросхема FTDi. Натомість Uno має всередині контролер ATmega16U2, запрограмований як серійний USB порт. Цей допоміжний мікроконтролер має власний завантажувач, що дозволяє досвідченим користувачам його перепрограмувати.

Замість того, щоб вимагати фізичного натискання кнопки скидання перед завантаженням, плата Arduino Uno розроблена таким чином, що дозволяє перезавантажити її за допомогою програмного забезпечення, що працює на підключеному комп'ютері. Одна з апаратних ліній керування потоком ATmega16U2 підключена до лінії скидання ATmega328 через 100 нанофарадний конденсатор. Коли ця лінія перемикається на землю, мікросхема перезавантажується.

Це схемне рішення має інші наслідки. Коли Uno підключено до комп'ютера, на якому працює Mac OS X або Linux, він скидається кожен раз, коли з'єднання з ним здійснюється за допомогою програмного забезпечення (через USB). Наступні півсекунди або близько цього завантажувач працює на Uno. Хоча він запрограмований на ігнорування неправильно сформованих даних (тобто нічого, крім завантаження нового коду), він перехопить перші кілька байтів даних, що надсилаються на плату після відкриття з'єднання.

В Arduino Uno встановлені запобіжники, що захищають порти комунікації від перевантажень та можливих пошкоджень. Коли від USB-порту надходить струм більше ніж 500 мА, запобіжник спрацьовує і вимикає систему.

### 2.2.2 Первинний давач

У якості давача використовується рефлективний оптичний датчик TCRT1000 (рис. 2.18)



Рисунок 2.18 – Рефлективний оптичний датчик Vishay TCRT1000

Датчик TCRT1000 має такі особливості:

- фільтр денного світла,
- невеликий розмір (7/4/2,5 мм),
- довжина хвилі світлодіода – 950 нм,
- коефіцієнт передачі фототранзистора по струму – 1, для зручності розрахунків,
- максимальна напруга живлення фототранзистора – 32 В.

Такий рефлективний оптичний датчик складається з двох елементів, світлодіода та фототранзистора, розташованих у корпусі певним чином, щоб світловий сигнал міг виходити назовні, відбиватись (або поглинатись) від об'єкту вимірювання та повертатись назад, впливаючи своїм рівнем на роботу фототранзистора. На рисунку 2.19 схематично зображено такий рефлективний оптичний датчик.

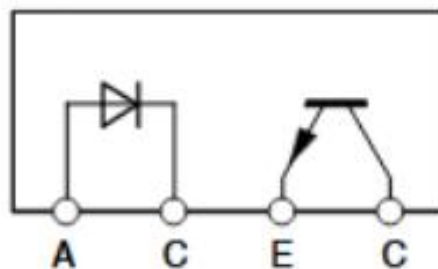


Рисунок 2.19 – Схематичне зображення рефлективного оптичного датчика Vishay TCRT1000

## 3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЛЮДИНИ

### 3.1 Огляд методів оптимізації

Як відомо, існує багато методів оптимізації. Найбільш застосовуваними є методи нормування, зокрема використання норми другого порядку або середньоквадратичного відхилення:

$$\|x\|_2 = \sqrt{\sum_i (x_i^2)} \quad (3.1)$$

Норма другого порядку зручна тим, що вона легко обчислюється, легко диференціюється і має інтуїтивну привабливість (наприклад, норма вектора - її довжина). На норму другого порядку покладається багато відомих алгоритмів і методів, зокрема оптимізація з використанням методу найменших квадратів.

Однак, норма другого порядку не підходить для будь-якого застосування. Інші норми також мають багато цікавих і корисних властивостей. Розглянемо норму першого порядку (3.2):

$$\|x\|_1 = \sum_i |x_i| \quad (3.2)$$

Замість того, щоб підносити кожен елемент до квадрату, норма першого порядку просто обчислює його абсолютне значення. Хоча використання абсолютного значення не зовсім зручно через те, що похідна від такого значення матиме розриви, воно має деякі унікальні властивості порівняно з піднесенням до квадрату, яке відбувається в нормі другого порядку. Стиснені вимірювання використовують ці властивості для досягнення бажаного результату [6, 7].

Для перевірки придатності норм першого та другого порядку була розроблена програма мовою програмування Python.

Спочатку імпортуються необхідні модулі – matplotlib, scipy та cvxpy

```
import numpy as np
import matplotlib as mpl
import matplotlib.pyplot as plt
import scipy.optimize as spopt
import scipy.fftpack as spfft
import scipy.ndimage as spimg
import cvxpy as cvx
```

Створимо довільні лінійні дані, які включають в себе шум. Для цього скористаємось рівнянням (3.3):

$$y = \frac{1}{5}x + 3 + e \quad (3.3)$$

де  $e$  – шум з нормальним розподілом та СКВ 0.1.

```
x = np.sort(np.random.uniform(0, 10, 15))
y = 3 + 0.2 * x + 0.1 * np.random.randn(len(x))
```

Спробуємо апроксимувати згенеровану вибірку двома методами нормування – першого та другого порядку:

```
# Норма першого порядку
l1_fit = lambda x0, x, y:
    np.sum(np.abs(x0[0] * x + x0[1] - y))
xopt1 = spopt.fmin(func=l1_fit, x0=[1, 1], args=(x, y))

# Норма другого порядку
l2_fit = lambda x0, x, y:
    np.sum(np.power(x0[0] * x + x0[1] - y, 2))
```

```
xopt2 = spopt.fmin(func=l2_fit, x0=[1, 1], args=(x, y))
```

Побудований графік двох апроксимацій зображено на рисунку 3.1:

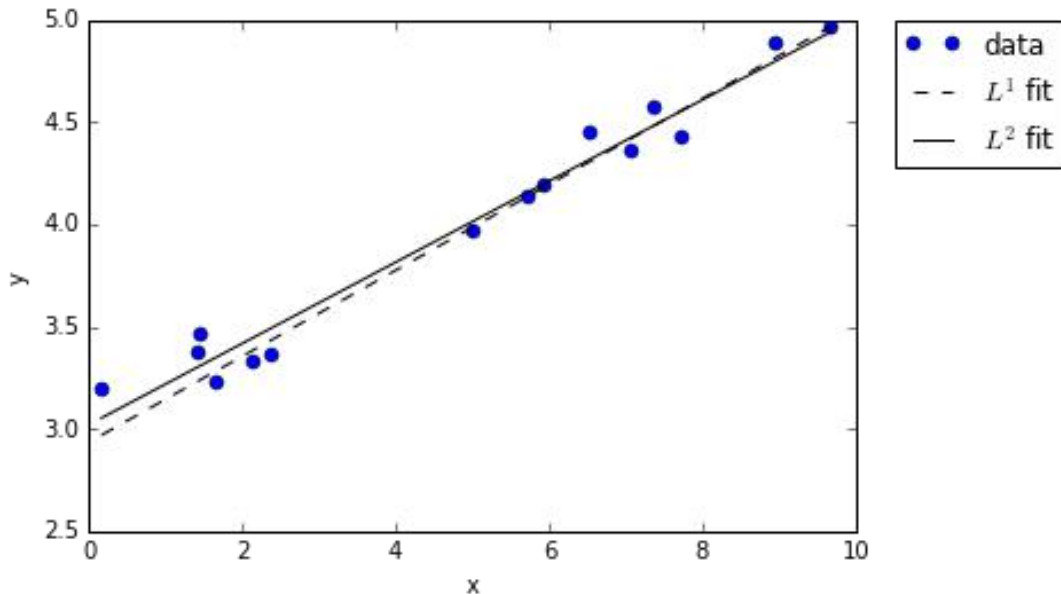


Рисунок 3.1 – Апроксимована лінійна залежність з нормальним шумом

Обидві лінії, хоч і не співпадають, але доволі добре апроксимують початкову вибірку, враховуючи, що в ній наявний шум.

Для симулювання реальних даних додамо точок, що сильно вибиваються з початкової вибірки:

```
y2 = y.copy()
y2[3] += 4
y2[13] -= 3
```

Та обрахуємо нові коефіцієнти апроксимованих прямих (рисунок 3.2):

```
xopt12 = spopt.fmin(func=l1_fit, x0=[1, 1], args=(x, y2))
xopt22 = spopt.fmin(func=l2_fit, x0=[1, 1], args=(x, y2))
```

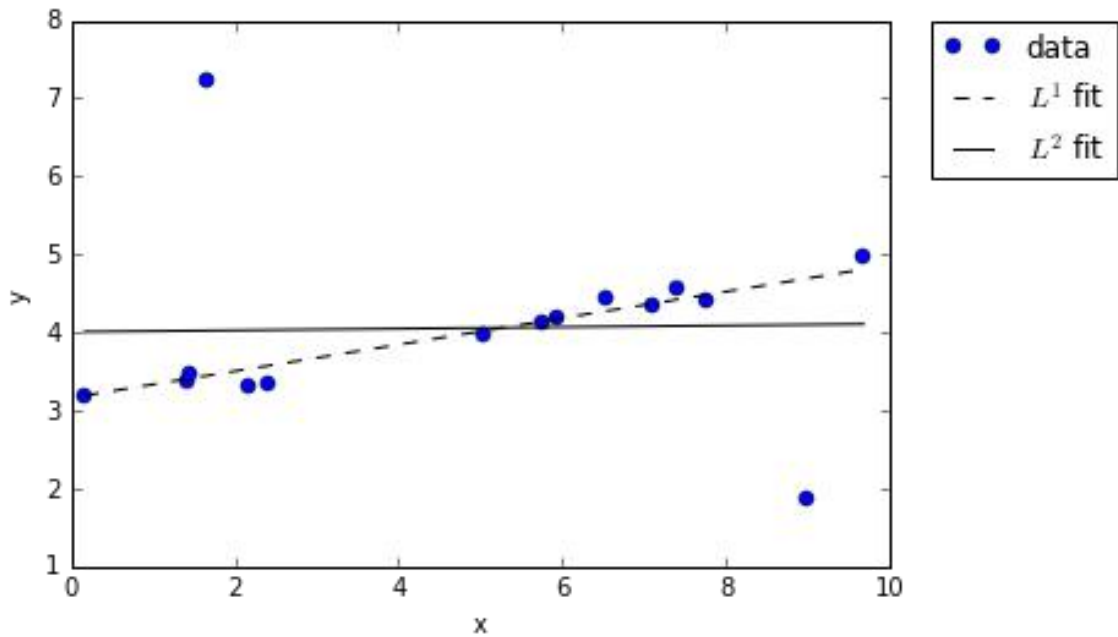


Рисунок 3.2 – Апроксимація даних з великими відхиленнями

Після перебудови графіків апроксимацій можна побачити, що апроксимація з нормою першого порядку має свій попередній вигляд, а норма другого порядку виявилась спотвореною. Це відбувається через те, що норма другого порядку підносить викиди до квадрату, що робить їх набагато більш значущими і скошує вихідний результат в сторону більших викидів.

Однак, при використанні норми першого порядку, викиди вносять не більше спотворень, ніж їх зміщення. У результаті виходить більш точна апроксимація, яка більше відповідає інтуїтивному уявленню про те, яку форму має така вибірка. Саме ця властивість використовується у стиснених вимірюваннях.

Для перевірки гіпотези про можливість застосування норми першого порядку відтворено сигнал з двох синусоїд (рис. 3.3):

```
n = 5000
t = np.linspace(0, 1/8, n)
# Сума двох синусоїд
y = np.sin(1394 * np.pi * t) + np.sin(3266 * np.pi * t)
yt = spfft.dct(y, norm='ortho')
```

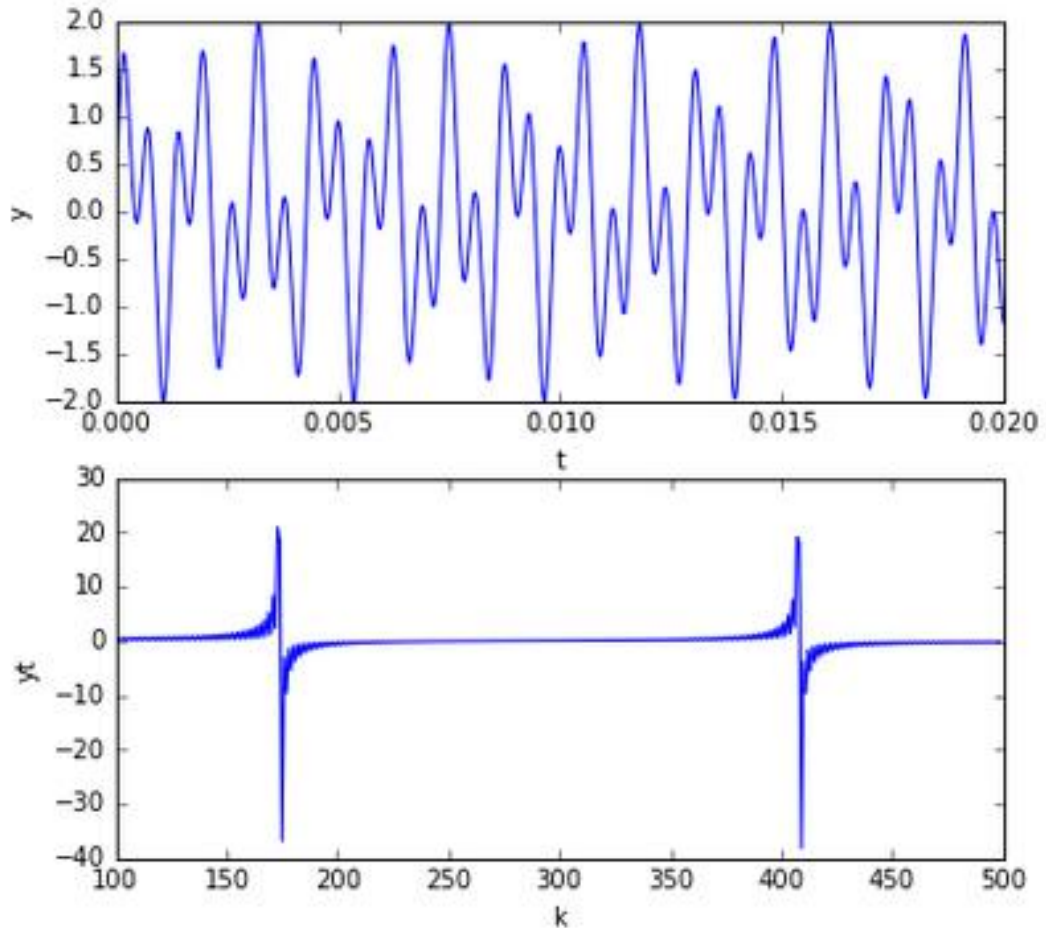


Рисунок 3.3 – Сума двох синусоїд та їх спектр у розрядженій області представлення

На наведених графіках представлений сигнал, що складається з двох синусоїд та спектр цього сигналу, отриманий за допомогою перетворення Фур'є. Важливо зауважити, що у відображенні цього сигналу у частотній області більшість точок близькі до нуля.

Побудуємо вибірку, що складається з 10% випадкових точок оригінальної вибірки (рисунок 3.4). На виході отримуємо набір даних, у якому неозброєним оком неможливо розібрати чітку структуру.

```
m = n * 0.1 # 10%
ri = np.random.choice(n, m, replace=False)
ri.sort()
t2 = t[ri]
y2 = y[ri]
```

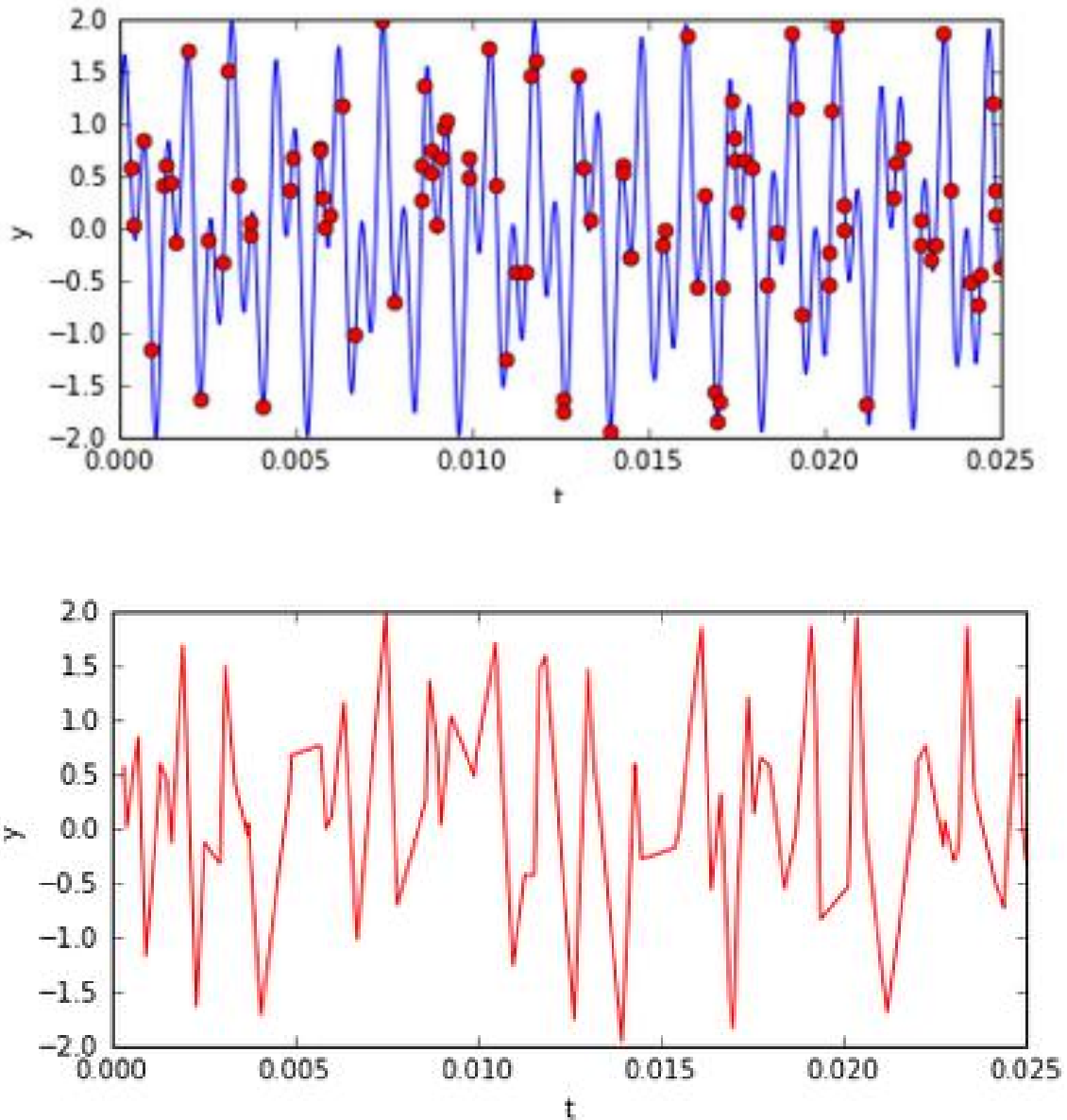


Рисунок 3.4 – Вибірка з 10% точок оригінального сигналу

Використання стисненого вимірювання у цьому контексті є можливим завдяки тому, що зображення сигналу у частотній області є дуже розрідженим. На цьому етапі стає очевидним необхідність застосування мінімізації з нормою першого порядку – адже шуканий сигнал має майже лінійний вигляд у частотній області, за винятком двох викидів, які вказують на дійсну форму шуканого сигналу.

Іншими словами, процедура мінімізації використовується щоб знайти набір частот, що задовольняють двом умовам:

а) базовий сигнал точно збігається (або знаходиться якомога ближче) до вхідних даних;

б) норма першого порядку частотного зображення є найменшою.

Такий підхід дасть на виході розріджене рішення [6-8].

У мові програмування Python є кілька способів відтворення такого алгоритму. Одним з них є використання бібліотеки опуклої оптимізації CVXPY. Наведений нижче код мінімізує норму частот сигналу та при цьому дотримується умови, що відтворений сигнал знайденого рішення повинен точно відповідати неповній вибірці.

Для відображення у частотній області створюється матриця дискретних косинусів:

```
A = spfft.idct(np.identity(n), norm='ortho', axis=0)
A = A[ri]
```

Задаємо умови оптимізації:

```
vx = cvx.Variable(n)
objective = cvx.Minimize(cvx.norm(vx, 1))
constraints = [A*vx == y2]
```

Знаходимо рішення згідно до заданих умов:

```
prob = cvx.Problem(objective, constraints)
result = prob.solve(verbose=True)
```

Щоб виконати мінімізацію, необхідно представити задачу у вигляді лінійної системи рівнянь:

$$Ax = b \quad (3.4)$$

де  $A$  – матриця перетворення,

$b$  – випадкова вибірка з оригінального сигналу

$x$  – шуканий сигнал

Шукане рішення  $x$  існує у частотній області, тоді як відомі дані  $b$  існують у часовій області. Матриця  $A$  виконує як вибірку, так і перетворення від частотної у часову область.

Після побудови матриці  $A$  і мінімізації ми можемо реконструювати сигнал, перетворивши рішення з частотної області назад у часову.

```
.
x = np.array(vx.value)
x = np.squeeze(x)
sig = spfft.idct(x, norm='ortho', axis=0)
```

На рисунках 3.5 та 3.6 для порівняння зображені оригінальний сигнал та відтворений за допомогою стисненого вимірювання.

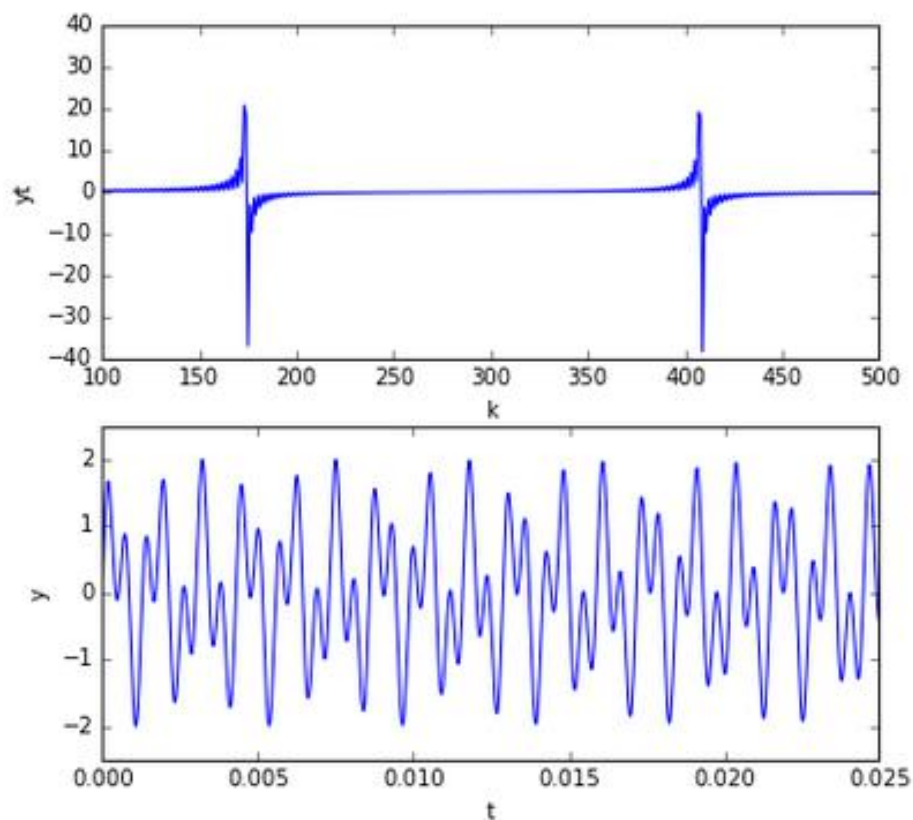


Рисунок 3.5 – Оригінальний сигнал

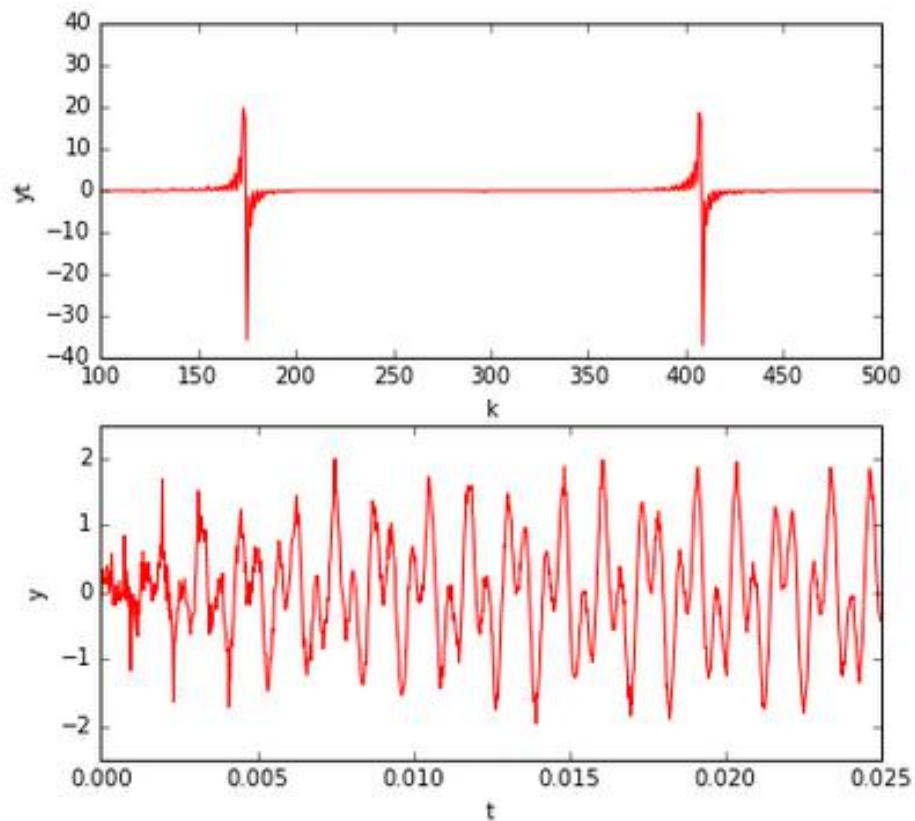


Рисунок 3.6 – Відтворений сигнал

### 3.2 Відтворення сигналу

Для відтворення сигналу було розроблене програмне забезпечення на мові програмування Python 3 з використанням бібліотеки NumPy.

Програма починається з блоку, в якому імпортуються необхідні бібліотеки:

```
import sys
import os
import numpy as np
from pyCSalgos.BP.l1eq_pd import l1eq_pd
import matplotlib as mpl
import matplotlib.pyplot as plt
try:
    mpl.style.use( 'seaborn-talk' )
except Exception as e:
```

```

pass

mpl.rcParams['axes.linewidth'] = 0.1
plt.rc('text', usetex=True)
plt.rc('font', family='serif')

import pygplots

```

Встановлюються глобальні константи:

```

N = 500
s = 0.05

```

Розраховується кількість необхідних вимірювань:

```

K = int( 5 * s * N )

```

Хоча теоретичний мінімум складає  $2sN$  точок ( $s$  -- відносна розрідженість сигналу), але найкращі результати показують значення  $(3..5)sN$ .

Описується функція для обчислення випадкового розрідженого сигналу розміру  $n$ :

```

def sparse_signal( n, sparsity ):
    x = np.zeros( n )
    xi = np.random.randint(0, n+1, int( sparsity * n ) )
    x[ xi ] = 1
    np.savetxt( "_signal.dat", x )
    return x

```

Отримуються значення вимірюваного сигналу:

```

def obtain_measurements( x, k, err = 0 ):
    global title_
    # Make boolean matrix for measurement. it represents the
Mask used in
    # imaging.

```

```

# A = np.random.randn( k, N )
A = np.random.randint(0, 2, (k, N) )
np.savetxt( "_measurement_matrix.dat", A )
x1 = x + err
y = np.dot( A, x1 )
np.savetxt( "_measurements.dat", y )
pyplot.subplots_standalone( (np.arange(0, len(y), 1), y)
    , outfile = 'figure_measurements.tex'
    , title = 'Measured signal'
    , every = 10
    , label = r'\bf a.'
    , axis_attribs = 'smooth,no marks'
    , width = '8cm', height = '4cm'
    )
return A, y

```

Головний цикл починається з налаштування середовища відображення:

```

def main( ):
    global title_
    gridSize = (2, 2)

    ax1 = plt.subplot2grid(
        gridSize, (0,0), colspan=1)
    ax2 = plt.subplot2grid(
        gridSize, (0,1), colspan=1)
    ax3 = plt.subplot2grid(
        gridSize, (1,0), colspan=1)
    ax4 = plt.subplot2grid(
        gridSize, (1,1), colspan=1)

```

Генерується досліджуваний розріджений сигнал:

```

x = sparse_signal( N, s )
ax1.plot( x )

```

```
ax1.set_title( 'x' )
```

Виконується стиснене вимірювання та будується графік:

```
mean, var = 1e-2, 1e-3
title_ += 'Error=normal(%.3f,%.3f)' % (mean,var )
err = np.abs( np.random.normal( mean, var ) )
A, y = obtain_random_measurements( x, K, err = err )
fig = ax2.imshow( A, aspect = 'auto', interpolation = 'none' )
ax2.set_title( 'A (measurement matrix)' )
plt.colorbar( fig, ax = ax2 )

ax3.plot( y )
ax3.set_title( 'measurements' )
ax3.legend(loc='best', framealpha=0.4)
```

Виконується відтворення сигналу та його відображення на дисплей:

```
x0 = np.dot( A.T, y )
pypgfplots.standalone( matrix = A
    , every = 10
    , title = 'Measurement matrix'
    , xlabel = 'index', ylabel = 'index'
    , outfile = 'figure_measurements.tex'
    )

x0 = np.dot( A.T, y )
res = l1eq_pd( x0, A, [ ], y )
```

### 3.3 Обробка сигналу за допомогою технології функціонального реактивного програмування

Функціональне реактивне програмування - це парадигма реактивного програмування яка використовує звичайні складові блоки функціонального програмування (наприклад `map` (зображення), `reduce` (згортка), `filter` (фільтрація)). Функціональне реактивне програмування часто використовується для програмування графічних інтерфейсів, робототехніки, ігор, музики та обробки сигналів.

Розрізняють два види функціонального реактивного програмування: безперервне та дискретне. Перші теоретичні роботи з формулювання функціонального реактивного програмування використовували безперервну модель, прагнучи абстрагуватися над багатьма оперативними деталями, не важливими для значення програми. Основними властивостями цього підходу є:

- моделювання значень, які змінюються протягом тривалого часу, називаються "поведінками" або "сигналами";
- моделювання "подій", які мають місце в окремі моменти часу;
- система може змінювати свій стан у відповідь на події, загалом називається "перемикання";
- відокремлення деталей відбору сигналів, таких як швидкість вибірки від реактивної моделі.

Частіше використовують дискретне функціональне реактивне програмування через те, що неможливо моделювати дійсно безперервні сигнали на сучасних дискретних обчислювальних машинах.

Загалом функціональне реактивне програмування використовується для опису гібридних систем для обробки даних, що змінюються з часом. Функціональне реактивне програмування будується навколо поняття "сигналу", який концептуально може розглядатися як функція від часу до значень певного типу (3.5).

$$\text{Signal}\langle\text{Value}\rangle = \text{Time} \rightarrow \text{Value}$$

Час є неперервною величиною і представляється як позитивне дійсне число. Параметр типу *Value* вказує тип значень, передаваних сигналом. Наприклад, модель анімованого зображення можна представити як сигнал із статичних зображень у часі для певного типу зображення. Сигнали також можуть представляти вхідні дані, наприклад, положення миші на екрані.

Існують додаткові обмеження, які необхідні для можливості виконання ідеального математичного функціонального реактивного програмування на реальних обчислювальних пристроях. По-перше, необхідно обмежити вікно історії кожного сигналу, щоб уникнути переповнення оперативної пам'яті. По-друге, від сигналів вимагається дотримання причинно-наслідкових зв'язків: сигнали не можуть залежати від інших сигналів у майбутньому часі. Існує багато бібліотек для функціонального реактивного програмування для багатьох мов програмування, які вирішують ці проблеми, обмежуючи можливість вибірки сигналів у довільні моменти часу.

Область бібліотек для функціонального реактивного програмування можна розділити на дві основні частини, а саме: класичне функціональне реактивне програмування та стрілочне функціональне реактивне програмування. Класичне базується навколо сигналів або подібних понять, що представляють внутрішні та зовнішні дані, що змінюються з часом. На противагу, стрілочне визначається за допомогою причинно-наслідкових функцій між сигналами або сигнальними функціями, підключеними до зовнішнього світу лише на верхньому рівні. Стрілочне функціональне реактивне програмування дає на виході модульний, декларативний та ефективний код. Це покращує можливості для відладки та тестування, оскільки такі програми можна запускати кілька разів із забезпеченням одних і тих же входів, і вони забезпечуватимуть однакові результати.

Функціональне реактивне програмування базується на двох поняттях: сигнали та сигнальні функції. Сигнал, - це функція від часу до значень певного типу, тоді як сигнальна функція - це функція від сигналу до сигналу (3.6):

$$SF\langle A, B \rangle = \text{Signal}\langle A \rangle \rightarrow \text{Signal}\langle B \rangle \quad (3.6)$$

### 3.3.1 Основні операції

Злиття. Операція злиття використовується для поєднання двох потоків одного типу у один (рис. 3.7).

$$\text{merge}\langle V \rangle = \text{Signal}\langle V \rangle, \text{Signal}\langle V \rangle \rightarrow \text{Signal}\langle V \rangle \quad (3.7)$$

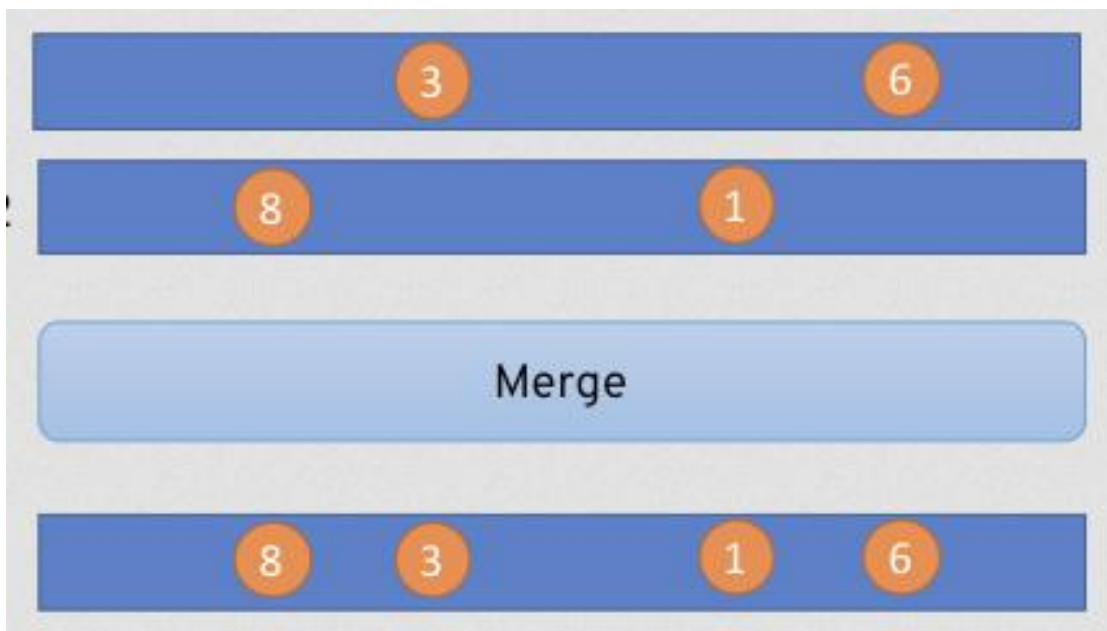


Рисунок 3.7 - Операція злиття двох потоків

Фільтрування. Операція фільтрування використовується для відкидання непотрібних значень з потоку. Така операція отримує функцію фільтрування та повертає новий потік, значення якого відфільтровані за допомогою цієї функції (рис.3.8):

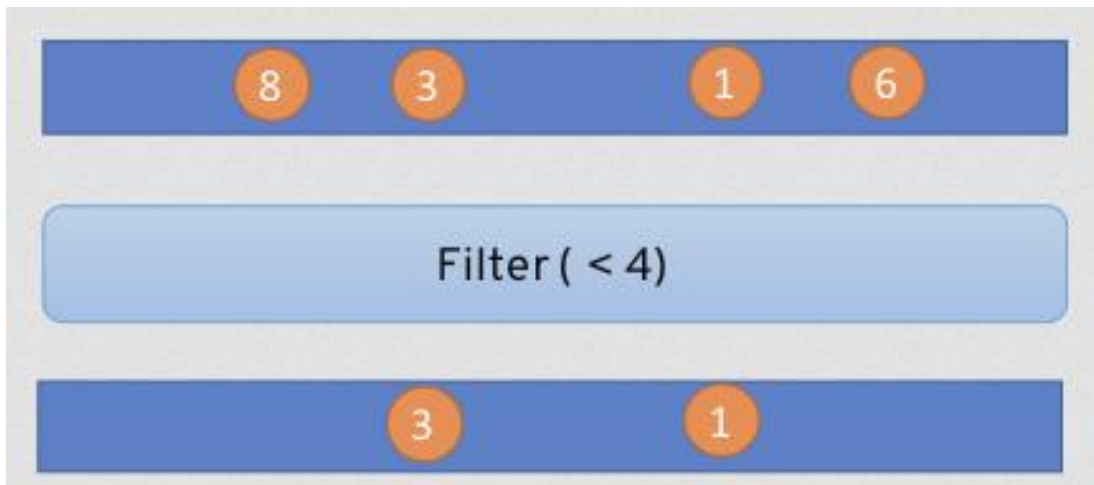
$$\text{filter}\langle V \rangle = \text{Signal}\langle V \rangle, \text{Filterer}\langle V \rangle \rightarrow \text{Signal}\langle V \rangle$$


Рисунок 3.8 - Операція фільтрування потоку

Відображення. Операція відображення використовується для перетворення потоку/сигналу одного типу у потік/сигнал іншого типу за допомогою функції перетворення (рис. 3.9).

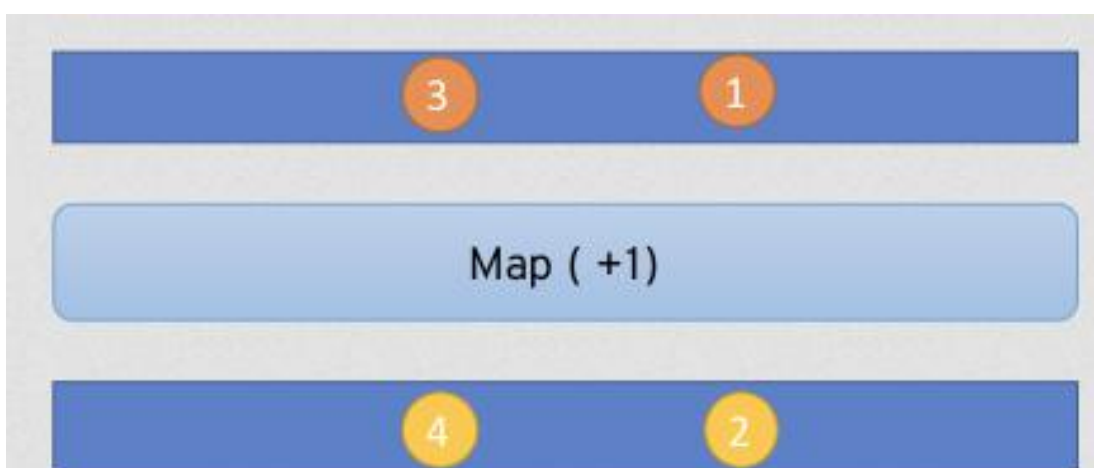
$$\text{map}\langle V1 \rangle = \text{Signal}\langle V1 \rangle, \text{Mapping}\langle V1, V2 \rangle \rightarrow \text{Signal}\langle V2 \rangle \quad (3.9)$$


Рисунок 3.9 - Операція перетворення потоку

### 3.3.2 Розробка програмного забезпечення системи збору даних на основі технології реактивного програмування

Імпортується бібліотека для функціонального реактивного програмування BaconJS:

```
import * as Bacon from 'baconjs'
```

Оголошується допоміжна функція для згладжування сигналів у часі:

```
const smooth =  
  (r: number) =>  
    (a: number, b: number) =>  
      (a * r + b * (1 - r))
```

Задається частота вибірки:

```
const sampleRate = 10
```

Створюється потік поточних значень часу:

```
const time = Bacon.interval((1 / sampleRate) * 1000, null)  
  .map(() => Date.now() / 1000)
```

Значення аналізованої вибірки представляється як потік значень, залежних від потоку значень поточного часу:

```
const measurements = time.map(  
  (time) => {  
    // ...  
  })
```

```
t => Math.sin((110 / 60) * 2 * Math.Pi * t)
)
```

Обчислюється середнє значення вхідного сигналу:

```
const average = measurements.scan(0, smooth(0.95))
```

Сигнал фільтрується за допомогою віднімання середнього значення

```
const filtered = Bacon.combine(
  measurements, average, (m, avg) => m - avg
)
```

Знаходяться точки, у яких сигнал переходить з негативного значення у позитивне:

```
const differentiated = filtered.diff(
  0, (a, b) =>
    Math.sign(a) < 0 && Math.sign(b) > 0
)
.map(v => v ? 1 : 0)
```

Частота скорочень обчислюється як середнє ковзаюче значення частоти точок переходу з негативного значення у позитивне:

```
const heartRate = differentiated
  .scan(1, (rate, newValue) => smooth(0.99)(rate, newValue *
sampleRate))
  .map(v => v * 60)
```

Оголошується функція для перетворення потоку чисел у потік графічних зображень:

```
const plotOf = (value: Bacon.Observable<number>) => value
  .map(v => '-'.repeat((v + 1) * 10))
  .slidingWindow(20)
  .map(ms => ms.join('\n'))
```

Оголошується функція для відображення потоку графічних зображень на екрані:

```
const renderTo = (id: string) => {
  const element = document.getElementById(id)
  return (value: string) => element.innerText = value
}
```

Усі проміжні потоки виводяться на екран разом з обчисленим значенням частоти скорочень:

```
window.onload = () => {

  plotOf(measurements).onValue(renderTo('plot1'))
  plotOf(average).onValue(renderTo('plot2'))
  plotOf(diff).onValue(renderTo('plot3'))
  plotOf(jumps).onValue(renderTo('plot4'))
  heartRate
    .throttle(1000)
    .map(r => r.toFixed(1).toString()).onValue(renderTo('rate'))
}
```

Результат роботи програми зображено на рисунку 3.10:



## 4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЛЮДИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ СТИСНЕНИХ ВИМІРЮВАНЬ»

### 4.1 Опис ідеї проекту

Враховуючи технічно-програмний потенціал розробленої роботи, в цьому розділі розглянуто розуміння ідеї стартапу з її комерціалізації. Система моніторингу стану людини з використанням технології стиснених вимірювань має низку напрямків застосування та можливість принести вигоду користувачу. Доцільності та вигоди в загальних рисах наведені в таблиці 5.1. З цієї інформації можливо зрозуміти зміст ідеї, що висувається, варіанти застосування, переваги та інновації які надаються даним стартапом.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Система збору, передачі та візуалізації даних.	Вимір, обробка, та демонстрація даних.	Спостереження за поточним станом здоров'я.
	Керування вказівником.	Використання для управління.
	Повідомлення про сейсмічну активність.	Попереджувальна інформація про сейсмічну активність.

Така технологічна розробка як веб-система має бути спроектована таким чином щоб мати можливість стати бізнес проектом. Через високу інноваційність та доцільність таких систем існує актуальна можливість в створенні рентабельної підприємницької діяльності. Тому пропонується стартап

проект, який має низку застосувань, має можливість до розширення та використовує найновітніші технології.

Саме тому важливим розділом магістерської роботи є розробка стартап проекту. Для цього розглядаються рішення для розробки перспективного проекту з ринковою актуальністю, перспективністю, організованістю, фінансовим аналізом, планом для просування пропозиції інвесторам, аналізом ризиків і можливостей, маркетинговим плануванням.

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

№ п/ п	Техніко- економіч ні характери стики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабк а сторо на)	N (нейтра льна сторон а)	S (сил ьна стор она)
		Мій проект	Texas instru ments	Analo g Device s	Фріла нс			
1.	Вартість розробки	18000	51000	39000	20000	-	-	+
2.	Час розробки	6 місяці в	12 місяці в	12 місяці в	6 місяці в	-	+	
3.	Технолог ії	Сучас ні	Застар ілі	Застар ілі	Відно сно сучасн і	-	-	+
4.	Відоміст ь	Відсут ня	Велик а	Велик а	-	+	-	-

З чотирьох проаналізованих характеристик, дві з них є сильною стороною проекту, одна нейтральна та одна слабка. Це означає що в проекті домінують

сильні сторони, що в свою чергу позитивно показує можливості даного проекту стати успішним.

#### 4.2 Технологічний аудит проекту

В цьому розділі висвітлено технічні особливості, спектр можливих технологічних рішень. Для аналізу здійсненності проекту використаємо таблицю.

Таблиця 4.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	ідея проєк - ту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність техно-логій
1.	Система збору, передачі та відображенн я інформації у реальному часі.	Сучасні датчики	+	+
		Застарілі датчики	+	+
		Веб система	+	+
		Технологія стиснених вимірювань	+	+
		Вимірювання з обмеженням Найквіста-Котельнікова	+	+
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Система на основі стиснених вимірювань з використанням сучасних датчиків				

Використання мікроконтролерів в зв'язку з веб-системами не є інноваційним, але для актуальності на ринку необхідно використовувати максимально ефективні рішення. З такою метою в даному проекті використовуються новітні технології розробки програмного забезпечення, актуальні датчики та мікроконтролери. Всі ці технології та технічні засоби є доступними та мають можливість бути використані в даному стартап проекті.

#### 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення основних ризиків та можливостей, які можна очікувати від ринку є необхідним, оскільки дозволяє спроектувати напрями розвитку стартапу зі урахуванням всіх складових ринкового положення, попиту цільових клієнтів та пропозицій конкурентів. Доцільно використати ці знання під час ринкового впровадження проекту.

Таблиця 4.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	80
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	21000000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стабільно зростаюча
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	15%

Розглянувши таблицю стає зрозуміло що даний ринок налічує безліч конкурентів, а ринок є зростаючим. Звичайно що головну загрозу становлять інноваційні компанії та компанії гіганти.

Надалі визначені потенційні групи клієнтів, їх особливості. Також сформовано приблизний перелік вимог до системи для кожної групи.

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до послуги
1	Підвищений час роботи автономних пристроїв	Звичайні люди	Надійність	Надійність та великий час автономної роботи
2	Дистанційний контроль	Системи	Надійність	Безперебійна робота
3	Розваги	Звичайні люди та ігрові компанії	Вартість	Доступність

Не зважаючи на широкий спектр потреб в різних сферах, я впевнений в їх досягненні даним проектом. Швидкодія та вартість я значно простішими в досягненні, а от надійність потребує спеціальних зусиль в цьому напрямі.

Таблиця 4.6 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренти	Складність запропонувати вигідніші умови	Не значне зменшення ціни або безкоштовна гарантія
2.	Ринок	Складність найняти персонал	Унікальні умови праці
3.	Застарілість технології	Поява більш інноваційних технологій	Розробка з урахуванням появи нових технологій
4.	Не обізнаність на ринку	Невідомі підходи до клієнтів.	Залучення експертів
5.	Не відомість	Клієнт не дізнається про компанію	Потужна маркетингова стратегія

В вище заповненій таблиці наведені фактори, які можуть в значній мірі нашкодити стартап проекту. Як протидію цим факторам запропоновані контрдії які мають покращити становище проекту в складних ситуаціях. Проаналізувавши результат, проект можна вважати надійним.

Але поряд із сукупністю загроз існують і певні можливості (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Швидкий притік клієнтів	Збільшення кількості клієнтів	Збільшення команди
2.	Необхідність	Потреба в	Підтримка хмарних

	витримувати великі навантаження	швидкодійних системах.	сервісів
3.	Поява нових технологій стиснення передаваних даних	Збільшення швидкодії систем	Використання нових технологій

Враховуючи перераховані можливості, та порівнюючи їх з ризиками, можна дійти висновку що стартап перекидає ризики своїми можливостями.

При появі на ринку важливим є розуміння своїх конкурентів, їх можливостей та швидкості адаптації. Також важливо враховувати їх можливий вплив на ринок. Це детально наведено в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Складність	Жорстка боротьба за клієнта	Особливі пропозиції
Насиченість	Велика кількість конкурентів	Унікальність
Спеціалізованість	В великому досвіді роботи з клієнтами	Залучення експертів
Стабільність китів	В небажанні змін	Демонстрація переваг

В цій сфері дуже велика конкуренція. Ринок налічує багато компаній з довготривалими контрактами, компаній які працюють десятиліттями в цій

сфері. Через велику середній прибуток, дуже жорстка боротьба за клієнта. В таблиці наведені дії для поліпшення конкурентного становища компанії.

Після аналізу конкуренції нижче наведений більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 4.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Texas instruments	Analog Devices	Texas instruments	Xiaomi	Стационарні системи
Висновки:	Потужний конкурент.	Конкурент в майбутньому	Виробник мікросхем	Надає обладнання споживачам	Системи які використовуються біля користувача

Наведені компанії є на даний момент потужними гравцями на ринку. З таблиці видно можливості для конкурентної гри для компанії.

В нижче наведеній таблиці продемонстровано фактори які забезпечать позитивні результати на конкурентному ринку.

Таблиця 4.10 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна	Запропонована ціна нижче середньої
2	Час розробки	Замовників цікавить мінімальний час розробки
3	Технології	Цей проект використовує найновіші технології

4	Підтримка	Конкуренти надають схожі послуги
5.	Унікальність	Конкуренти не використовують таку технологію

Таблиця 4.11 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/ п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з Texas instruments						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Ціна	19						+	
2	Час розробки	19						+	
3	Технології	20							+
4	Підтримка	14				+			
5.	Гнучкість	14				+			

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities), пов'язаних з його здійсненням.

SWOT - аналіз стартап-проекту представлений в таблиці 4.12.

Таблиця 4.12. – SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1. Коштовність 2. Унікальність 3. Розширюваність 4. Сучасні технології	Слабкі сторони: 1. Слабкі можливості підтримки
Можливості: Швидкий притік клієнтів Необхідність витримувати великі навантаження	Загрози: Жорстка боротьба за клієнта Велика кількість конкурентів В великому досвіді роботи з

Популяризація дистанційного керування	клієнтами
Поява нових технологій стиснення передаваних даних	В небажані змін в великих компаніях

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складений на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: домінація компаній гігантів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо спаду попиту на систему від нашої компанії, особливо в верхній ціновій категорії, це призведе до посилення значущості функціональних можливостей системи при його продажі, щоб максимально розширити коло можливих клієнтів та зберегти розробку систем на рентабельному рівні.

Таблиця 4.13 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Середня	2 місяці
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу	Середня	6 місяців

	наявними ринковими можливостями		
3	Стратегія виходу з ринку	-	2 місяці

З зазначених альтернатив обираємо стратегію компенсації ринкових загроз сильними сторонами стартапу.

#### 4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Споживачами проекту обрано організації, що використовують, або можуть використовувати у своїй роботі наявну систему. Так як проект зосереджується на декількох сегментах, обрано стратегію диференційованого маркетингу. Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувавши базову стратегію розвитку ( Таблиця 4.14).

Таблиця 4.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтований попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
	Промислові компанії	Так	Вище середнього	Велика	Просто
	Компанії споживацьк	Так	Середній	Середня	Просто

	ої сфери діяльності				
	інжиніри нгові компанії	Так	Низький	Низька	Складн о
<p>Які цільові групи обрано: промислові компанії та компанії споживацької сфери діяльності.</p> <p>Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати із промисловими компаніями та споживацькими.</p>					

Виходячи з проведеного аналізу потенційних груп споживачів, було обрано такі цільові групи як промислові компанії та компанії споживацької сфери діяльності. Ці цільові групи мають найвищий попит на продукцію автономних систем та є відносно простими для входу в сегмент. Незважаючи на велику конкуренцію, вибір вважаю доцільним.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувавши базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.15 – Базова стратегія розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія спеціалізації (передбачає концентрацію на потребах одного цільового сегменту, без прагнення охопити увесь ринок. Мета тут полягає в задоволенні потреб вибраного цільового сегменту краще, ніж конкуренти. Така стратегія може спиратися на лідерство по витратах у рамках сегменту автономних систем для споживацької сфери. Проте низька ринкова доля у разі невдалої реалізації стратегії може істотно підірвати конкурентоспроможність компанії.)
Стратегія	Стратегія повного охоплення ринку (компанія

охоплення ринку	прагне задовольнити потреби ринку в цілому. Ця стратегія може бути реалізована шляхом виготовлення сімейства універсальних веб-систем).
Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Покращення та здешевлення виробництва за рахунок масовості, підтримка веб-системи після продажу.
Базова стратегія розвитку	Стратегія концентрованого зростання (стратегія, яка пов'язана зі зміною продукту і (або) ринку. У разі дотримання стратегії компанія поліпшує веб-систему або починає виробляти нову, не змінюючи при цьому його призначення. Що стосується ринку, то компанія шукає можливості поліпшення свого становища на існуючому ринку або ж переходу на новий ринок).

В даній таблиці можна спостерігати обрані стратегії розвитку. Базовою стратегією обрано концентрованого зростання, з постійним покращенням автономних систем. Альтернативною стратегією є націленість на конкретну сферу, а саме споживацьку.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (Таблиця 4.16).

Таблиця 4.16 – Вибір стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
--	--	---	----------------------------------

Так	Забирати існуючих	Так (дизайн, мету використання)	Стратегія наслідування лідеру
-----	-------------------	---------------------------------	-------------------------------

Стратегія лідерства по витратах передбачає, що компанія за рахунок чинників внутрішнього і/або зовнішнього середовища може забезпечити більшу, ніж у конкурентів маржу між собівартістю товару і середньоринковою ціною (або ж ціною головного конкурента). Зокрема, ця стратегія припускає, що за рахунок великих можливостей по об'ємах збуту товарів (портфеля укладених контрактів на постачання) і продуктивності підприємство може добитися менших витрат.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект

Таблиця 4.17 - Визначення стратегії позиціонування

М п/ п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Дешевизна, вдосконаленість, Універсальність.	Стратегія концентрованого зростання	Ціна, швидкодія	Ціна. Технології. Унікальність.

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

#### 4.5 Розробка маркетингової програми стартап-проекту

Для розробки ефективної маркетингової програми першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 5.18 демонструємо сумарні результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Автономний пристрій з довгим часом автономної роботи	Вирішення проблем тривалості автономної роботи вимірювальних систем	Унікальна технологія

Провівши детальний аналіз потреб клієнтів, проаналізувавши ринок та дослідивши продукт конкурентів можна зробити висновок що для вирішення проблем дистанційного контролю в режимі реального часу підходить розроблена універсальна веб-система з використанням сучасних технологій та модульної конструкції використаного мікроконтролера.

Таблиця 4.19 - Опис трьох рівнів моделі *товару*

Рівні товару	Сутність та складові		
i. Товар за задумом	Система моніторингу стану людини з використанням технології стиснених вимірювань.		
ii. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристик	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	и		
	Масштабованість	Нм	Тх
	Модульність	М	Тх
	Швидкодія	Нм	Тх
	Підтримка масового використання	Нм	Тх
	5.Довговічність (немає строку давності)	Нм	Тх
	Якість: відповідає нормам ДСТУ 2844-94		
Пакування: Мікроконтролер з набором датчиків, програмне забезпечення			
Марка: “КРi Soft” зареєстрована ТМ. Під ТМ “КРi Soft” випускаються сучасні програмні та технічні рішення.			
iii. Товар із підкріпленням	До продажу с: Консультація з можливості інтегрування		
	Після продажу: Підтримка товару		

Розібравши модель товару на три рівні, Товар за задумом має п'ять технологічних особливостей, одна з яких є матеріальною, а інші не матеріальними. Якість товару нормується ДСТУ 2844-94. В пакування входить мікроконтролер з датчиками та окремо доступне програмне забезпечення. Також На третьому рівні наведені переваги для споживача.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.20).

Таблиця 4.20 - Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	6000 грн	2000 грн	15000 грн	900/1900 грн
2	1800 грн	1500 грн	15000 грн	2000/2200 грн
33	10000 грн в місяць	10000 грн в місяць	200000 грн в місяць	5000/10000 грн в місяць

Товари заміники коштують надто дорого щоб враховувати при створенні ціни. Середня ціна на продукти аналоги сягає 2000 грн, а доходи потенційних компаній покупців починається від 15000 грн. Також розглянутий варіант виробництва систем для споживацької сфери, але знайдені ціни не враховують коштовності програмного забезпечення та відображають ціну обладнання. В третьому випадку наведені ціни підтримки веб-системи в місяць.

Таблиця 4.21 - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глиби на каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Звичайна повторна закупівля	Організація руху товару	1	Дистрибуція через посередника

2	Нова закупівля	Доставити товар до поштового відділення	0	Дистрибуція через інтернет
3	Клієнти в невідомих або в ризикових ринках	Встановлення контактів із споживачами і підтримання їх; Формування попиту і стимулювання збуту;	1-3	Дистрибуція через посередника

В наслідок аналізу було знайдено два найбільш вдалих метода системи збуту. Нова та повторна закупівля відрізняються оскільки для повторної закупівлі очікується значне збільшення кількості продукції. Нова закупівля виконується через інтернет, а повторна через посередника транспортну компанію. Також розглянуто в функції збуту для клієнтів в невідомих або в ризикових ринках.

Таблиця 4.22 - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Компанії які користуються товарами або послугами конкурентів	Конференції, веб-пошук, електронна пошта, телефон.	Розсилка листів з пропозицією, зустрічі з обговоренням потенційної співпраці.	Продемонструвати переваги продукту, його сучасність	Демонстрація можливого прибутку з використанням нашої веб-системи

2	Компанії які потребують нового розробника	Конференції, веб-пошук, електронна пошта, телефон.	Розсилка листів з пропозицією, зустрічі з обговоренням потенційної співпраці, інтернет реклама. Розсилка листів з пропозицією, зустрічі з обговоренням потенційної співпраці	Демонстрація ціни в порівняні з аналогами Продемонструвати переваги продукту, його сучасність	Порівняльна таблиця
---	---	--	---	--	---------------------

Проаналізовані концепції, створять гарне підґрунтя для розвитку взаємин між нашою компанією та потенційними клієнтами. Основним напрямком є залучити клієнтів конкурентів. Оскільки на ринці також з'являється багато нових компаній, то необхідно їх швидко знаходити та пропонувати вигідні умови співпраці.

#### 4.6 Очікувана ефективність стартап проекту

Оскільки стартап є інноваційним проектом, до нього можна застосувати існуючі показники оцінки ефективності такого проекту.

Для проведення розрахунків ефективності за проектом необхідно:

1. визначити статті доходів, що визначаються бізнес-моделлю стартапу і прогнозованими обсягами продажів;
2. розбити витрати за проектом на постійні та змінні.

Дохід:

11. Продаж мікроконтролерних систем.
12. Продаж програмного забезпечення.
13. Підтримка систем

До постійних витрат відносяться ті витрати, загальна сума яких за певний час не залежить від кількості виготовленої продукції.

- Оренда приміщень.
- Реклама
- Зарплата постійних працівників компанії ( інженери, маркетологи, менеджери)

Змінні витрати представляють собою витрати, загальна сума яких за певний час залежить від обсягу виготовленої продукції.

- Закупка обладнання (мікроконтролери та давачі) необхідних для виготовлення комплексного обладнання;
- Витрати на електроенергію;
- Зарплата робочих;

При отриманні необхідного фінансування ми будемо мати наступну фінансову ситуацію, при розробці веб-системи:

Постійні витрати:

- 8 000 грн/міс - Оренда приміщень.
- 10 000 грн/міс - Реклама
- 70 000 грн/міс - Зарплата постійних працівників компанії ( інженери, маркетологи, менеджери)

Змінні витрати на виробництво одного комплексного обладнання:

- 500 грн - мікропроцесор;
  - 2 000 грн - зарплата робочих;
  - 5000 грн - давачі;
  - Дохід:
14. 4 000 грн - відпускна вартість веб системи + пдв 1 000 грн

Обсяги виробництва продукції на перші 5 місяців наведено в таблиці 4.23.

Таблиця 4.23 – Обсяги виробництва продукції

Показник	Значення по місяцях, тис. грн.				
	1	2	3	4	5
Загальна потреба в продукції, шт.	50	150	500	1500	5000
Ціна одного набіру макроконотролер+здавачі + ПЗ тис грн.	3	3	3	3	3
Річні обсяги випуску в вартісних показниках (тис. грн.)	150	450	1500	4500	15000

Визначимо витрати, необхідні для реалізації поточної діяльності за проектом (таблиця 4.24).

Таблиця 4.24 – Виробничі витрати

№ з/п	Стаття витрат	Сукупні витрати за період місяців, тис. грн.				
		1	2	3	4	5
1	Загальногосподарські витрати, оплата праці постійного персоналу	5	10	15	20	25

1.1	витрати на оренду та утримання приміщень, обладнання	20	40	60	80	100
1.2	витрати на збут, просування та рекламу	10	20	30	40	50
2	Витрати на матеріальні ресурси (комплектуючі, сировина)	50	100	150	200	250
3	Витрати на оплату праці	70	140	210	280	350
Разом:		155	310	465	620	775

Точка беззбитковості відображає обсяг виробництва інноваційної продукції, при досягненні якого виручка від реалізації покриває сумарні витрати на її виробництво. Розрахунок точки беззбитковості року проводиться за формулою:

$$T_b = \frac{C}{P-V} \quad (4.1)$$

де  $C$  – постійні витрати на весь обсяг продукції (ті, які не залежать від обсягу виробництва продукції – загальногосподарські витрати та витрати на оплату праці);  $P$  – ціна одиниці продукції;

$V$  – змінні витрати на одиницю продукції.

$$T_b = C/(P-V) = 88/(5*3) = 5.9x \text{ (Проектів)} \quad (4.2)$$

Графік ефективності проекту наведений на рис. 4.1.

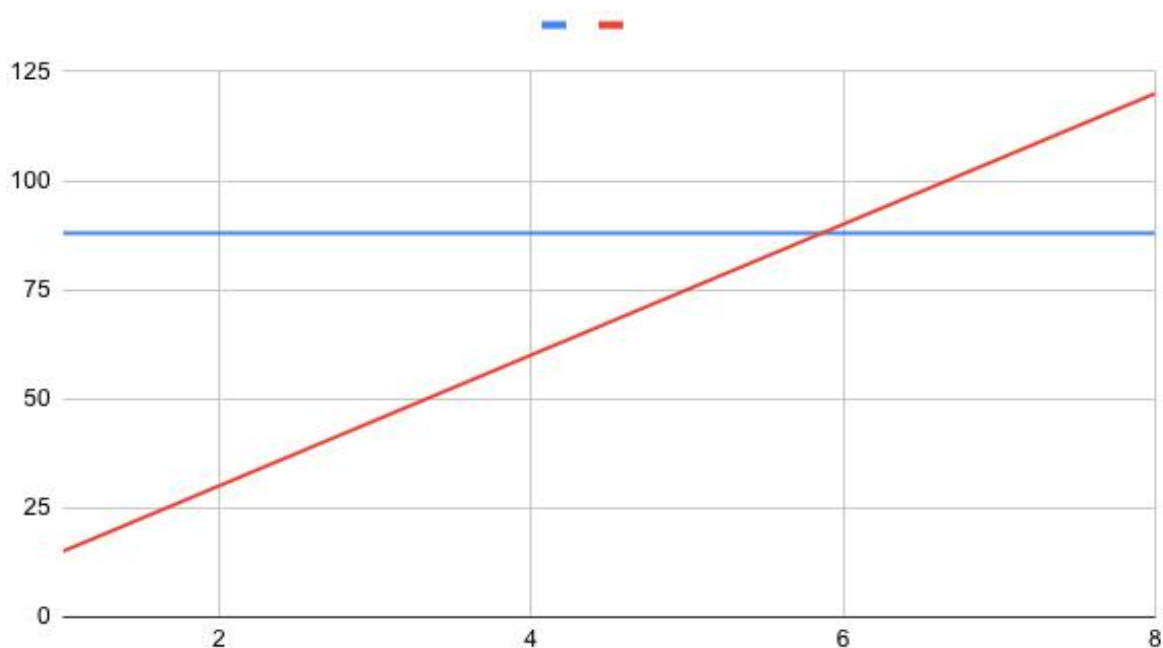


Рис. 4.1– Точка беззбитковості проекту

Визначимо формування грошового потоку від реалізації проекту.

Чистий дисконтований дохід (NPV, Net Present Value) – це різниця між надходженнями за весь період інноваційного проекту та інвестиціями в проект. Розрахунок чистого дисконтованого доходу наведений в таблиці 4.25.

Таблиця 4.25 – Формування грошового потоку від реалізації проекту

№	Показник	Значення по місяцях					Разом
		1	2	3	4	5	
1	Надходження від проекту (виручка від реалізації продукції, послуг) \	125	250	375	500	625	1750
2	Загальні витрати	480	180	240	310	370	1580
3	Грошовий потік	-360	38	100	170	230	170
4	Акумуляований грошовий потік	-360	-323	- 226	-57	170	-

Оскільки  $NPV > 0$  протягом розрахункового періоду, то даний інноваційний проект доцільно прийняти.

індекс рентабельності інвестицій в проект ( $ROI$ , Return On investment) характеризує рівень грошового потоку, що припадає на одиницю інноваційних витрат і обчислюється за формулою (4.3), коли інвестиція здійснюється багато разів:

$$ROI = \sum_T D_t / \sum_T I_t \quad (4.3)$$

де  $D_t$  – надходження у відповідному періоді;

$I_t$  – інвестиція у відповідному періоді.

індекс рентабельності за 5 місяців:

$$ROI = 1753/1582 = 1,11 \quad (4.4)$$

Показник  $ROI > 1$ , отже даний інноваційний проект доцільно прийняти. Даний критерій  $ROI$  використовують при виборі певного проекту із декількох альтернативних, у яких  $NPV$  приблизно однакові.

Період окупності інвестицій (Ток) – це розрахунковий термін від початку реалізації проекту, починаючи з якої акумульований грошовий потік ( $ACF$ ) приймає стійке позитивне значення. іншими словами, це – період (вимірюваний в місяцях, кварталах або роках), починаючи з якого первинні вкладення та інші витрати, пов'язані з інвестиційним проектом, покриваються сумарними результатами його здійснення.

Термін окупності розраховується за формулою :

$$T = t + |ACF_{t-}| / (|ACF_{t-}| + |ACF_{t+}|) = 4 + 58 / (59 + 171) = 4.25 \quad (4.5)$$

де  $t$  – останній періоду реалізації проекту, при якому акумульований грошовий потік (різниця накопиченого доходу і витрат) приймає від’ємне значення;

$ACF_t^-$  – це остання від’ємна різниця накопиченого доходу та витрат (грн.);

$ACF_t^+$  – це перша позитивна різниця накопиченого доходу та витрат (грн.).

Отже, на 5-му місяці після початку реалізації проект повністю окупить себе.

Для реалізації описаного стартап проекту не виникає гострої потреби у фінансуванні:

Разові витрати:

- Обладнання: 3000 грн.

Постійні витрати

- Електроенергія та комунальні послуги – 1000 грн\міс
- Оренда приміщень - 7 000 грн\міс.

Висновки

Комплексні користувачькі системи моніторингу та керування збільшуються у розмірах, потребують дедалі більше обчислювальних потужностей та пропускної здатності мереж передачі інформації.

Хоч сучасні обчислювальні апарати та мережева інфраструктура дозволяють підтримувати постійне широкосмугове з’єднання та обробляти велику кількість даних, але автономні пристрої досягають межі продуктивності через відсутність прогресу у індустрії елементів живлення. До того ж, автономні пристрої зазвичай використовують модулі бездротової передачі інформації, які споживають багато енергії.

Прості системи не потребують ані великих обчислювань, ані великих пропускних каналів, але конкуренція вимагає створення нових розробок та продуктів, що задовольнятимуть нові потреби користувачів. Однією з вимог до розроблюваних продуктів є якнайменша собівартість.

Стартап може бути виконаний одною людиною, але залучивши достатню кількість кваліфікованих або не дуже, робітників та забезпечивши їх необхідним інструментом можна досягти поставлених цілей по швидкому виготовлені значної кількості сучасних, дешевих та універсальних веб-систем, що зможуть задовольнити потреби найбільш вимогливих споживачів.

Визначено загальні напрями використання та проаналізовано ринкові можливості щодо реалізації бізнес-проекту. Визначені сильні сторони стартапу, мають переваги над слабкими. Проаналізовані конкурентні можливості. В результаті аналізу отримано ринкову програму, що враховує концепції товару, систему збуту, ціноутворення та концепції маркетингових комунікацій. В рамках цього аналізу буде впроваджено проект, та його обрану альтернативу ринкової поведінки.

Стратегією розвитку стартапу обрано стратегію концентрованого зростання. Це стратегія, яка пов'язана зі зміною продукту. У разі дотримання стратегії компанія поліпшує веб-систему або починає виробляти нову, не змінюючи при цьому його призначення, а покращуючи її характеристики та універсальність. Що стосується ринку, то компанія шукає можливості поліпшення свого становища на існуючому ринку або ж переходу на новий ринок.

В результаті проведеного аналізу потенційних груп споживачів, було обрано такі цільові групи як промислові компанії та компанії споживацької сфери. Ці цільові групи мають найвищий попит на продукцію веб-систем та є відносно простими для входу в сегмент.

В цілому стартап проект вважаю перспективним, так як він налічує більшу кількість переваг ніж ризиків. У роботі досліджено можливість ринкової

комерціалізації проекту. Є значний попит на стрімко зростаючому ринку. Розроблена автономна система є перспективною для впровадження у виробництві оскільки вона є дешевою та універсальною на відміну від стаціонарних або інших аналогів, що, представленні на ринку.

## ВИСНОВКИ

Розроблено систему моніторингу фізіологічних показників людини з бездротовою передачею сигналу від датчика оптичного пульсометра до комп'ютерного пристрою. Розглянуті рішення показали, що використання обраних технологій, а саме стиснених вимірювань та функціонального реактивного програмування, є доцільним для поставленої задачі. Сучасні промислові системи моніторингу та керування збільшуються у розмірах, потребують дедалі більше обчислювальних потужностей та пропускну здатності мереж передачі інформації.

Хоча сучасні обчислювальні пристрої та мережева інфраструктура дозволяють підтримувати постійне широкосмугове з'єднання та обробляти велику кількість даних, але продуктивність автономних пристроїв обмежується характеристиками елементів живлення. До того ж, автономні пристрої зазвичай використовують модулі бездротової передачі інформації, які споживають багато енергії. Саме тому за мету даної роботи було поставлено розробку вимірювальної системи, що споживає якомога менше енергії.

Дослідження парадигм обробки даних показало, що для даної роботи доцільно використати функціональне реактивне програмування. Воно має ряд переваг таких як відокремлення деталей реалізації низькорівневої логіки алгоритму обробки від високорівневого опису бажаного результату. Програмне забезпечення системи було розроблене з використанням мов програмування TypeScript та Python.

Використання технології Compressive Sensing має широкий потенціал для використання у вбудованих пристроях, які залежать від автономного джерела живлення. Це пов'язано з тим, що зменшення кількості переданих через канали бездротової передачі даних дозволяє подовжити час автономної роботи пристрою.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Compressive\\_sensing](https://ru.wikipedia.org/wiki/Compressive_sensing)
2. Donoho, D. L., Compressed Sensing, iEEE Transactions on information Theory, V. 52(4), 1289–1306, 2006
3. Candès, E.J., & Wakin, M.B., An introduction To Compressive Sampling, iEEE Signal Processing Magazine, V.21, March 2008
4. Chen S. S., Donoho D. L., Saunders M. A. Atomic decomposition by basis pursuit // SiAM Journal on Scientific Computing. 1998. Vol. 20. №. 1. pp. 33-61
5. [https://habr.com/ru/company/darta\\_systems/blog/377197/](https://habr.com/ru/company/darta_systems/blog/377197/)
6. “An introduction to compressive sampling.” Signal Processing Magazine, iEEE 25.2 (2008): 21-30.
7. “Scalable training of L1-regularized log-linear models.” Proceedings of the 24th international conference on Machine learning. ACM, 2007.
8. “Compressed sensing.” Wikipedia, The Free Encyclopedia. Wikipedia, The Free Encyclopedia, 26 Mar. 2016. Web. 26 May. 2016.

## ДОДАТОК А. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

```
// index.ts
import * as Bacon from 'baconjs'

const smooth =
  (r: number) =>
    (a: number, b: number) =>
      (a * r + b * (1 - r))

const sampleRate = 20

const time = Bacon
  .interval(
    (1 / sampleRate) * 1000, null
  )
  .map(
    () => Date.now() / 1000
  )

const measurements = time
  .map(t =>
    Math.sin((110 / 60) * 2 * Math.Pi * t) + 2
  )

const average = measurements.scan(0, smooth(0.95))

const diff = Bacon.combine(
  measurements, average, (m, avg) => m - avg
)

const jumps =
  diff.diff(0, (a, b) => Math.sign(a) < 0 && Math.sign(b) > 0)
  .map(v => v ? 1 : 0)
```

```

const heartRate = jumps
  .scan(1, (rate, newValue) =>
    smooth(0.99)(rate, newValue * sampleRate)
  )
  .map(v => v * 60)

const plotOf = (value: Bacon.Observable<number>) => value
  .map(v => '-'.repeat((v + 1) * 10))
  .slidingWindow(30)
  .map(ms => ms.join('\n'))

const renderTo = (id: string) => {
  const element = document.getElementById(id)
  return (value: string) => element.innerText = value
}

window.onload = () => {

  plotOf(measurements).onValue(renderTo('plot1'))

  plotOf(average).onValue(renderTo('plot2'))

  plotOf(diff).onValue(renderTo('plot3'))

  plotOf(jumps).onValue(renderTo('plot4'))

  heartRate
    .throttle(1000)
    .map(r => r.toFixed(1).toString())
    .onValue(renderTo('rate'))

}

// index.html

```

```
<!DOCTYPE html>

<html lang="en">

<head>

  <meta charset="UTF-8">

  <title>Document</title>

  <script src="index.ts"></script>

  <style>

    div {
      border: 1px solid black;
      min-width: 200px;
    }
  </style>

</head>

<body>

  <h1 id="rate"></h1>

  <div style="display: flex;">

    <div>

      <p>Пики</p>

      <div id="plot4"></div>
```

```
</div>

<div>

    <p>Випрямлене значення</p>

    <div id="plot3"></div>

</div>

<div>

    <p>Середнє значення</p>

    <div id="plot2"></div>

</div>

<div>

    <p>Вхідний сигнал</p>

    <div id="plot1"></div>

</div>

</div>

</body>

</html>

// main.py
from pylbfgs import owlqn
```

```

def evaluate(x, g, step):
    Ax2 = idct2(x2)

    Ax = Ax2.T.flat[ri].reshape(b.shape)

    Axb = Ax - b
    fx = np.sum(np.power(Axb, 2))

    Axb2 = np.zeros(x2.shape)

    Axb2.T.flat[ri] = Axb # fill columns-first

    AtAxb2 = 2 * dct2(Axb2)

    AtAxb = AtAxb2.T.reshape(x.shape) # stack columns

    np.copyto(g, AtAxb)

    return fx

sample_sizes = (0.1, 0.01)

Xorig = spimg.imread('escher_waterfall.jpeg')

ny,nx,nchan = Xorig.shape

Z = [np.zeros(Xorig.shape, dtype='uint8')
      for s in sample_sizes]

masks = [np.zeros(Xorig.shape, dtype='uint8')
          for s in sample_sizes]

for i,s in enumerate(sample_sizes):

```

```
# create random sampling index vector
k = round(nx * ny * s)
ri = np.random.choice(nx * ny, k, replace=False) # random
sample of indices

# for each color channel
for j in range(nchan):

    # extract channel
    X = Xorig[:, :, j].squeeze()

    Xm = 255 * np.ones(X.shape)
    Xm.T.flat[ri] = X.T.flat[ri]
    masks[i][:, :, j] = Xm

    b = X.T.flat[ri].astype(float)

    Xat2 = owlqn(nx*ny, evaluate, None, 5)

    Xat = Xat2.reshape(nx, ny).T # stack columns
    Xa = idct2(Xat)
    Z[i][:, :, j] = Xa.astype('uint8')
```

## ДОДАТОК Б. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ

1. Smirnov V., Bogomazov S. Microprocessor powered monitoring of human body physical state // Інтелект. Інтеграція. Надійність: Тези учасн. Хі міжнар. конф. студ. та молодих вчених. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2018 – С.28-29

Smirnov V., Bogomazov S.

### MICROPROCESSOR POWERED MONITORING OF HUMAN BODY PHYSICAL STATE

in modern world there is often a necessity of measuring and, more important, storing and analyzing various bodily parameters, e.g. surface temperature, inner temperature, blood pressure, heart rate, oxygen content in blood etc. As such there exists a vast number of specialized equipment that provides capabilities of measuring parameters which were mentioned previously. There is one drawback in such devices, though, and that is the price, which can reach up to tens and hundreds of US dollars.

The main goal of conducted research was to develop a proof-of-concept device that provides a capability of reliably measuring a heart rate while also fitting into a moderately accessible price range of \$5-10.

The main sensor of choice is an MAX30100 integrated circuit, manufactured by Maxim integrated. The MAX30100 is an integrated pulse oximetry and heart-rate monitor sensor solution. it combines two LEDs (Light Emitting Diodes), a photodetector, optimized optics and a low-noise analog signal processor to detect pulse oximetry and heart-rate signals. MAX30100 is a tiny sensor, not exceeding 1cm in any dimension, providing a lot of room for other components. Minimal external hardware components are needed for integration into a wearable device.

The data processing and relaying is accomplished using an ATMEGA328 8-bit general purpose microcontroller, manufactured by Atmel Corporation. The ATMEGA328 has UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) interface that is used to transmit heart rate readings to the PC (Personal Computer), which in turn displays and analyzes the received data.

The processed data is displayed on the computer's monitor via graphical user interface, provided by a standard web-browser of user's choice. A web-interface, as opposed to a system-dependent graphical user interface, has been chosen for the reasons of cross-platform support, so that the user can access graphical interface from any device inside a local network that has a basic web-browser (alternatively, access can be broaden to include whole internet if needed, so that readings from the device could be monitored from any point on Earth).

The most costly parts of the device are the MAX30100 sensor (est. ~\$2.30) ATMEGA328 microcontroller (est. ~\$1.50) and printed circuit board (est. ~\$0.50). The upper bound for the cost of additional components (i.e. operational amplifiers, resistors, capacitors and connectors) has been initially estimated as \$1.00. Thereby the cost of manufacturing one such device is approximately \$5.30, give or take, depending on the volume of production. Thus the initial requirement for the cost of manufacturing is satisfied with a good margin.

2. Смірнов В.О., Богомазов С.А. Система моніторингу фізіологічного стану людини з використанням Compressive Sensing// Збірник тез доповідей ХVііі Міжнародної науково-технічної конференції ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи, 15-16 травня 2019 року, Київ, ПБФ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019, с.203-204

УДК 681.3.06

## СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ФІЗІОЛОГІЧНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ COMPRESSIVE SENSING

*Смірнов В.О., Богомазов С.А.*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського*

*E-mail: [gnudeb0@gmail.com](mailto:gnudeb0@gmail.com), [sbogmzv@gmail.com](mailto:sbogmzv@gmail.com)*

Compressive Sensing – це методика ефективного отримання та відтворення стисненого сигналу за допомогою вирішення невизначених систем лінійних рівнянь. В основі даної методики лежить розріджене кодування (sparse coding) – це процес знаходження розрідженого представлення вхідного сигналу  $x$  у певному базисі :

$$x = \sum_{i=1}^k a_i \phi_i \quad (1)$$

Розрідженим називають таке представлення  $a$ , в якому більшість членів дорівнюють нулю. Для сигналів, що відрізняються один від одного за своєю природою та характеристиками, обирають відповідні базиси, які дозволяють найбільш ефективно представляти сигнал певної природи без проміжного одержання всієї вибірки, тобто за меншою кількістю вимірів [1].

Розроблений пристрій на базі мікроконтролера ATMEGA328 виконує вимірювання і бездротову передачу послідовного у часі сигналу пульсу людини. Використовується сигнал від оптичного датчика. При передачі інформації виконується випадкове перемішування відліків між різними пакетами даних. При втраті пакетів повторна передача не виконується, а в пристрої обробки даних для відновлення втрачених відліків сигналу використовуються алгоритми апроксимації [2]. У такій системі частина обчислювальної роботи

перекладається з автономного пристрою на пристрій обробки, який розшифровує та зберігає сигнал у зрозумілому для людини вигляді.

Використання технології Compressive Sensing має широкий потенціал для використання у вбудованих пристроях, які залежать від автономного джерела живлення. Це пов'язано з тим, що зменшення кількості переданих через канали бездротової передачі даних дозволяє подовжити час автономної роботи пристрою.

*Ключові слова:* Compressive Sensing, обробка даних.

#### **Література**

- [1] Scholarpedia – the peer-reviewed open-access encyclopedia [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: [http://www.scholarpedia.org/article/Sparse\\_coding](http://www.scholarpedia.org/article/Sparse_coding) – Sparse coding
- [2] Stanford - Unsupervised Feature Learning and Deep Learning [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: [http://ufldl.stanford.edu/wiki/index.php/Sparse\\_Coding](http://ufldl.stanford.edu/wiki/index.php/Sparse_Coding) – Sparse coding - Ufldl

3. Смірнов В.О., Богомазов С.А. Система збору даних на основі стиснених вимірювань // Збірник праць XV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 10-11 грудня 2019р.- К.:ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури.-2019. – С.529-531.

УДК 681.3.06

*В.О. Смірнов, студент гр. ВА-81мп, к.т.н., доц. Богомазов С.А.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

### **Система збору даних на основі стиснених вимірювань**

**Анотація.** У даній статті розглянуто особливості використання методу стиснених вимірювань (Compressive Sensing) в системах збору експериментальних даних для зменшення кількості вимірювань, необхідних для відновлення сигналу без суттєвої втрати корисної інформації. Наведено приклад застосування методу в бездротовій системі моніторингу фізіологічних показників людини.

**Ключові слова:** стиснені вимірювання, оптимізація, стиснення.

#### **Вступ**

Сучасні промислові системи моніторингу та керування збільшуються у розмірах, потребують дедалі більше обчислювальних потужностей та пропускну здатності мереж передачі інформації.

Хоча сучасні обчислювальні пристрої та мережева інфраструктура дозволяють підтримувати постійне широкосмугове з'єднання та обробляти велику кількість даних, але продуктивність автономних пристроїв обмежується характеристиками елементів живлення. До того ж, автономні пристрої зазвичай використовують модулі бездротової передачі інформації, які споживають багато енергії.

Для автономних пристроїв важливими показниками є вага, ємність елемента живлення, час автономної роботи, споживання енергії. Ці показники пов'язані між собою – зменшення споживання енергії дозволяє використати менший елемент живлення, зменшити вагу та збільшити час автономної роботи. Альтернативний шлях – залишити існуючий елемент живлення. Це дозволяє збільшити час автономної роботи та зберегти існуючу вагу пристрою.

Одним із шляхів покращення одного з показників без впливу на інші є використання нових апаратних рішень, які з'являються в результаті досліджень, тестування, та процесу впровадження нової розробки. Інший шлях – покращення програмної частини продукту. Цей шлях має набагато менший цикл дослідження-розробки-впровадження, тому його доцільно обирати для оптимізації витрат.

#### **Огляд**

Сучасні автономні пристрої здебільшого використовують стандартизовані модулі обробки та передачі інформації, і лише найбільші виробники можуть витратити кошти на дослідження та розробку власних апаратних рішень. Ці модулі зазвичай є найбільш енерговитратною частиною і використовують більше енергії при більшій кількості обчислень за одиницю часу, тому бажаним

є зменшення інтенсивності обчислень. Тому доцільним є оптимізація програмних алгоритмів, реалізованих у обчислювальному модулі.

Модулі бездротової передачі потребують більше енергії із збільшенням кількості та частоти передачі інформації. Очевидним рішенням для зменшення об'єму передаваної інформації є її стиснення перед відправкою.

Існуючі алгоритми стиснення потребують великої кількості обчислювальних операцій, що призводить до збільшення енерговитрат та зменшення часу автономної роботи.

В даній роботі пропонується використання методу стиснених вимірювань (Compressive Sensing, Compressed sensing) [1-3], що дозволяє зменшити обсяги обчислень та кількість переданої інформації в автономних вимірювальних пристроях, та демонструється ефективність використання даного методу на практиці.

### Рішення

Стиснені вимірювання – метод зменшення кількості вимірювань, необхідних для відновлення сигналу без суттєвої втрати корисної інформації. Метод стиснених вимірювань полягає у використанні властивостей стиснутих сигналів, що мають розріджене представлення в певному базисі для кодування сигналу за допомогою відносно малої кількості вимірювань. Такий сигнал повинен мати невелике число коефіцієнтів перетворення (наприклад, коефіцієнтів перетворення Фур'є), які суттєво більші за інші коефіцієнти. Чим менше відношення кількості цих коефіцієнтів до кількості коефіцієнтів з малими значеннями, тим менша кількість вимірів необхідна для відновлення початкового сигналу. Найбільше обмеження – умова існування розрідженого представлення вимірюваного сигналу (стискуваність в деякому базисі). Іншими словами, даний алгоритм не може ефективно використовуватись для стиснення випадкових сигналів, які не відповідають цій умові (рис. 1).

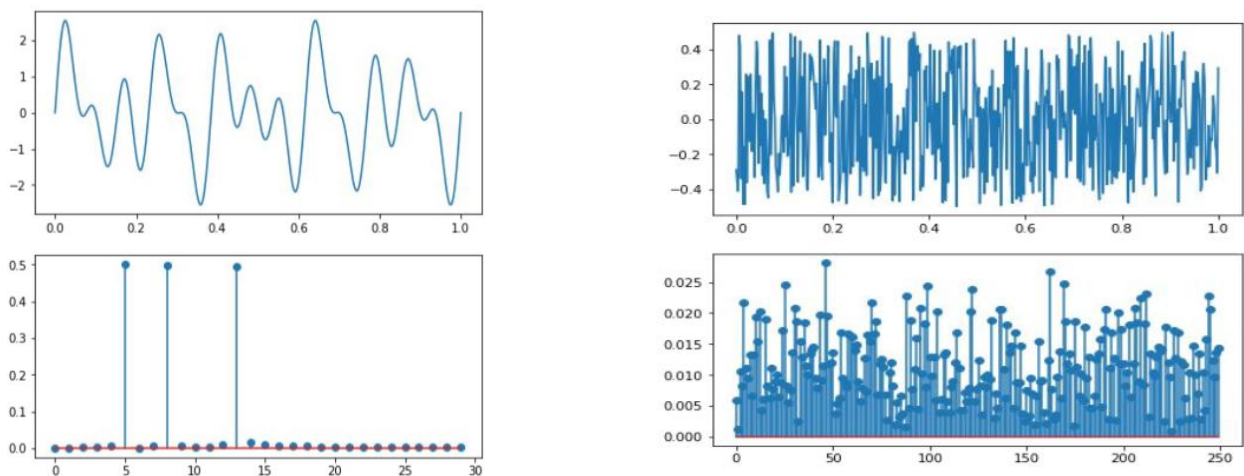


Рисунок 1. Приклад стиснутого та нестиснутого сигналу та їх відображення у частотній області

При використанні цього методу вимірювання виконуються в випадкові моменти часу та їх результати передаються на приймальний вузол. Для відновлення сигналу за допомогою методів лінійного програмування обчислюються коефіцієнти перетворення відліків вимірюваного сигналу в вибраному базисі. Базис вибирається так, щоб лише невелика кількість коефіцієнтів перетворення мали великі значення відносно інших. Для відновлення вихідного сигналу виконується зворотнє перетворення.

Переваги стиснених вимірювань:

- зменшення обчислювальної потужності автономних пристроїв;
- більшість обчислювальних задач перекладається на приймальний вузол;
- сигнали стискаються до десятків разів;
- зменшуються вимоги до частоти дискретизації та кількості вимірювань.

Метод стиснених вимірювань був реалізований у системі моніторингу фізіологічних показників людини для бездротової передачі сигналу від датчика оптичного пульсометра до комп'ютерного пристрою. Це дозволило зменшити кількість вимірювань більш ніж у 5 разів та кількість переданої інформації більш ніж у 10 разів порівняно з класичним підходом. Частота дискретизації для класичного підходу була розрахована згідно до теореми Найквіста-Котельникова із збільшеною частотою дискретизації для виключення спотворень на граничних частотах. Частота вимірюваного сигналу знаходиться у діапазоні 0,5 Гц..5 Гц, частота дискретизації для класичного підходу була обрана 20 Гц. Для стиснених вимірювань було використано 30 вимірювань у часовому вікні тривалістю 5 секунд. Це дозволило забезпечити зменшення кількості відліків більш ніж у три рази у порівнянні з класичним підходом.

За необхідності вікно вимірювань може бути збільшене без значного збільшення кількості вимірювань, що зменшить частоту вимірювань але збільшить затримку між вимірюванням та відновленням сигналу. У застосуваннях, де затримка не впливає на роботу системи, доцільно збільшувати розмір вікна для вимірювань.

### **Висновок**

Використання методу стиснених вимірювань в бездротових автономних системах вимірювань дозволило зменшити обчислювальні затрати та кількість інформації, що передається по каналам зв'язку. Це спростило реалізацію вимірювальної частини системи та збільшило час її роботи в автономному режимі.

### **Список використаних джерел**

- [3] Donoho, David L. Compressed sensing. *IEEE Transactions on information theory* 52.4 (2006), 1289-1306.
- [4] Blumensath, Thomas, and Mike E. Davies. iterative hard thresholding for compressed sensing. *Applied and computational harmonic analysis* 27.3 (2009), 265-274.
- [5] Donoho, David L., Arian Maleki, and Andrea Montanari. *Message-passing algorithms for compressed sensing. Proceedings of the National Academy of Sciences* 106.45 (2009), 18914-18919.