

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет програмної інженерії та бізнесу

Кафедра інженерії програмного забезпечення

Пояснювальна записка до дипломної роботи

магістра
(освітній ступінь)

на тему «Експериментальне дослідження можливості застосування фонових джерел світлової енергії для енергопостачання мобільних пристроїв»

XAI.603.667п1.121.156347.200

Виконав: студент б курсу групи № 667п1
Спеціальність 121 – Інженерія програмного
забезпечення

(код та найменування)

Освітня програма Хмарні обчислення та
Інтернет речей

(найменування)

Полтавська Д.С.

(прізвище й ініціали студента)

Керівник: Туркін І.Б.

(прізвище й ініціали)

Рецензент: Ляшенко О.С.

(прізвище й ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет програмної інженерії та бізнесу
(повне найменування)

Кафедра інженерії програмного забезпечення
(повне найменування)

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 121 – інженерія програмного забезпечення
(код та найменування)

Освітня програма хмарні обчислення та Інтернет речей
(найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

Туркін І.Б.

(підпис)

(ініціали та прізвище)

“ _____ ”

_____ 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Полтавській Дар’ї Сергіївні

(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема дипломної роботи Експериментальне дослідження можливості застосування фонових джерел світлової енергії для енергопостачання мобільних пристроїв

керівник дипломної роботи Туркін Ігор Борисович, д.т.н. проф.

(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету № _____ від “__” _____ 2020 року

2. Термін подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики давачів освітленості сучасних смартфонів. Технічні можливості технологій збору енергії Energy Harvesting. Статистичні дані про освітленість в офісному приміщенні.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз шляхів та засобів вирішення проблеми енергетичної забезпеченості мобільних пристроїв; планування експерименту для дослідження можливості застосування фонових джерел світлової енергії для енергопостачання мобільних пристроїв; підготовка експерименту для дослідження можливості застосування фонових джерел світлової енергії для енергопостачання мобільних пристроїв; аналіз експериментальних результатів.

5. Перелік графічного матеріалу Презентація до доповіді – 20 слайдів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1÷3	Туркін І.Б., д.т.н. проф.		

Нормоконтроль _____ Постернакова В.А. «__» _____ 20__ р.
 (підпис) (ініціали та прізвище)

7. Дата видачі завдання «__» _____ 20__ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз шляхів та засобів вирішення проблеми енергетичної забезпеченості мобільних пристроїв	02.09.2019 – 01.01.2020	
2	Планування експерименту для дослідження можливості застосування фонових джерел світлової енергії для енергопостачання мобільних пристроїв	15.01.2020 – 25.05.2020	
3	Проектування прототипу ПЗ для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення	25.05.2020- 30.08.2020	
4	Підготовка експерименту для дослідження можливості застосування фонових джерел світлової енергії для енергопостачання мобільних пристроїв. Аналіз експериментальних результатів	30.08.2020- 18.10.2020	
5	Оформлення пояснювальної записки до дипломного проекту	02.09.2019- 30.10.2020	
6	Підготовка презентації	01.11.2020- 10.11.2020	
7	Підготовка доповіді	11.11.2020 – 20.11.2020	

Студент _____ Полтавська Д.С.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту _____ Туркін І.Б.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 112 с., 59 рисунків, 5 таблиць, 52 джерела.

Дипломна робота магістра на тему «Експериментальне дослідження можливості застосування фонових джерел світлової енергії для енергопостачання мобільних пристроїв».

Дипломна робота присвячена дослідженню можливості використання програмно-апаратних давачів мобільних пристроїв для вимірювання показників фонового освітлення з ціллю подальшого дослідження можливості використання фонових джерел світлової енергії для подовження часу автономної роботи смартфонів.

Проведено аналіз статистичних даних використання смартфонів, а також існуючої літератури на тему проблем забезпечення ефективності використання сучасних мобільних пристроїв. Розглянуто методи та засоби забезпечення енергетичної ефективності сучасних мобільних пристроїв, у тому числі технологія Energy Harvesting.

Сплановано та проведено експеримент для дослідження можливості застосування фонових джерел світлової енергії для енергопостачання мобільних пристроїв. Для проведення експерименту розроблено прототип програмного забезпечення для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення.

За допомогою розробленого ПЗ визначено спектральну чутливість датчика освітлення у смартфоні та енергетичні показники освітленості в офісному приміщенні протягом року. Сформований набір даних може використовуватися для подальших досліджень в області Energy Harvesting. Аналіз експериментальних результатів надав можливість сформулювати висновки щодо доцільності подальших досліджень в області фотоелектричних технологій збору енергії Energy Harvesting.

Ключові слова: СМАРТФОН, ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СМАРТФОНУ, ТЕХНОЛОГІЯ ENERGY HARVESTING, СЕНСОРИ СМАРТФОНУ, ДАВАЧІ СМАРТФОНУ, ДАВАЧ НАВКОЛИШНЬОГО СВІТЛА, ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ СВІТЛА, АВТОНОМНА РОБОТА СМАРТФОНУ.

ABSTRACT

Thesis: 112 pages, 59 figures, 5 tables, 52 sources.

Master's thesis project on «Experimental study of the possibility of background light sources usage for mobile devices power supply»

Master's thesis is devoted to the study of the possibility of using software and hardware sensors of mobile devices to measure the backlight in order to further study the possibility of using background light sources to extend the battery life of smartphones.

The analysis of statistical data on the use of smartphones, as well as the existing literature on the problems of ensuring the efficiency of modern mobile devices. Methods and means of ensuring energy efficiency of modern mobile devices, including Energy Harvesting technology, are considered.

An experiment was planned and conducted to study the possibility of using background light energy sources for power supply of mobile devices. To conduct the experiment, a prototype of software for measuring the energy performance of the backlight was developed.

With the help of the developed software, the spectral sensitivity of the light sensor in the smartphone and the energy performances of the light in the office during the year were determined. The generated data set can be used for further research in the field of Energy Harvesting. The analysis of experimental results provided an opportunity to formulate conclusions on the feasibility of further research in the field of photovoltaic energy collection technologies Energy Harvesting.

Keywords: SMARTPHONE, ENERGY EFFICIENCY OF A SMARTPHONE, ENERGY HARVESTING TECHNOLOGY, SMARTPHONE SENSORS, ENVIRONMENTAL LIGHT SENSOR, MEASUREMENT OF LIGHT, AUTONOMOUS WORK OF THE SMARTPHONE.

РЕФЕРАТ

Дипломная работа: 112 с., 59 рисунков, 5 таблиц, 52 источника.

Дипломная работа магистра на тему «Экспериментальное исследование возможности применения фоновых источников световой энергии для энергоснабжения мобильных устройств».

Дипломная работа посвящена исследованию возможности использования программно-аппаратных датчиков мобильных устройств для измерения показателей фоновое освещения с целью дальнейшего исследования возможности использования фоновых источников световой энергии для продления времени автономной работы смартфонов.

Проведен анализ статистических данных использования смартфонов, а также существующей литературы на тему проблем обеспечения эффективности использования современных мобильных устройств. Рассмотрены методы и средства обеспечения энергетической эффективности современных мобильных устройств, в том числе технология Energy Harvesting.

Спланирован и проведен эксперимент для исследования возможности применения фоновых источников световой энергии для энергоснабжения мобильных устройств. Для проведения эксперимента разработан прототип программного обеспечения для измерения энергетических показателей фоновое освещения.

С помощью разработанного ПО определено спектральную чувствительность датчика освещения в смартфоне и энергетические показатели освещенности в офисном помещении в течение года. Сформированный набор данных может использоваться для дальнейших исследований в области Energy Harvesting. Анализ экспериментальных результатов предоставил возможность сформулировать выводы о целесообразности дальнейших исследований в области фотоэлектрических технологий сбора энергии Energy Harvesting.

Ключевые слова: СМАРТФОН, ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СМАРТФОНОВ, ТЕХНОЛОГИЯ ENERGY HARVESTING, СЕНСОРЫ СМАРТФОНОВ, ДАТЧИКИ СМАРТФОНА, ДАТЧИК ОКРУЖАЮЩЕГО СВЕТА, ИЗМЕРЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВЕТА, АВТОНОМНАЯ РАБОТА СМАРТФОНА.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	9
ВСТУП.....	10
1 АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ТА ЗАСОБІВ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ.....	12
1.1 Аналіз проблем забезпечення ефективності використання сучасних мобільних пристроїв	12
1.1.1 Роль мобільних пристроїв у сучасному світі	12
1.1.2 Визначальні фактори, що зумовлюють ефективність сучасних мобільних пристроїв	20
1.2 Методи та засоби забезпечення енергетичної ефективності сучасних мобільних пристроїв	25
1.2.1 3 рівня підтримки енергетичної ефективності сучасних мобільних пристроїв	25
1.2.2 Огляд методів та технологій збору навколишньої енергії (Energy Harvesting)	33
1.3 Огляд програмно-апаратних рішень давачів сучасних мобільних пристроїв	37
1.4 Використання елементів смартфона для аналізу характеристик світла та зображення	44
1.4.1 Будова Ambient Light Sensor	45
1.4.2 Будова фотоматриці смартфона.....	49
1.5 Висновки за розділом 1	53
2 ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ФОНОВИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ.....	54
2.1 Монохроматор як світлотехнічне обладнання для визначення точності датчика освітленості смартфона.....	54
2.2 Аналіз вхідних факторів.....	55
2.2.1 Показники освітленості та опроміненості світлоприймальної поверхні	55
2.2.2 Залежність освітленості та опроміненості від довжини хвилі джерела світла	58

2.3	Аналіз відгуків	62
2.3.1	Метод та засоби вимірювання освітленості в смартфоні	62
2.3.2	Метод та засоби вимірювання довжини хвилі монохромного джерела світла за допомогою фотоматриці смартфона	63
2.4	Методи обробки результатів експерименту	64
2.4.1	Розрахунок центральних моментів	64
2.4.2	Перевірка статистичних гіпотез.....	66
2.5	Висновки до розділу 2	69
3	ПІДГОТОВКА ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ФОНОВИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ. АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ	71
3.1	Вихідні дані для розробки програмного забезпечення для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення.....	71
3.2	Вибір програмно-апаратних засобів	72
3.2.1	Вибір апаратних засобів	72
3.2.2	Вибір програмного середовища розробки.....	74
3.3	Проектування прототипу програмного забезпечення для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення.....	78
3.3.1	Проектування інтерфейсу користувача	78
3.3.2	Проектування архітектури прототипу програмного забезпечення	82
3.4	Результати дослідження ефективності застосування вбудованих датчиків телефону для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення	95
3.4.1	Визначення спектральної та інтегральної чутливості вбудованого датчика освітленості смартфона	95
3.4.2	Вимірювання фонові, низько енергетичної освітленості в офісному приміщенні.....	100
3.5	Висновки до розділу 3	107
	ВИСНОВКИ	108
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	109

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ACPI – Advanced Configuration and Power Interface – Розширений інтерфейс конфігурування та керування живленням.

ALS – Ambient Light Sensor – датчик навколишнього світла у смартфоні.

CDD – Charge-Coupled Device – спеціалізована аналогова інтегральна мікросхема, що складається з світлочутливих фотодіодів.

ЕРМ – Energy and Power Management – Управління Енергією та Живленням.

ETTR – Exposing to the right – це техніка налаштування експозиції зображення для збору максимальної кількості світла і отримання оптимальної продуктивності з датчика цифрового зображення.

EXIF – Exchangeable image file format — стандарт, що визначає формат описання допоміжної метаданих для файлів зображень, звуку.

GPS – Global Positioning System – система глобального позиціонування.

LCC – Leadless Chip Carrier – корпус мікросхеми.

LCD – liquid crystal display – рідкокристаличний дисплей.

LED – light-emitting diode – світлодіод.

LMS – Learning Management System – система управління навчанням.

MEMS – Micro-Electro-Mechanical Systems.

РМІС – Power Management ICs – Інтегральна Схеми Управління Живленням.

RGB – кольорова модель Red, Green, Blue.

ІЧ – інфрачервоний.

ГЛОНАСС – Глобальна Навігаційна Супутникова Система.

КМОП – комплементарна структура метал-оксид-напівпровідник.

КМОП-матриця — світлочутлива матриця, виконана на основі КМОП-технології.

ОФП – опорний фотоелектричний перетворювач.

УФ – ультрафіолетовий.

ФП – фотоперетворювач.

ВСТУП

Актуальність

На сьогоднішній день смартфони стали невід'ємною частиною життя людини. За допомогою них вирішується величезна кількість найрізноманітніших завдань. Кожну секунду смартфон виконує велику кількість процесів, про які типовий користувач навіть не підозрює. Енергетична обмеженість є однією з найважливіших складових, які визначають ефективність застосування сучасних мобільних пристроїв.

В той самий час, велика увага приділяється Energy Harvesting – технології збору енергії із альтернативних відновлюваних джерел, та її використання для невеликих приладів.

Сучасний мобільний пристрій обладнано безліччю програмно-апаратних датчиків, які можуть бути використані, в тому числі, для дослідження можливості застосування фонові світлової енергії як додаткового джерела живлення.

Дослідження можливості використання програмно-апаратних датчиків мобільних пристроїв для вимірювання освітленості та опроміненості потребує створення нових методів та підходів.

Мета дослідження

За допомогою розробленого ПЗ перевірити технічну доцільність застосування фотоелектричних перетворювачів як допоміжного джерела енергії для живлення мобільних пристроїв.

Задачі дослідження.

Для досягнення поставленої мети потрібне рішення наступних завдань:

- 1) провести аналіз проблем та методів забезпечення ефективності використання сучасних мобільних пристроїв;
- 2) провести аналіз існуючих методів та засобів забезпечення енергетичної ефективності сучасних мобільних пристроїв;
- 3) провести огляд програмно-апаратних рішень датчиків сучасних мобільних пристроїв;
- 4) спланувати експеримент для дослідження можливості застосування фонових джерел світлової енергії для енергопостачання мобільних пристроїв;
- 5) розробити прототип ПЗ для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення засобами, доступними в смартфоні;
- 6) провести дослідження ефективності застосування вбудованих датчиків смартфону для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення;
- 7) виконати аналіз проведених досліджень ефективності застосування вбудованих датчиків смартфону.

Об'єкт дослідження

Автоматизація експериментальних досліджень фотоелектричних технологій збору енергії для Energy Harvesting.

Предмет дослідження

Планування експерименту та методи використання вбудованих датчиків смартфона для вимірювання енергії та спектральної складової світла та освітленості.

Методи дослідження

Для вирішення завдань аналізу проблем та методів забезпечення ефективності використання сучасних мобільних пристроїв, аналізу підходів до дослідження можливості застосування фонових джерел світлової енергії для забезпечення енергетичної ефективності сучасних мобільних пристроїв використано системний аналіз, методи систематичного огляду та мета-аналізу. Для планування експерименту для дослідження точності та прецизійності вбудованих датчиків смартфона для вимірювання фонові освітленості використано методи математичної теорії планування експерименту. Для розробки прототипу ПЗ для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення засобами, доступними в смартфоні, використовується об'єктно-орієнтовний підхід. Для дослідження ефективності застосування вбудованих датчиків смартфона для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення та аналізу проведених досліджень ефективності застосування вбудованих датчиків смартфона використовуються методи статистичної оцінки опитних даних та методи перевірки статистичних гіпотез.

Наукова цінність

Отримали подальший розвиток методи автоматизації дослідження фотоелектричних технологій збору енергії Energy Harvesting, які на відміну від існуючих використовують вбудовані датчики смартфонів та дозволяють знизити трудомісткість підготовки та проведення дослідження з одночасним задоволенням вимог до їх точності та достовірності.

Практичне значення отриманих результатів

Розроблені методи автоматизації дослідження фотоелектричних технологій збору енергії Energy Harvesting можуть бути застосовані в наукових дослідженнях та технологічних випробуваннях перспективних перетворювачів енергії Energy Harvesting.

Зібрані дані про показники освітленості в офісному приміщенні можливо використовувати для подальших досліджень в області Energy Harvesting.

1 АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ТА ЗАСОБІВ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

1.1 Аналіз проблем забезпечення ефективності використання сучасних мобільних пристроїв

1.1.1 Роль мобільних пристроїв у сучасному світі

В останні кілька років поява смартфонів сильно вплинула на ринки мобільних пристроїв та мобільних послуг.

Смартфони – це мобільні телефони, які пропонують розширені обчислювальні можливості та можливості підключення. Смартфони – це програмовані мобільні пристрої, які працюють із повноцінними операційними системами аналогічно традиційним комп'ютерам. Ці функції дозволяють створювати нові види мобільних сервісів, які, в свою чергу, формують звички використання користувачів смартфонів. Оскільки смартфони надають все більше додатків для все більш широкого кола ситуацій використання, вони стають все більш інтегрованою частиною повсякденного життя користувачів. Програмованість смартфонів дає можливість перетворити пристрої на платформи збору даних, надаючи детальну інформацію про звички користувачів. [1]

Кількість та популярність мобільних додатків різко зростає через прискорення темпів прийняття смартфонів. Наприклад, Android має 150К додатків і щоденну активацію 350К. Попередньо встановлені на порталах, таких як AppStore на iOS, Market на Android та MarketPlace на Windows Mobile, популярні смартфонні платформи полегшили користувачам можливість швидко вивчати та використовувати багато мережевих програм. Вже до 22 січня 2011 року в AppStore було доступно понад 350 тис. додатків із завантаженням понад 10 мільярдів. Крім того, поява планшетів та мобільних пристроїв з іншими форм-факторами, які також використовують ці ринки, збільшила різноманітність програм та їхньої кількості користувачів. Так, існування ринкових місць та API платформ зробило привабливішим для деяких розробників реалізацію додатків, ніж повноцінних веб-сервісів. Незважаючи на зростаючу важливість додатків як шлюзів до мережевих сервісів, ми маємо набагато більш чітке розуміння того, як, де та коли вони використовуються порівняно з традиційними веб-сервісами. Попереднє дослідження виявило докази того, що існує широке розмаїття способів використання різних програм для смартфонів. [2]

Смартфони є важливою частиною сучасного життя, оскільки вони дають нам змогу спілкуватися майже звідусіль (поки буде доступний сигнал телефону), доступ до Інтернету, та можливість перевірки електронної пошти та соціальних мереж.

1.1.1.1 Статистика використання смартфонів

Агентство мобільного маркетингу LEAD9 за участю Київського міжнародного інституту соціології (КМІС) провело дослідження української аудиторії, згідно з яким в 2018 році близько 45% усіх дорослих жителів України використовували смартфони з сенсорними екранами (у 2015 році таких користувачів було лише 26%). (Рисунок 1.1) При цьому українці все більш активно використовують месенджери, а споживання мобільної мережі з обчисленням на одного користувача вже перевищувало споживання десктопного трафіка та продовжувала зростати. [3]

Скажіть, будь ласка, чи користуєтеся Ви смартфоном із сенсорним екраном (екран який реагує на дотик пальця користувача)?

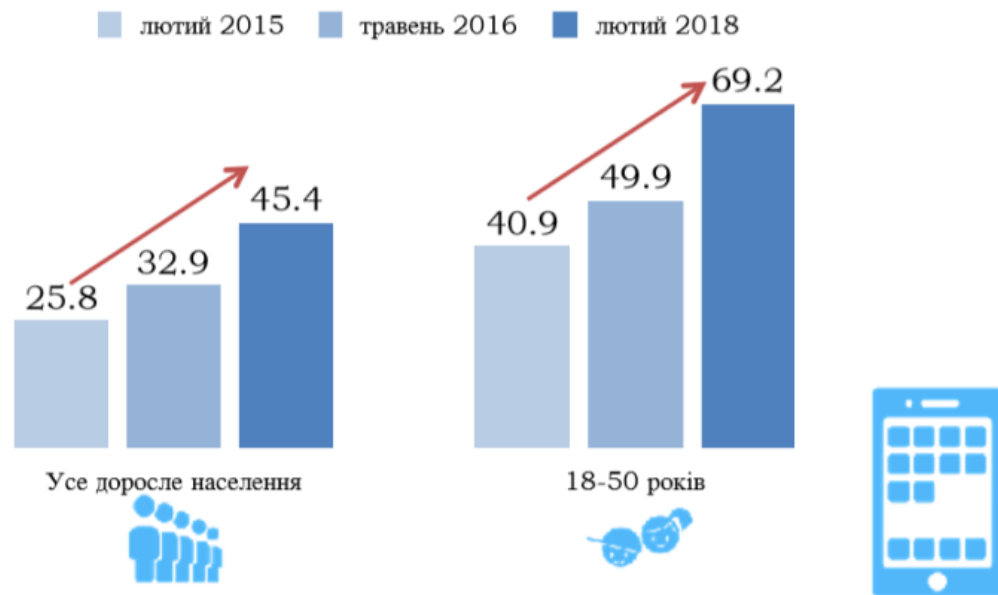


Рисунок 1.1 – Статистика використання смартфонів в Україні

Так, за даними LEAD9, з 2016 до 2018 року доля проникнення смартфонів в Україні виросла на 26%, а за прогнозом світових лідерів до 2020 року досягне більше ніж 70%. Більше всього користуються смартфонами, тобто і мобільним інтернетом, люди у віці від 18 до 30 років. У цій категорії розширення смартфонів становило більше 85%, при цьому практично всі люди (91% респондентів) регулярно використовують різноманітні мобільні додатки. [3]

Досить помітно, що активніше використовують смартфони жителі великих та середніх міст: 54-55% проти не більше 43% жителів маленьких міст та 32% жителів сіл (Рисунок 1.2). Втім, у селах використання смартфонів також зросло за 2015 - 2018 роки з 16% до 32% (Рисунок 1.3). Так само, якщо серед молоді (осіб у віці до

30 років) 85% користуються смартфонами, то серед літніх людей (60+ років) – 6% (Рисунок 1.4). [3]



Рисунок 1.2 – Використання смартфонів по регіонах України



Рисунок 1.3 – Використання смартфонів у містах та селах України

Скажіть, будь ласка, чи користуєтеся Ви смартфоном із сенсорним екраном (екран який реагує на дотик пальця користувача)?

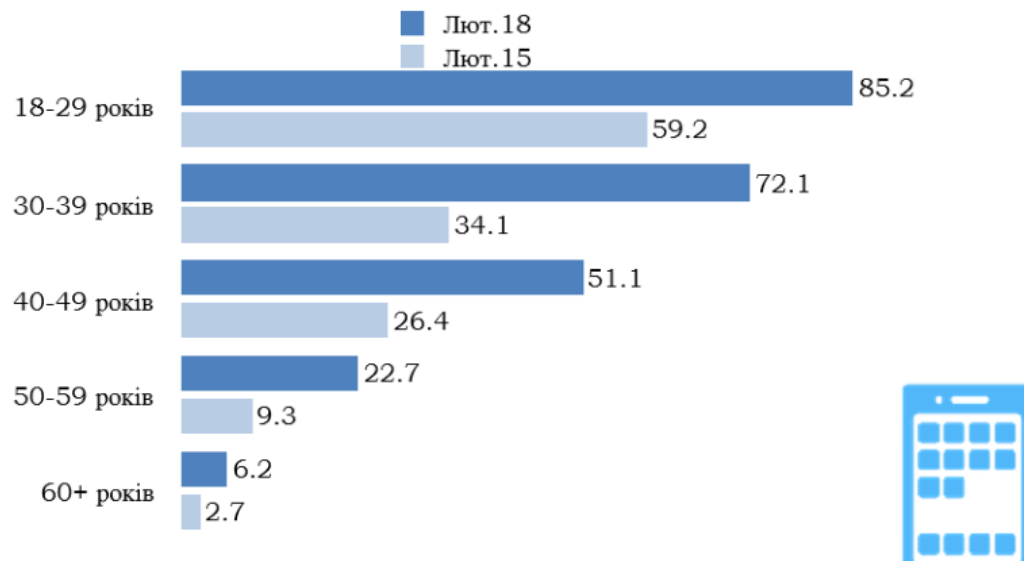


Рисунок 1.4 – Використання смартфонів в Україні за віком

На думку представників LEAD9, така ситуація пояснюється трьома базовими тенденціями [3]:

- проникнення мобільного інтернету (за 2017 та 2018 роки «велика трійка мобільних операторів покрила 3G-мережею територію України, на яких проживає майже 80% населення країни);
- насичення ринку доступними моделями смартфонів;
- значний за своїми обсягами сегмент «early adopters» в Україні (Перші замовники («early adopters») – перші клієнти, які прийняли новий продукт або технологію до того, як це зробить більшість населення.). [4]

У 2017 році GSMA Intelligence оголосила про те, що в світі понад 5 млрд унікальних мобільних користувачів. Цифри означають, що глобальне проникнення мобільних девайсів пододало поріг в дві-третьини і на той час 67% населення планети – користувачі мобільних девайсів. Оновлення Ericsson за 2017 рік вказує, що смартфони становлять 55% всіх мобільних підписок. Смартфони також склали 80% всіх телефонів, проданих між січнем і березнем 2017 року. [5]

1.1.1.2 Статистика часу використання смартфонів

Компанія Counterpoint Research презентувала своє дослідження про те, скільки годин на добу і яким чином більшість користувачів використовують свої смартфони. Якщо десять років тому смартфонами користувалися одиниці, то тепер більшість людей просто не уявляє життя без них. І тому є статистичні докази.

Тільки 4% власників смартфонів активно використовують його менше однієї години в день. Понад чверть (26%) користувачів витрачають на свого «електронного друга» 7 годин і більше, тобто більше половини того часу, що вони не сплять. Ще 21% витрачають на смартфон 5-7 годин. Таким чином майже половина всіх власників смартфонів використовують його на межі можливостей, які апарат може надати своєю автономністю. 20% або кожен п'ятий користувач витрачає не більше 3 годин. Ще 29% використовують пристрій протягом 3-5 годин на добу (Рисунок 1.5). Крім того, наголошується, що в залежності від країни ці частки можуть змінюватися, але в цілому представники країн з економікою, що розвивається, схильні дивитися в екран смартфона довше, ніж в розвинених країнах. [6]

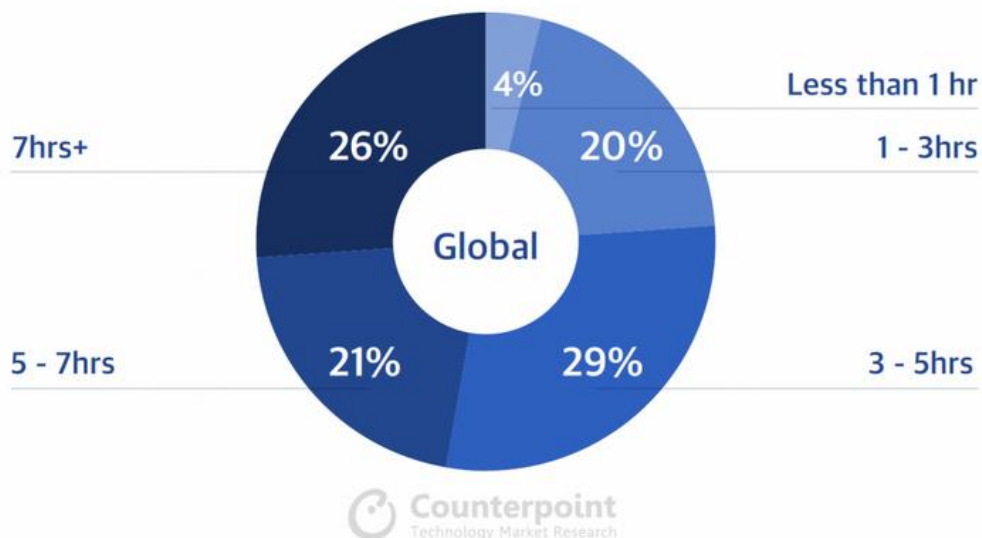


Рисунок 1.5 – Час, витрачений на використання смартфона за 24 години

1.1.1.3 Тенденції та контекст використання смартфонів

Також цікава, статистика по розподілу часу використання між завданнями.

Найпопулярнішим залишається вихід в Інтернет. Перегляд сайтів є основною активністю для 64% користувачів. Лише трохи менш користувачів надає перевагу іграм – 62%. А ось голосові виклики і листування майже зрівнялися. Переважно дзвонять 56%, а переписуються 54% користувачів смартфонів (Рисунок 1.6). [6]

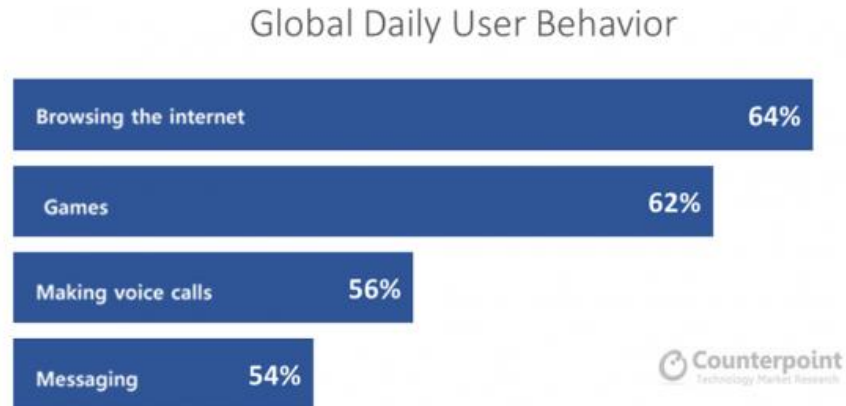


Рисунок 1.6 – Основні активності користувачів смартфонів

Поєднуючи характеристики сеансів використання смартфонів з інформацією про контекст, можна вивчити вплив контексту кінцевого користувача на сеанси використання смартфона. Протягом дня користувач може опинитися в зовсім різних ситуаціях, таких як поїздки на дорозі, зосередження уваги на роботі в офісі або відпочинку вдома. Різні ситуації або контексти створюють власні обмеження та свободи щодо потенційної діяльності, включаючи використання смартфонів. [1]

Нижче (Рисунок 1.7) показано частку загального часу, проведеного сеансом використання смартфона та часу взаємодії за контекстом. Частка часу, проведеного в домашньому контексті, становить приблизно дві третини, що означає в середньому 16 годин на день. Часова частка контексту Elsewhere (інші місця) трохи нижче п'ятої. Контекст Office (офіс) має 8% частки, а Other meaningful (Інший змістовний) – 7%. За кордоном контекст має явно найнижчу частку часу – 2%. Часова частка домашнього контексту дуже схожа на дослідження часу, наприклад [7]. З іншого боку, частка Office-контексту явно нижча порівнянних категорій [7].

У наступних дослідженнях контекст за кордоном залишається для меншої уваги через його невелику частку та тому, що важко реально виділити більш конкретні контексти використання для нього (бізнес поїздка, відпочинок тощо). Майже половина сеансів використання відбулася в домашньому контексті. Трохи менше третини сесій проходили в контексті інших речей. Контекст Office має 12% частки сеансів використання, трохи випереджаючи 9% змістовного контексту Other meaningful. За кордоном контекст має явно найменшу частку. Результати часу взаємодії є досить схожими, за винятком піднесення домашнього контексту та занепаду контексту Elsewhere. [6]

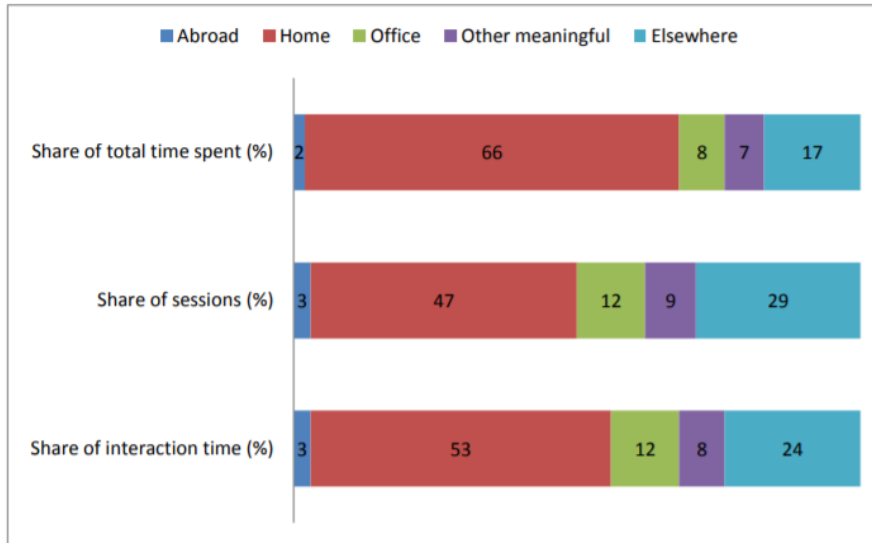


Рисунок 1.7 – Частка загального часу, проведеного сеансом використання смартфона та часу взаємодії за контекстом

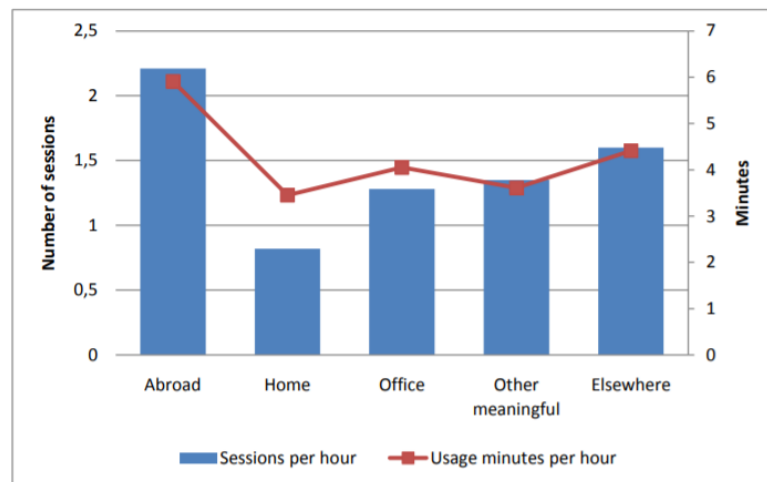


Рисунок 1.8 – Інтенсивність використання смартфонів (з 13:00 до 19:00) за контекстом

Як правило, додатки мають більше активності вдень, ніж вночі. Однак це може не стосуватися кожного популярного додатка. Проаналізувавши добові зразки використання смартфонів у різних жанрах, отримано такий результат (Рисунок 1.9).

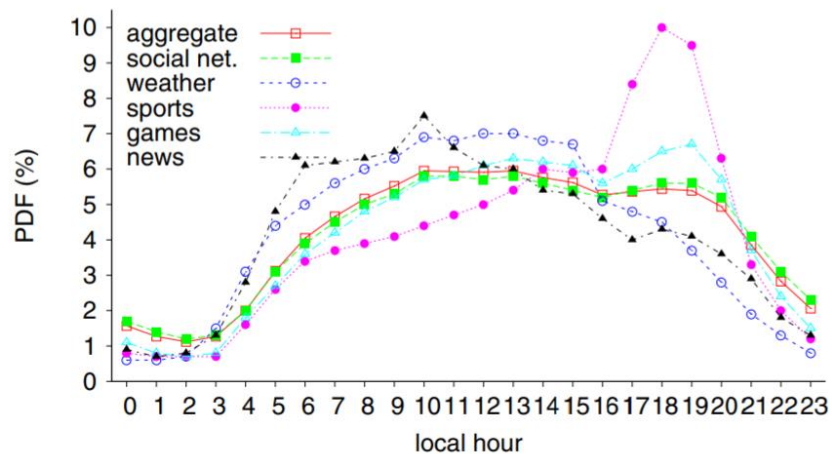


Рисунок 1.9 – Тенденції використання смартфонів для різних жанрів за часом діб

1.1.1.4 Різноманітність мобільних додатків для смартфонів

З розглянутих вище прикладів можна зробити висновок, в більшості випадків смартфони використовуються для повсякденних завдань і мають головною метою полегшити життя людини, спростити виконання певних дій і розважити користувача.

Однак в дійсності, можливості смартфонів настільки широкі, що дозволяють вирішувати різноманітність складних і важливих для суспільства завдань. Для прикладу, наведемо кілька кардинально різних додатків і завдань, що вирішуються за допомогою смартфонів:

- програми охорони здоров'я пропонують миттєвий доступ до мультимедійної інформації, включаючи медичні довідки, калькулятори, бази даних про ліки та відповідні оновлення новин; орієнтовна загальна кількість програм охорони здоров'я становить 5820 і швидко зростає; [8]

- додаток для діагностування меланоми, який оцінює фотографії пошкодження шкіри та надає користувачеві відгуки про ймовірність злякисного утворення; [9]

- велика кількість додатків, які здійснюють банківські операції; [10]

- додатки, які допомагають людям з інвалідністю у виконанні повсякденних завдань; [11] за останніми статистичними даними, у світі існує 3,4 мільярда підписок на смартфони, і до 2021 року очікується, що це число зросте до 6,4 мільярда [12];

- широке використання смартфонів призвело до значних змін у навчанні людей; сьогодні навчання стало досить зручним завдяки шкільним веб-сайтам, системам управління навчанням (LMS) [13], навчальним модулям, масовим відкритим онлайн-курсам або відкритим веб-сайтам для навчальних програм,

доступним на смарт-пристроях; дані також свідчать, що значна частина (30%) використання смартфонів складається з навчальних заходів; [14]

– існує велика кількість додатків для вимірювання показників теперішнього фізичного стану смартфона, його місця розташування і показників навколишнього середовища, які використовують внутрішні сенсори смартфона для отримання інформації;

– програми, що використовують доповнену реальність для різноманітних завдань, від мобільних ігор до освітнього додатку для читання мусульманських молитов. [15]

Доповнена реальність – це вдосконалена версія реальності, де прямі чи непрямі погляди фізичного середовища реального світу доповнюються накладеними комп'ютерними зображеннями на погляд користувача на реальний світ, тим самим посилюючи поточне сприйняття реальності [15]. Багато людей використовують цю технологію в освіті, оскільки вона має чудові функції, що покращують систему викладання та навчання [16].

З вивченої літератури можна зробити висновок, що смартфони остаточно інтегрувалися в життя людини. Починаючи від повсякденних завдань і соціальних мереж і закінчуючи додатками, які вирішують більш серйозні і важливі для суспільства завдання. Таким чином, спектр можливостей смартфона дуже різноманітний і дає плацдарм для подальших досліджень і створення нових інноваційних програм.

1.1.2 Визначальні фактори, що зумовлюють ефективність сучасних мобільних пристроїв

Мобільні обчислення виконуються з використанням комбінації комп'ютерного обладнання, системного та прикладного програмного забезпечення, і деякої форми середовища зв'язку. Потужні мобільні рішення останнім часом стали можливими завдяки наявності надзвичайно потужних і невеликих обчислювальних пристроїв, спеціалізованого програмного забезпечення і поліпшених телекомунікацій. [17]

1.1.2.1 Основа характеристик мобільних обчислень

Апаратне забезпечення.

Ефективність роботи смартфона залежить від характеристик мобільного обчислювального обладнання, які визначаються розміром і форм-фактором, вагою, мікропроцесором, первинної пам'яттю, вторинної пам'яттю, розміром і типом

екрану, засобами введення, засобами виведення, часом автономної роботи, можливостями зв'язку, розширюваністю і довговічністю пристрою. [17]

Основні компоненти смартфона, які визначають ефективність апаратного забезпечення:

Дисплей [18]. Можливо, найбільш очевидним компонентом сучасного смартфона є його дисплей, і хоча кожна видима деталь знаходиться зовні, насправді це внутрішній компонент пристрою. Технології відображення в сучасних смартфонах бувають двох основних типів:

- на основі LCD (технологія IPS и її різновиди);
- на основі LED (AMOLED чи Super AMOLED та їх варіанти).

Батарея [18]. У батареях телефонів зазвичай використовується літій-іонна технологія, яка в мобільних пристроях може бути знімною або незнімною. З цими батареями, які є важливим компонентом смартфона, немає необхідності турбуватися про проблеми «калібрування» або «тестування», які були пов'язані з елементами на основі нікелю.

Процесор, SoC [19]. В обов'язки процесора входить запуск всіх додатків, включаючи фонові функції, що забезпечують роботу смартфона, а також підтримують модулі для апаратних і програмних функцій, таких як камера, безпека, Wi-Fi, графіка і підключення до мережі. Чим швидше процесор, тим легше стає багатозадачність.

Процесор смартфона також відомий як System-on-a-Chip (SoC). Великий чіп, що складається з декількох більш дрібних субодиноць. Найбільш важливим підрозділом SoC є центральний процесор (CPU), за яким слідує графічний процесор (GPU), а також інші компоненти, такі як відеокодери, робота камери і відтворення звуку.

CPU відповідає за кілька життєво важливих функцій, наприклад, активацію функцій сенсорного екрану. Тим часом, графічний процесор (GPU) відповідає за виконання певних графічних функцій і всього, що пов'язано з візуальним компонентом, наприклад, завантаження веб-сторінок або ігор.

Пам'ять і сховище. Жоден смартфон не може працювати без використання оперативної пам'яті (RAM) і зовнішньої пам'яті (системного сховища). [18]

Внутрішня пам'ять – це встановлений виробником простір для зберігання, зазвичай 16, 32 або 64 ГБ, де встановлена операційна система, додатки і інше системне програмне забезпечення. [20]. При включенні телефону і першому відкритті, телефон отримує дані операційної системи (ОС) і додатки з більш повільної основної пам'яті телефону і зберігає більшу частину цих даних ОС і додатків в більш швидкої оперативної пам'яті, що зменшує час відгуку різних елементів і функції ОС і додатків. [21]

Що стосується внутрішньої пам'яті, вона існує у вигляді флеш-пам'яті об'ємом від 32 ГБ, а на деяких телефонах може досягати більше 256 ГБ. Така пам'ять

зазвичай використовується для зберігання зображень, музики та інших файлів, доданих користувачем.

Природно, у міру зростання потреб користувачів в залежності від обсягу використовуваної пам'яті, виробники телефонів експоненційно збільшують обсяг оперативної пам'яті, яка присутня в смартфонах. [18]

Модеми [18]. Кожен смартфон містить компоненти зв'язку для прийому і відправки текстових повідомлень і дзвінків. Для цього використовуються модеми, і кожен виробник SoC має свій власний бренд модемів, включаючи Qualcomm, Samsung, Huawei і деякі інші.

Ці виробники також борються за випуск найшвидшої і ефективної категорії чіпів LTE.

Компанії продовжують робити все можливе, щоб виробляти новітні і найкращі чіпи бажаної категорії.

Камера [18]. Всі смартфони оснащені передньою і задньою камерою. За їх роботу відповідають три основних компоненти:

- датчик (який виявляє світло);
- лінза (компонент, через який проходить світло);
- процесор зображень.

Хоча мегапікселі на смартфоні як і раніше є важливою частиною камери, вони мають менше значення, ніж деякий час назад. Замість цього основним обмежуючим фактором є датчик камери телефону і його чутливість, коли світло проходить через об'єкти.

Датчик поводиться по-різному на різних смартфонах, тому кожне зображення або відео, відрізняється контрастністю, точністю передачі кольору, насиченістю на різних моделях мобільних пристроїв.

Оскільки смартфони мають невеликі розміри сенсора, вони, як правило, погано працюють в умовах низької освітленості. Це область, в якій виробники сенсорів камер постійно працюють над значним поліпшенням.

Датчики [18]. У смартфоні є п'ять основних датчиків, які дозволяють йому надавати функції «інтелектуального пристрою з сенсорним екраном»:

- акселерометр;
- гіроскоп;
- цифровий компас;
- датчик освітленості;
- датчик наближення.

Більш детально ці датчики описані в підрозділі 1.3.

Таким чином, перераховані вище компоненти впливають на ефективність роботи мобільних пристроїв на апаратному рівні. Проте, спільна робота цих

складових повністю залежить від програмного забезпечення, яке встановлено на пристрої.

Програмне забезпечення.

У мобільних комп'ютерах використовується велика кількість системного і прикладного програмного забезпечення. [18]

Найважливішим програмним забезпеченням смартфона є його операційна система (ОС). Операційна система управляє апаратними та програмними ресурсами смартфонів. Деякі платформи охоплюють весь діапазон програмного стека. Інші можуть включати тільки нижні рівні (зазвичай рівні ядра і проміжного програмного забезпечення) і покладатися на додаткові програмні платформи для забезпечення структури призначеного для користувача інтерфейсу. [22]

Мобільні пристрої з можливостями мобільного зв'язку (наприклад, смартфони) містять дві мобільні операційні системи – основна програмна платформа, орієнтована на користувача, доповнюється другою пропрієтарною операційною системою низького рівня в реальному часі, яка управляє радіо та іншим обладнанням.

Найбільш поширене системне програмне забезпечення і операційні середовища, використовувані на мобільних комп'ютерах, включають Android, iOS, Windows, BlackBerry, Firefox OS і т. Д. Кожна операційна система / середовище має деяку форму інтегрованого середовища розробки (IDE) для розробки додатків. Більшість операційних середовищ надають більше одного варіанту середовища розробки для розробки призначених для користувача додатків. [17]

Комунікація. [17]

Здатність мобільного комп'ютера будь-яким чином взаємодіяти зі стаціонарної інформаційною системою є визначальною характеристикою мобільних обчислень. Тип і доступність середовища зв'язку значно впливають на тип мобільного обчислювального додатку, яке може бути створено.

Передача даних – це обмін даними з використанням існуючих мереж зв'язку. Термін «дані» охоплює широкий спектр додатків, включаючи передачу файлів, взаємозв'язок між глобальними мережами (WAN), електронну пошту, доступ до Інтернету і всесвітній павутині (WWW). [17]

Сьогодні є безліч комунікаційних технологій, які дозволяють мобільним комп'ютерам спілкуватися. Найбільш поширеними з цих технологій є:

- бездротові локальні мережі (WLAN);
- супутник;
- цифровий пакет стільникового зв'язку;
- системи персонального зв'язку (PCS);

- глобальна система мобільного зв'язку (GSM);
- RAM і мережі передачі даних ARDIS;
- служба спеціалізованої мобільного радіозв'язку(SMR);
- односторонній і двосторонній пошуковий виклик;
- звичайна стара телефонна система (POTS);
- Інтернет [17].

1.1.2.2 Обмеження мобільних комп'ютерів

Недостатня пропускна здатність. Доступ до мобільного Інтернету зазвичай повільніше, ніж пряме кабельне з'єднання з використанням таких технологій, як GPRS і EDGE, 3G, а останнім часом – мереж 4G. Ці мережі зазвичай доступні в межах досяжності комерційних веж стільникового зв'язку. Високошвидкісні бездротові ЛВС недорогі, але мають дуже обмежений радіус дії. [17]

Стандарти безпеки. При роботі з мобільними пристроями людина залежить від загальнодоступних мереж, що вимагає обережного використання віртуальної приватної мережі (VPN). Безпека є серйозною проблемою, коли мова йде про стандарти мобільних обчислень для автопарку. Можна легко атакувати VPN через величезну кількість мереж, з'єднаних лінією. [17]

Потужність. Коли електрична розетка або портативний генератор недоступні, мобільні комп'ютери повинні повністю покладатися на акумулятор. У поєднанні з компактними розмірами багатьох мобільних пристроїв це часто означає, що для забезпечення необхідного терміну служби батареї необхідно використовувати незвично дорогі батареї. Для мобільних обчислень також слід звернути увагу на Greener IT, щоб заощадити електроенергію або збільшити термін служби батареї. [17]

Перешкоди при передачі. Погода, місцевість і відстань до найближчої точки сигналу можуть заважати прийому сигналу. Прийом в тунелях, деяких будівлях і в сільській місцевості часто буває поганим. [17]

Потенційна небезпека для здоров'я. Передбачається, що люди, які використовують мобільні пристрої під час водіння, часто відволікаються від водіння, з більшою ймовірністю потраплять в дорожньо-транспортні пригоди. Стільникові телефони можуть створювати перешкоди для чутливих медичних пристроїв. Стверджують, що сигнали мобільного телефону можуть викликати проблеми зі здоров'ям. [17]

Інтерфейс з пристроєм. Екрани й клавіатури, як правило, маленькі, що може ускладнити їх використання. Додаткові методи введення, такі як розпізнавання мови або рукописного введення, вимагають навчання. [17]

Вище були розглянуті основні фактори, що впливають на ефективність роботи мобільних пристроїв.

Для подальшого дослідження виберемо проблему споживання енергії та збільшення часу автономної роботи смартфона.

1.2 Методи та засоби забезпечення енергетичної ефективності сучасних мобільних пристроїв

Кількість вбудованих пристроїв за останні роки швидко зростає. Продуктивність пристроїв значно зросла, тоді як розвиток джерел живлення, особливо акумуляторів, є слабким місцем. Тому системи управління енергією та енергоспоживанням (далі, ЕРМ – Energy and Power Management) стають більш важливою частиною системи.

Системи ЕРМ можуть впливати на всю систему від рівня додатків до рівня операційних систем та рівня обладнання.

1.2.1 3 рівня підтримки енергетичної ефективності сучасних мобільних пристроїв

1.2.1.1 Апаратний рівень

Енергоспоживання обчислювальної платформи можна структурувати, поділивши його на дві частини:

- статична частина включає в себе витрати на підтримку платформи в робочому стані (наприклад, енергія споживана компонентами); вона має слабку кореляцію з природою виконуваних додатків, тому цікавить нас в меншій мірі, ця частина енергоспоживання не контролюється;

- динамічна частина пов'язана з виконанням програм.

Деякі апаратні засоби вбудованих пристроїв також мають апаратний ЕРМ на мікросхемі – інтегральну схему управління живленням (мікросхеми управління живленням або РМІС – power management ICs). Ці РМІС також можуть бути системним блоком в системі на мікросхемі і використовуються для управління вимогами до енергії головної системи. Зазвичай РМІС існують в пристроях, що працюють від акумуляторів, таких як мобільні телефони та портативні медіаплеєри, і вони часто інтегруються в мікросхему мікроконтролера. Тому виробники продуктів часто купують повне рішення РМІС із мікроконтролерами від виробників мікросхем, оскільки це швидко і дешево, і не вимагає великих досліджень на апаратному рівні, якщо у них немає певних вимог.

РМІС може складатися з різних підмодулів, наприклад, вони можуть мати модуль управління акумулятором, регулювання напруги, перетворення постійного струму в постійний (динамічне масштабування напруги), модуль послідовності живлення та інші модулі різних функцій. Більшість конструкцій РМІС мають зразки або захищають виробники мікросхем, і для проектування та впровадження РМІС потрібні купу ресурсів та коштів. Лише частину специфікацій РМІС можна знайти в Інтернеті. [23]

Найбільш енергоємними компонентами смартфона є дисплей, процесор (або процесор), різні функції радіо, послуги визначення місцезнаходження, зокрема система GPS, і пам'ять, зокрема , запис у пам'ять. [24]

Дисплеї. Дисплей та пов'язана з ним електроніка (підсвічування, контролер сенсорного екрану, графічний процесор) – це на сьогоднішній день найбільш енергоємний компонент мобільного пристрою. Сучасні смартфони мають досить вражаючі дисплеї, але чим більше пікселів вони упаковують, тим більше енергії вони споживають. Galaxy S6 має вражаючий Quad HD-дисплей 2560 x 1440 пікселів, але його енергоспоживання досить високе. Рівні потужності Samsung згідно з деякими тестами та лабораторними роботами становлять близько 1000 мВт для стандартного 5-дюймового HD-дисплея та зростають до 1500 мВт для чотирьохекранних HD-екранів. Акумулятор ємністю 2600 мАг або еквівалентно 10000 мВт-год означає приблизно 6 - 8 годин активного часу роботи на екрані. Пару років тому ці рівні потужності були майже вдвічі меншими, ніж зараз, оскільки екрани були меншими та мали максимум 720р.

Процесор. Восьмиядерний процесор, що працює постійно на частоті 2,4 ГГц спричинить термінове вимкнення смартфона досить швидко. Процесор, що працює на повній парі, споживатиме 3000 мВт на піку – і генеруватиме багато тепла. Ці пікові події короткочасні і можуть бути рідкісними залежно від вашого використання. Але все-таки програми, що потребують значного процесора, будуть частіше викликати цю потужність процесора, ніж ви бажаєте, і виснажуватимуть акумулятор. Неправдиві програми явно шкодять життю акумулятора. В середньому iOS є більш енергозберігаючим і намагається зменшити попит на процесор. Новий Android 5.1 Lollipop став набагато розумнішим у цьому сегменті, ніж його попередники, але все одно може отримати вигоду від вдосконалення.

Мережа та радіо. Смартфон містить кілька радіосистем. Сучасний пристрій буде мати LTE-радіо та окреме 3G-радіо, а можливо і старіше 2G-радіо. У ньому буде окреме радіо Wi-Fi та радіо bluetooth, хоча ці два, як правило, малопотужні, умовно кажучи. Ці радіостанції мають підсилювачі потужності для своїх функцій передачі-прийому. Ці підсилювачі потужності споживають багато енергії – для посилення сигналу – коли мережевий сигнал є дуже низьким. Іншими словами, якщо рівень сигналу низький, смартфон компенсує це, збільшивши власну

потужність передачі, отже, більше енергоспоживання. Скільки потужності: яка середня потужність 1000 - 1500 мВт може подвоїтися або більше.

Служби локації. Служби локації використовують інтегрований чіп, який включає в себе GPS-трансивер, доповнений іншим інтегрованим чіпом з акселерометрами та гіроскопами. Мікросхема GPS споживає приблизно 25 мВт, а акселерометр / гіроскоп – ще 25 мВт – загалом це 50 мВт. Це, набагато менше, ніж радіо та екран, але в світі обмеженого бюджету енергії кожен мВт має значення.

Зберігання даних. Для більшості користувачів ми не часто записуємо в пам'ять. Пам'ять включає флеш-пам'ять у пристрої (ті 32 або 64 ГБ, що містять файли, музику та фотографії), а також SD-карту, яка завантажує пам'ять у великому обсязі. Але при надмірному споживанні функції камери, і що ще важливіше відео, кожен МБ файлу споживає максимум 400 мВт потужності для запису в пам'ять. Нестиснутий стандартний відеофайл HD (1080p) становить 3 МБ на секунду. Припускаючи оптимістичне зменшення файлу 10:1 після стиснення, що означає 120 мВт на кожен секунду запису. Новіший формат відео 4K має колосальний нестиснутий бітрейт 40 МБ / сек. [24]

Відомо, що немає ніякої необхідності в постійному використанні процесора з максимальною продуктивністю. Більшість додатків не вимагають миттєвого виконання, а повинні бути завершені за певний проміжок часу. При оптимізації енергоспоживання, критерієм ефективності можна вважати витрачену енергію на виконання всіх завдань у строго певні часові інтервали. Процесор не повинен активно працювати при відсутності завдань. З іншого боку постійна робота під час простою, навіть зі зниженим споживанням процесора, веде до надмірного споживання енергії акумулятора.

1.2.1.2 Рівень ОС

Операційна система – це програмний компонент комп'ютерної системи, який відповідає за управління різними видами діяльності комп'ютера та спільний доступ до комп'ютерних ресурсів. У ньому розміщено декілька програм, що працюють на комп'ютері та обробляє операції з комп'ютерним обладнанням. Користувачі та прикладні програми отримують доступ до послуг, пропонувані операційними системами, за допомогою системних дзвінків та інтерфейсів прикладного програмування. [25]

Енергетична політика

Деякі автори припускають, що енергозберігаючі політики в мобільних пристроях повинні виконуватися додатками. Отже, програми повинні динамічно адаптуватися до енергетичних обмежень, як у Хамелеоні [26], але в цьому підході

бракує центрального органу, відповідального за моніторинг споживання ресурсів, спричиненого іншими програмами. З іншого боку, інші дослідники припускають, що управління ресурсами та енергією повинно здійснюватися повністю в операційній системі. Однак це рішення може спричинити проблеми масштабованості. Інші представляють проміжне рішення. Вони дотримуються гібридного підходу [27], в якому як програми, так і операційна система співпрацюють для зменшення споживання енергії в мобільному телефоні. [25]

В ідеалі, операційна система повинна знати потреби в ресурсах програм та наявні енергоресурси до наступної можливості заряджання, щоб зменшити споживання енергії, максимізуючи користувальницький досвід. Однак нові моделі програмування, планувальники, засоби вимірювання енергії та API на основі потужності повинні бути розроблені для підтримки програмного управління енергією.

Методи управління ресурсами

Існують більш ефективні способи управління ресурсами з енергетичної точки зору. Однак це вимагає точного знання будь-якого завдання, що виконується в комп'ютерній системі (на рівні процесу або потоку), щоб бути в курсі потреб у ресурсах. Ефективне управління живленням на мобільних платформах є складною та складною проблемою дослідження через безліч можливих варіантів конфігурації апаратного забезпечення та станів живлення. Як Сноудон та ін. стверджуючи в [28], управління живленням в сучасних операційних системах, як правило, є спрощеним і, як наслідок, неоптимальним. Традиційні операційні системи виконують робоче навантаження до кінця при встановленні максимальної продуктивності, а потім переходять у режим низького енергоспоживання (або на найнижчий рівень продуктивності) для досягнення економії енергії.

Апаратні монітори ресурсів довели, що пропонують цінну інформацію в області аналізу продуктивності.

За реалізацію управління живленням від імені операційної системи відповідає:

- контроль стану та вимог до енергоспоживання обладнання;
- продовження терміну служби компонента акумулятора та періоду, протягом якого пристрій може використовуватися між перезарядками;
- управління сприйняттям користувача робочим станом телефону. [25]

З цього стає зрозуміло, що управління живленням має бути впроваджено на всіх рівнях операційної системи. Наприклад:

- політика, що стосується інтерфейсу користувача, яка вирішує вимкнути підсвічування дисплея або сам дисплей через певний період бездіяльності користувача;

- клієнт послуг, що надаються вхідним портом, може вирішити дозволити драйверу пристрою керування перевести апаратне забезпечення вхідного порту в стан низької потужності після періоду бездіяльності (транзакцій через цей порт немає).

ОС *Symbian* віддає перевагу розподіленому підходу до управління живленням, при цьому компоненти на різних рівнях ОС відповідають як за управління своїми вимогами щодо живлення системи, так і за вплив їхніх дій на доступність телефону. Вони досягають цього у співпраці з іншими взаємозалежними компонентами, які можуть бути на будь-якому рівні ОС.

ОС *Android* пропонує певний тип АРІ керування живленням для додатків, щоб програми могли мати доступ до контролю стану пристрою. Однак процес управління здійснюється ОС за допомогою зв'язку між ядром Linux та апаратним забезпеченням низького рівня. Подібним чином операційні системи, що працюють на вбудованих пристроях, могли б зробити багато для контролю стану живлення або розкладу ресурсів. Основним підключенням управління ЕРМ є функція розширеної конфігурації та інтерфейсу живлення (ACPI – Advanced Configuration and Power Interface). [23]

ACPI – це відкритий стандарт для конфігурації пристрою та управління живленням операційними системами, який замінив попередній стандарт Advanced Power Management (APM). Він приймає контроль ЕРМ до операційних систем з попередньої центральної системи BIOS. Кілька станів живлення визначаються ACPI для всієї системи, а деякі робочі стани для центральних процесорів необов'язково визначаються як розширення. Це дозволяє операційній системі вибирати, в який стан вступати, щоб система могла переходити в різні стани живлення, наприклад, стан низького енергоспоживання або стан сну, а також краще зберігати та керувати живленням. [23]

Порівняно із більш загальним стандартом ACPI, Linux ЕМР надає більше свободи розробникам та дизайнерам архітектури, оскільки ядро може бути переконфігуровано в модулях відповідно до різних конкретних вимог. Linux ЕРМ - це велика підсистема в ядрах Linux, включаючи джерело живлення, зарядний пристрій, годинник, частоту, напругу, призупинення / відновлення та інші аспекти. [23]

Odyssey OS використовує PowerScope [31] для картографування споживання енергії для програмування структури подібним чином до профайлерів процесора, таких як команда `prof` в машинах Unix. Іншими словами, він відображає енергію в структурі програми на рівні процедури, щоб допомогти ідентифікувати додатки, що ведуть себе як енергетичні потоки. PowerScope поєднує в собі як онлайн, так і офлайн методи профілювання додатків. Для зменшення накладних витрат енергії та можливих перешкод на етапі профілю потрібен зовнішній лічильник потужності та другий комп'ютер, використовуючи статистичну вибірку для збору слідів. Як це трапляється з енергетичними моделями, отриманими з використанням офлайн-методів, цей підхід не є масштабованим, оскільки вимагає повторення офлайн-навчання для кожної окремої конфігурації апаратного забезпечення та машини.

Проте цей інструмент має дві переваги: він дозволяє розробникам повторно реалізовувати програми для досягнення цілей проектування, а також дозволяє операційній системі ефективніше керувати ресурсами. [25]

PowerScope оцінює енергоспоживання додатків, вимірюючи час, проведений у кожному стані, і підраховуючи кількість переходів стану. Автори стверджують, що, крім відображення енергетичних витрат на конкретних процесах, необхідно виявити діяльність на рівні потоку. Наприклад, завдання, яке часто блокує (наприклад, сокети), може витратити більшу кількість енергії на інші ресурси, такі як екран, диск та мережа, коли процесор не працює. Еволюція *PowerScope* описана в [32]. У цьому випадку автори запроваджують прогностичну систему для проактивного управління ресурсами, щоб підтримувати обчислення з високою точністю. Інструмент моніторингу ресурсів використовує переваги простих технік машинного навчання, тому менеджер ресурсів може обробити більшу кількість адаптацій з набагато більшою точністю за один крок. Джоуль Ватчер [33] – це тонкозернистий та керований подіями енергетичний профайлер, який також враховує споживання енергії на рівні потоку. У цьому випадку вони використовують вбудовані в цільові драйвери апаратного забезпечення лічильники для реєстрації подій, що передбачають споживання енергії шляхом моніторингу процесора, акумулятора та пам'яті. Ці параметри доступні в потоці та з контексту системи, тому це дозволяє оцінити споживання енергії окремими потоками та цілою системою. Очевидно, що через обмежену кількість ресурсів, які він контролює, його реальна інтеграція в сучасну енергозберігаючу ОС може бути порушена.

Щодо управління ресурсами, енергоефективність повинна виконуватися на стороні програми. Тим не менше, програми, як правило, відповідають за виконання перетворень, щоб збільшити можливу економію енергії, поки політики управління впроваджуються в операційній системі. Хіт та ін. описав, як перетворення програм можуть збільшити час простою пристрою, повідомивши ОС про тривалість майбутнього періоду простою [34].

Менеджер живлення з самонастроюванням (STPM) [35] – це енергозберігаюча система управління проміжним програмним забезпеченням, орієнтована на пристрої вводу-виводу (тобто бездротові інтерфейси), яка використовує співпрацю між програмами та системою, а також забезпечує кешування енергозберігаючих програм. Ідея полягає в тому, що програми розкривають примарні натяки про свої наміри використовувати будь-який з пристроїв вводу-виводу, тоді як система надає додаткам контекстну інформацію про загальний стан системи. Отримавши ці знання, STPM адаптує стратегію управління живленням до спостережуваного шаблону з додатків. Автор стверджує, що STPM приймає кращі рішення щодо управління енергією, оскільки намагається досягти найкращого поєднання продуктивності та економії енергії, враховуючи конкретне робоче навантаження програми. Теоретично цей підхід не обмежує, які запити обслуговуються апаратними пристроями, лише програмами, як це може

статися в ECOSystem [36]. Аналогічно, CIST [37] показує, що можна досягти більшої економії енергії, враховуючи потреби програм, а не аналізуючи поведінку ресурсу. [25]

1.2.1.3 Рівень прикладного ПЗ

Загальні рекомендації з енергозбереження на рівні прикладних програм добре відомі:

- оптимізація енергоспоживання за рахунок розпаралелювання задачі;
- оптимізація енергоспоживання за рахунок зменшення кількості системних викликів;
- мінімізація ітеративних оновлень і простоїв;
- оптимізація енергоспоживання за рахунок об'єднання операцій роботи з ресурсами;
- оптимізація енергоспоживання за рахунок мінімізації використання оперативної пам'яті;
- оптимізація енергоспоживання за рахунок адаптації під поточне джерело живлення;
- підвищення енергоефективності комп'ютерних пристроїв за рахунок перенесення обчислювального навантаження в хмару.

Принципи проектування додатків, що працюють на вбудованих пристроях, звичайно, можуть вплинути на енергоспоживання пристрою. Але вплив суворо покладається на те, скільки дозволів дають операційні системи. Якщо додатку не надано великих дозволів на доступ до систем ЕРМ ОС, можливо, він працює під обмеженням решітки і, отже, матиме менший вплив на весь пристрій.

Операційна система з відкритим кодом Android, поставлена Google, популярна на багатьох різних платформах і надає декілька API ЕРМ для програм. Додатки Android намагаються вплинути на ЕРМ системи за допомогою механізму блокування Android Wake. Android реалізує фреймворк додатків у верхній частині ядра, який називається Android Power Management Applications Framework. Android PM Framework написаний на Java, що підключається до драйвера живлення Android через JNI. За допомогою фреймворку програми для користувацького простору можуть використовувати клас «PowerManager» для управління станом живлення пристрою. [23]

Починаючи з Android 6.0 (рівень API 23), Android представляє дві функції енергозбереження, які продовжують час автономної роботи для користувачів, керуючи поведінкою програм, коли пристрій не підключено до джерела живлення. *Doze* зменшує споживання батареї, відкладаючи фоновий процесор та мережеву активність для програм, коли пристрій не використовується довгий час. *App Standby*

перешкоджає фоновій мережі в програмах, з якими користувач нещодавно не взаємодіяв. [38]

Doze

Якщо користувач залишає пристрій відключеним і нерухомим протягом певного періоду часу, при вимкненому екрані, пристрій переходить у режим дрімання. У режимі дозування система намагається заощадити заряд акумулятора, обмежуючи доступ програм до мережевих та процесорно-сервісних служб. Це також перешкоджає доступу програм до мережі та відкладає їх завдання, синхронізацію та стандартні сигнали тривоги.

Періодично система на короткий час виходить із Doze, щоб дозволити програмам завершити відкладену діяльність. Під час цього вікна технічного обслуговування система запускає всі очікувані синхронізації, завдання та сигнали тривоги та дозволяє додаткам отримувати доступ до мережі.

По закінченню кожного вікна технічного обслуговування система знову входить у Doze, призупиняючи доступ до мережі та відкладаючи завдання, синхронізацію та тривоги. З часом система планує вікна технічного обслуговування все рідше і рідше, допомагаючи зменшити споживання батареї у випадках тривалої бездіяльності, коли пристрій не підключено до зарядного пристрою.

Як тільки користувач пробуджує пристрій, рухаючи його, включаючи екран або підключаючи зарядний пристрій, система виходить із режиму Doze, і всі програми повертаються до нормальної активності. [38]

App Standby (режим очікування)

Режим очікування додатків дозволяє системі визначити, що програма простоює, коли користувач не активно її використовує. Система визначає це, коли користувач не торкається програми протягом певного періоду, і не застосовується жодна з наступних умов:

- користувач явно запускає програму;
- додаток має процес, який зараз знаходиться на передньому плані (або як діяльність, або на передньому плані, або використовується іншим видом діяльності або службою переднього плану);
- додаток генерує сповіщення, яке користувачі бачать на екрані блокування або на панелі сповіщень;
- додаток – це активна програма адміністратора пристрою (наприклад, контролер політики пристрою); хоча вони, як правило, працюють у фоновому режимі, програми адміністратора пристрою ніколи не переходять у режим очікування додатків, оскільки вони повинні залишатися доступними для отримання політики від сервера в будь-який час.

Коли користувач підключає пристрій до джерела живлення, система вивільняє програми з режиму очікування, дозволяючи їм вільно отримувати доступ до мережі та виконувати будь-які очікувані завдання та синхронізацію. Якщо пристрій триває

бездіяльний протягом тривалого періоду часу, система дозволяє бездіяльний доступ до мережі додатків приблизно раз на день. [38]

1.2.2 Огляд методів та технологій збору навколишньої енергії (Energy Harvesting)

Energy Harvesting – це процес, при якому мінімальна кількість енергії від одного або декількох природних джерел енергії захоплюється і зберігається. Ця енергія може мати форму вібрації, різниці температур, світла або магнітних сил. Найбільш перспективними технологіями для отримання енергії з цих джерел є п'єзоелектричні матеріали (для механічної енергії) та термоелектричні/піроелектричні матеріали (для теплової енергії). [39]

Energy Harvesting є дуже перспективною технологією для додатків, де батареї непрактичні, таких як мережі датчиків тіла та важкодоступні віддалені системи. Ефективність та потенціал пристроїв для збору енергії сильно залежать від продуктивності та специфічних властивостей матеріалів.

Переваги застосування Energy Harvesting в бездротових мережах є значними. Завдяки живленню мережі енергетичним збірником замість акумулятора або дротового з'єднання, пов'язані з цим витрати на технічне обслуговування та встановлення значно зменшуються. Це відкриває нові можливості для встановлення бездротових сенсорних мереж для збору даних у всіх видах середовищ додатків. Широке встановлення бездротових сенсорних мереж сприяє новим технологічним тенденціям, таким як Інтернет речей та збір та аналіз великих даних, що, в свою чергу, може допомогти оптимізувати безліч різноманітних процесів, включаючи управління трафіком та виявлення пожежі. Нарешті, використовуючи навколишню енергію, яка витрачається в іншому випадку, енергозбирачі зменшують споживання енергії та пов'язані з цим викиди вуглецю. [39]

Технологія Energy Harvesting полегшує процес, при якому (часто) невелика кількість енергії, яка може проявлятися в різних формах, може бути перетворена в електричний струм і збережена для подальшого використання. Найпоширеніші джерела енергії, що використовуються для збирання енергії, включають:

1.2.2.1 Thermal-to-Electrical-based Energy Harvesting

Термоелектричний ефект використовується для перетворення різниці температур у напругу. Реалізація ефекту в петлі, побудованій із двох різнорідних провідників, генерує електрорушійну силу V_{emf} , коли між двома загальними точками існує постійний градієнт температури. Вироблена напруга задається

$$V_{emf} = (\alpha_1 - \alpha_2)\Delta T,$$

де α_1, α_2 – коефіцієнти Зеебека для двох різнорідних провідників. Значення α може становити від -100 мВ / К до 1000 мВ / К для звичайних провідників. Для отримання корисних робочих напруг, сумісних з електронними інтегральними схемами, потрібні дуже великі перепади температур. Для того, щоб зробити корисним генератором, провідники, як правило, замінюють напівпровідниками n - та p -типу, як показано нижче (Рисунок 1.10). Ця конфігурація забезпечує передачу тепла в тому ж напрямку, тоді як різниця напруг на матеріалах типу n та p є додатковою.

Вихідна потужність термоелектричного генератора на основі n - p пропорційна квадрату різниці температур між гарячою та холодною поверхнями і пропорційна фізичній площі перерізу ніжок n - p .

Наприклад, генерована щільність потужності при різниці температур 200°C становить близько 100 мВт / cm^2 .

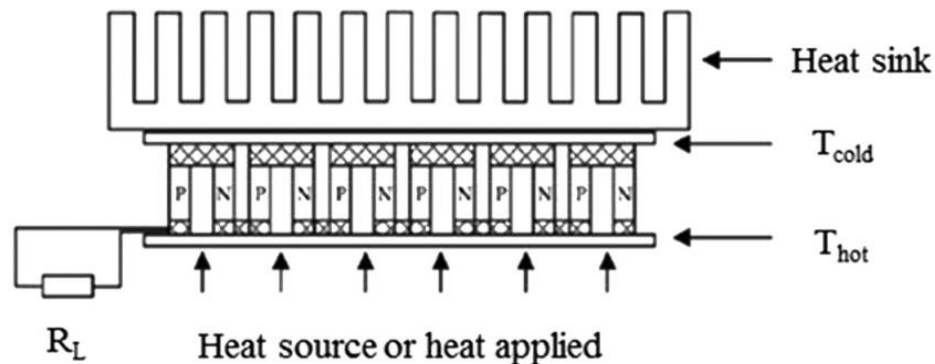


Рисунок 1.10 - Напівпровідники термоелектричних клітин n - та p -типу

1.2.2.2 Solar-to-Electrical-based Energy Harvesting

Найбільш домінуючим джерелом випромінюваної електромагнітної енергії є сонячна енергія, яка освітлює поверхню землі номінальною величиною 1 кВт · m^2 . Сонячну енергію можна збирати в приміщенні та на вулиці за допомогою фотоелектричних приладів. Це робить сонячну енергію першим вибором для збору врожаю, якщо вона задовольняє обмеженням пристроїв або систем, що підлягають живленню. Наприклад, пристрій, що підлягає живленню, може не мати прямого сонячного випромінювання або може вимагати безперебійного живлення вдень, а також вночі без використання накопичувача через обмеження розміру або ваги.

Технологія фотоелектрики головним чином націлена на видиму до близької інфрачервоної частини електромагнітного спектра. Перетворювачі, які зазвичай називають фотоелектриками або фотоелементами, є квантовими пристроями, які безпосередньо генерують пари електрон-дірка в результаті поглинання падаючих фотонів в області виснаження р-п з'єднувального пристрою. Ці пристрої, як правило, моделюються як джерело струму, шунтований ідеальним діодом р-п переходу. Для приміщень виробництво електричної енергії також буде залежати від просторових характеристик джерела світла, а також відстані перетворювача від джерела. Наприклад, очікується, що лампочка розжарювання потужністю 100 Вт буде генерувати кілька мікровольт на виході фотоелемента діаметром 2 мм, розміщеного на відстані 2 м.

1.2.2.3 Radio-Frequency-to-Electrical-based Energy Harvesting (RFE)

Технологія RFE збирає електромагнітну енергію в радіочастотному діапазоні від мегагерц до мікрохвиль. Пристрої RFE зазвичай мають налаштовану приймальну антену для перетворення отриманої радіочастотної енергії в електричну. Потужність, яку генерують збирачі RFE, надзвичайно низька, якщо приймач не знаходиться в безпосередній близькості від джерела та / або приймач дуже великий. Деякі з цих пристроїв для збору енергії використовують електромагнітну енергію навколишнього середовища, що випромінюється поблизу джерелами, і знаходять застосування в автономних вузлах датчиків. Однак ці типи збірників енергії не можна розміщувати всередині провідних корпусів.

Спрямовані радіочастотні випромінювання також використовуються для збору відповідними приймальними антенами (так звана ретенна). Наприклад, активні та пасивні системи радіочастотної ідентифікації (RFID) використовують такі технології.

1.2.2.4 Джерела енергії від людської діяльності

Через нещодавнє розповсюдження пристроїв, що носяться для контролю стану здоров'я, та портативної електроніки, значні зусилля приділяються використанню сили від добровільної та мимовільної діяльності людини, наприклад, від пульсуючих рухів серця.

Таблиця 1.1 порівнює номінальні значення потужності доступні внаслідок людської діяльності та відповідних потреб у енергії деяких типових застосувань.

Таблиця 1.1 - Отримана енергія з руху людини

Людська діяльність	Потужність (W)	Додаток	Отримана потужність (W)	Можлива людська діяльність
Натискання кнопки	0.3	Пульт від телевізора	0.1	Рухи пальцями
Коливання	0.4	Портативний радіоприймач	0.72	Рухи пальцями/згин руки
Стискання ручки	3.6	Мр3-плеєр	0.16	Згин руки
Скручування	12.6	Мобільний телефон	2	Згин руки
Згинання	20	Ноутбук	2	Згин руки
Натискання	20	Ліхтарик	4	Згин руки
Поворот ручки	21	Відеокамера	6	Згин руки

На додаток до використання енергії від рухомих пристроїв людини для перетворення тепла тіла в електричну через термоелектричне перетворення, найближчим часом на ринок можуть надійти гнучкі п'єзоелектричні матеріали, вбудовані в тканини.

Існує значний інтерес до приєднання автономних датчиків контролю здоров'я безпосередньо до таких органів, як серце. Сенсори можуть також сприяти роботі органу, забезпечуючи електричний стимул, як це має місце при серцевих кардіостимуляторах. Такий автономний пристрій вже встановлювали на бичачому серці. Цей пристрій серцевої допомоги використовує гнучкий п'єзоелектричний збирач енергії.

З іншого боку, приховану вартість підключення пристрою для збору енергії до такої системи, як серце, яка оптимізована для певної функції, не слід недооцінювати або не брати до уваги. Воно прокачує кров через кровоносну систему судин для доставки кисню та поживних речовин до окремих клітин та видаляє метаболічні відходи. Приєднання зовнішнього пристрою, яким би малим він не був, може викликати реактивний ланцюг подій із серцево-судинної системи. Довгострокові наслідки навантаження на серцево-судинну систему важко передбачити, і вони потребуватимуть накопичення клінічних даних протягом багатьох років.

1.2.2.5 Mechanical-to-Electrical-based Energy Harvesting

Процес перетворення механічної енергії в електричну може бути описаний у три різні фази, як показано нижче (Рисунок 1.11). На першій фазі механізм взаємодії належним чином передає механічну енергію датчику. У другій фазі перетворювач генерує електричну енергію. На третій фазі генерована електрична енергія збирається і кондиціонується для зберігання в пристрої накопичення енергії, такому як акумуляторна батарея або конденсатор, або для безпосередньої доставки до передбачуваного споживача електричну енергію пристрою (навантаження).

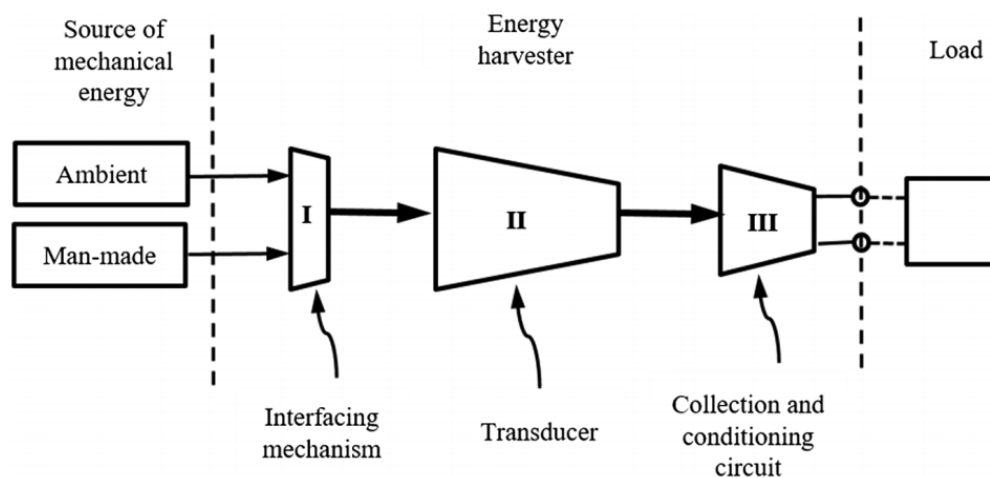


Рисунок 1.11 – Процес збирання електричної енергії з приймаючої системи

1.3 Огляд програмно-апаратних рішень давачів сучасних мобільних пристроїв

Будова смартфона включає в себе безліч різноманітних сенсорів для вимірювання фізичних величин.

Зараз смартфони стали повсюдними інструментами для зв'язку та пошуку інформації, але як частина їх функціональності вони також містять різноманітні датчики для визначення їх орієнтації, розташування та метеорологічних умов. Протягом багатьох років сотні «додатків» були розроблені для доступу до цієї прихованої інформації, перетворюючи смартфони в потужні вимірювальні платформи, і зазвичай без вагомих витрат.

Тим часом математика відіграє ключову роль у всіх наукових дослідженнях, оскільки дослідження та спостереження зазвичай передбачають взяття певної форми даних, і часто ці дані мають числову форму. Потім завдання стає організацією даних, пошуку шаблонів у них та пошуку пояснення цих шаблонів. Ці

пояснення, які називаються теоріями, передбачають прогнози на майбутні експерименти та спостереження, які потім повинні бути перевірені, щоб зрозуміти, чи відповідає передбачуваному те, що було передбачено. [40]

Розглянемо основні сенсори, які є в більшості сучасних смартфонів на базі мобільної операційної системи Android. У багатьох ситуаціях інформація з цих датчиків, завдяки невеликим прикладним програмам, може виявитися корисною і практичною. [41]

1.3.1 Основні сенсори смартфона

З основних датчиків і сенсорів, відомих багатьом, і без яких сьогодні не обходяться хіба що зовсім вже бюджетні мобільні телефони, можна виділити наступні:

- 1) датчик наближення;
- 2) акселерометр;
- 3) датчик фонового освітлення;
- 4) магнітометр;
- 5) гіроскоп.

Крім того, існують також додаткові датчики, які присутні у смартфонах більш дорогої категорії.

Розглянемо основні датчики окремо.

1.3.2 Акселерометр

Найпопулярніший датчик в смартфонах – це акселерометр або G-sensor. Він являє собою позиційний датчик, який визначає кутові відхилення осей об'єкта. А простіше кажучи, в смартфонах це датчик призначений для визначення руху та положення пристрою в просторі. [41]

В першу чергу, G-sensor в операційній системі Android використовується для перемикання візуального режиму робочого столу з горизонтального на вертикальний і назад при повороті апарату. Також очевидним застосуванням акселерометра смартфона є його використання в якості віртуального джойстика в комп'ютерних іграх. [41]

Смартфони повинні знати свою орієнтацію в просторі, щоб відрегулювати свої дисплеї так, щоб не відставати від руху користувача, наприклад, динамічно змінюючись від портретного до ландшафтного режиму.

Акселерометр у смартфоні – це чип, що має кристалічну структуру, п'єзоелектричний елемент і сенсор ємнісного опору. Коли смартфон переміщується/обертається, то п'єзоелектричний елемент випромінює розряди, а

сенсор їх інтерпретує, таким чином визначаючи положення та швидкість (Рисунок 1.13). [42]

Датчик прискорення – це найсучасніший, мікроелектромеханічний прилад (MEMs), виготовлений за допомогою сипучих методів мікрофабрикації кремнію. Кремнієва підкладка травиться для створення двох типів датчиків прискорення. Перший тип вимірює прискорення в площині кремнієвої підкладки і використовується для створення датчиків X і Y. У смартфонах акселерометр розуміє переміщення за 3 осями (Рисунок 1.12). Третя ось потрібна для 3D позиціонування. [40]

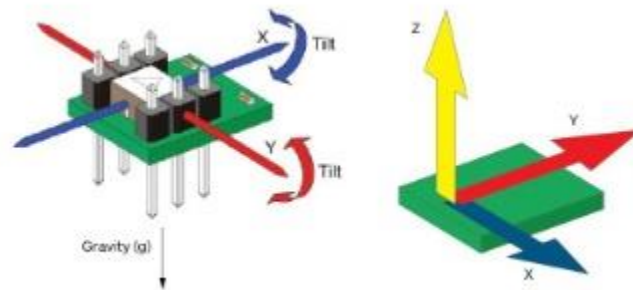


Рисунок 1.12 – Будова акселерометра у смартфоні



Рисунок 1.13 – Компоненти акселерометра для мобільних приладів

1.3.3 Гіроскоп

Окрім акселерометра, смартфони мають датчик, який вимірює обертання навколо кожної з трьох осей корпусу смартфона.

Гіроскоп використовує датчик вібрації камертона, в якому пара зубців зроблена для згинання на їх природній частоті, і буде протистояти повороту, тому потрапить за площину решти пристрою, якщо телефон повернути.

Типові гіроскопічні датчики для смартфонів мають рівень оцифрування 0,001 радіана/сек. Для порівняння, обертання Землі виробляє 2Пі радіанові зависання кожні 24 години на екваторі, що є швидкістю 0,00007 радіанів/с, і тому не може бути виміряна смартфонами. [40]

Зазвичай в сучасних смартфонах акселерометр та гіроскоп працюють в тандемі. Гіроскоп важливий для ігор, доповненої реальності, а також ряду інших додатків. Нерідко в дешевих смартфонах виробник вважає за краще економити на гіроскопі.

У гіроскопах всередині телефонів не використовуються колеса і карданчики, як у традиційних механічних, які ви можете знайти в старому літаку – замість них гіроскопи MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) – менша версія концепції, вбудована в електронну дошку щоб він міг поміститися всередині телефону. [44]

Як правило, подібні гіроскопи випускаються в герметичних керамічних LCC корпусах які можна встановлювати на системні плати. Датчик складається з п'яти основних компонентів (Рисунок 1.14):

- кремнієвого кільцевого MEMC-сенсора (MEMS-ring);
- основи з кремнію (Pedestal);
- інтегральної мікросхеми гіроскопа (ASIC);
- корпуса (Package Base);
- кришки (Lid). [43]

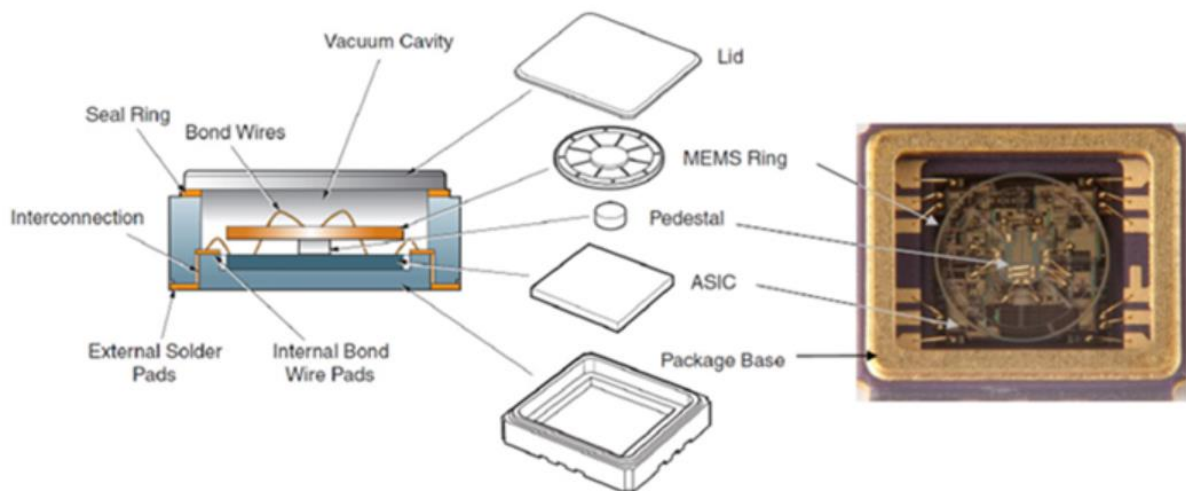


Рисунок 1.14 – Внутрішня будова гіроскопа

1.3.4 Магнітометр

Більшість програм «Компас» використовують магнітометр смартфона для визначення напрямку до Магнітної Півночі, а потім використовують інформацію про орієнтацію смартфона, щоб визначити, в якому напрямку ви вказуєте, щоб магнітне відношення можна було обчислити. Доповнюючи це інформацією GPS, можна вивести корекцію на дійсну географічну Північ. Аналогічні розрахунки застосовуються в Південній півкулі. Точність визначення ступенів азимуту обмежена точністю 3-осевого магнітометра смартфона в горизонтальній площині. Більшість постачальників додатків відмовляються від цих інструментів для наукових робіт з орієнтацією на високу точність та рекомендують використовувати високоякісні технології компаса з кращою магнітною чутливістю. Усі визнають, що фактори навколишнього середовища можуть впливати на компас, тому найкраще використовувати його на відкритому повітрі та далеко від очевидних джерел магнітного шуму, таких як лінії електропередач, генератори та трансформатори. [44]

Коли ви входите і виходите з режиму компаса в Apple Maps або Google Maps, цей магнітометр відповідає за те, щоб визначити, яким чином має бути розміщена карта. Він також забезпечує автономні програми для компасів.

Магнітометри знаходяться і в металошукачах, оскільки вони можуть виявляти магнітні метали, саме тому існують додатки металошукачів для смартфонів.

Однак датчик працює не поодиноці за своїм основним призначенням, яке знаходиться у додатках для картографування – він працює в тандемі з даними, що надходять з акселерометра телефону та GPS-пристрою, щоб визначити, де ви знаходитесь у світі та в який бік вказуєте (дуже зручно для детальних навігаційних маршрутів). [43]

1.3.5 GPS

По суті, це навіть не датчик, а наявність у смартфона можливості комунікувати з супутниками.

GPS-пристрої в телефонах отримують пінг із супутника в просторі, щоб визначити, на якій частині планети ви стоїте (або проїжджаєте). Насправді вони не використовують жодних даних вашого телефону, тому ви все одно можете бачити своє місцезнаходження, коли телефон втратив сигнал, навіть якщо самі плитки карти є розмитими, малопомітними. [44]

Насправді він з'єднується з кількома супутниками, а потім обчислює, де ви базуєтесь на кутах перетину (Рисунок 1.15). Якщо супутників не знайти – ви знаходитесь у приміщенні або хмарний покрив важкий – ви не зможете отримати підключення.

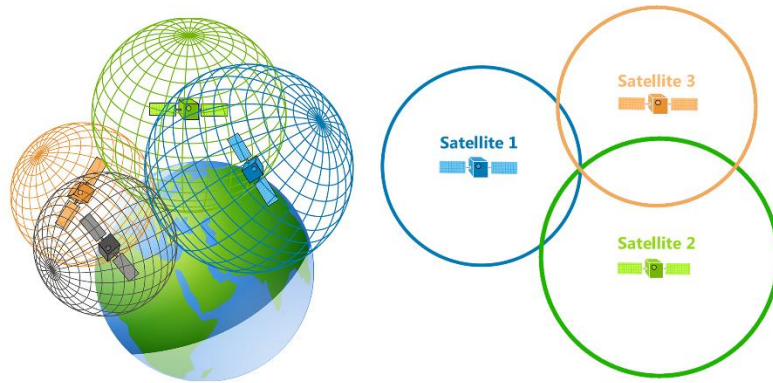


Рисунок 1.15 – Принцип роботи GPS

Сучасні GPS-пристрої всередині смартфонів насправді поєднують GPS-сигнали з іншими даними, наприклад, силою сигналу мобільного зв'язку, щоб отримати більш точні показання місцеположення. [44]

1.3.6 Датчик наближення

Складений з інфрачервоного світлодіода та ПЧ-детектора світла датчик наближення – це датчик, який допомагає визначити наявність перед ним об'єкта. Найпростіший приклад – це відключення екрану, коли смартфон підносять до вуха. Також датчик наближення виключає фантомні вклучення екрану, коли смартфон перебуває в сумці або кишені. Такий датчик може сам або в комбінації з фронтальною камерою відстежувати рухи рукою над екраном для виконання будь-яких функцій. Наприклад, гортання сторінки в браузері тощо. Існує безліч технологій датчика наближення. Він може працювати за типом радара, сонара, ефекту Доплера, є інфрачервоний датчик наближення, а іноді ставлять і фотоелемент.

Це зондування робиться для зменшення споживаної енергії на екрані під час дзвінка, вимкнувши підсвічування LCD-екрана. Він також відключає сенсорний екран, щоб уникнути ненавмисних дотиків до щоби.

1.3.7 Датчик навколишнього освітлення

Датчик навколишнього освітлення здійснює вимірювання світла в кімнаті і відповідно регулює яскравість екрана (якщо він дійсно встановлений для автоматичної настройки).

Завдання цього датчика гранично прості і полягають в тому, щоб визначити ступінь зовнішнього освітлення і відповідно налаштувати яскравість екрану. Завдяки такій автонастройці яскравості, стала можливою економія електроенергії, особливо для оптимізації витрат вашого акумулятора. [43]

1.3.8 Датчик Холла

Датчик, заснований на, так званому, ефекті Холла, фіксує магнітне поле і вимірює його напруженість.

Але в смартфонах використовується спрощений датчик Холла, що фіксує тільки наявність магнітного поля.

Реалізація досить проста: поміщений в магнітне поле провідник, по якому проходить електричний струм, сприяє тому, що електрони відхиляються до однієї з граней пластини. Електрони в цій частині накопичують негативний заряд, на протилежній грані – позитивний. Процес триває до моменту, поки утворене електричне поле не компенсує магнітну складову сили Лоренца. Отримана різниця потенціалів (яку називають холлівських напругою) на краях пластини фіксується датчиком Холла (Рисунок 1.16). [45] У телефоні він реалізований мікросхемою, на виході якої створюється сигнал у двох станах:

- одиниця (1 – є сигнал);
- нуль (0 – сигналу немає).

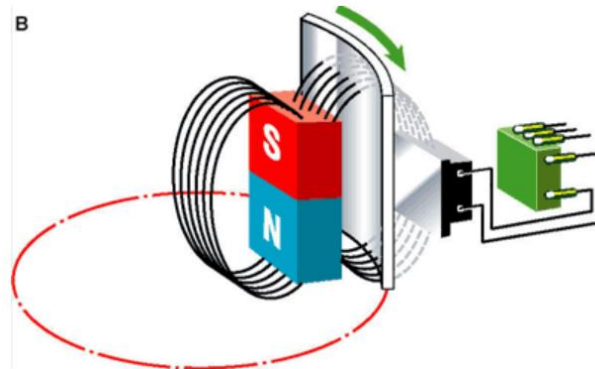


Рисунок 1.16 – Датчик Холла

Залежно від прочитаної інформації з датчика смартфон виконує запрограмовану дію.

Зазвичай датчик Холла потрібен для додаткових аксесуарів. Наприклад, саме він включає екран iPad, коли користувач знімає магнітний чохол. До речі, в цій функції датчик наближення цілком може підмінити датчик Холла.

Також датчик Холла працює в парі з компасом, роблячи роботу останнього більш точною.

1.3.9 Барометр

В деякі смартфони також вбудовується барометр. Він допомагає з позиціонуванням. Вбудований барометр вимірює атмосферний тиск у теперішньому розташуванні смартфона і визначає висоту над рівнем моря. [46]

Багато флагманські смартфони сьогодні оснащуються не тільки приймачами GPS і ГЛОНАСС, а й барометром, завдяки чому захоплення сигналу від супутника і визначення початкового місця розташування відбувається миттєво.

Розглянемо принцип роботи цього датчика на прикладі смартфона Samsung Galaxy S III, де визначення різниці тиску може бути перераховано близько 25 разів на секунду. Така швидкість дозволяє чітко визначати рух людини вгору і вниз, тобто використовувати навігацію не тільки в горизонтальній площині, а й у вертикальній. Таким чином, ми отримуємо об'ємну навігацію, яка повністю відповідає дійсності. Наприклад, при навігації в торговому центрі вам буде недостатньо звичайного GPS-навігатора, так як він вкаже точку на площині землі, а не те, на якій висоті перебуває ваш маршрут. А автомобільні навігатори можуть орієнтуватися в багатоповерхових парковках і багатоярусних дорогах.

Датчик тиску дозволяє це здійснити, і отримати не тільки точні координати заданого місця, а й інформацію, на якому поверсі або висоті пролягає маршрут.

Зазвичай подібні датчики включають в себе і систему обробки даних, а їх розміри знаходяться в межах 3x3x1 мм. Крихітний сенсор реагує на зміни по висоті з точністю до 50 см. Методика реалізована шляхом порівняння зовнішнього атмосферного тиску по відношенню до вакуумній камері всередині датчика. Крім вакуумної камери і сенсорів, в мініатюрному корпусі пристрою знаходяться вбудований мікропроцесор, аналоговий підсилювач, цифровий 3-процесор і елемент незалежної пам'яті. [46]

Розглянуті датчики присутні в більшості сучасних смартфонів і дозволяють вирішувати ряд корисних завдань.

1.4 Використання елементів смартфона для аналізу характеристик світла та зображення

Багато напрямів науки, техніки і виробництва в значній мірі орієнтуються на розвиток систем, в яких інформація носить характер поля (зображення). При обробці такої інформації виникає ряд складних наукових, технічних і технологічних проблем.

Однією з найскладніших на сьогоднішній момент з них є обробка і розпізнавання зображень. Про важливість цієї проблеми свідчить той факт, що дослідження з розпізнавання образів, аналізу зображень та мови включені в перелік пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки і критичних технологій федерального рівня [48]. Розпізнавання зображень знаходить широке застосування в різних додатках.

Різноманітність методів і алгоритмів обробки зображень зумовлена великою кількістю вирішуваних завдань, технічних засобів отримання візуальної інформації і областей застосування. [47]

У типовому смартфоні аналіз зображення в режимі реального часу можна проводити за допомогою комбінації:

- датчика навколишнього освітлення, розглянутого вище (Ambient Light Sensor – ALS);
- зображень, отриманих на камеру смартфона.

Смартфони використовують лічильники світла для встановлення швидкості експозиції та ISO-швидкості фільму цифрової камери. Ці системи дозування створюються шляхом «виявлення» пікселів у частині мікросхеми камери для вимірювання світла, що падає на них. Ця інформація в режимі «точкового вимірювання» використовується для встановлення швидкості експозиції камери. F-стоп камери смартфона фіксується зазвичай на $f / 2$ (швидко) або $f / 2.4$ (повільно) або близько того, на відміну від цифрових камер. Приблизно різниця напівприпинення камер відповідає швидшим камерам, які бачать на 50% більше світла, і тому вони працюють краще в умовах низького рівня освітлення. Смартфони також використовують датчики навколишнього світла - це автономні пристрої, щоб визначити, наскільки яскравим повинен бути дисплей для комфортного перегляду. Ці датчики не дуже спрямовані на відміну від системи вимірювання світла камери. Більшість датчиків навколишнього світла смартфона - це фотодіоди, поточний струм яких змінюється залежно від кількості світла.

1.4.1 Будова Ambient Light Sensor

ALS встановлений за екраном дисплея, в якому цінний кожен квадратний міліметр площі. Крім того, він має можливість виявити близькість (щоб вимкнути дисплей, коли він тримається на обличчі користувача), а також виміряти зовнішнє світло.

Фотодіоди реагують на світло інакше, ніж людське око. Людське око нечутливе до інфрачервоного (ІЧ) світла (довжина хвилі більше 780 нм) та ультрафіолетового (УФ) світла (довжина хвилі менше 380 нм). З іншого боку, стандартний фотодіод кремнію звичайно відчуває світло на будь-якій довжині хвилі між 300 і 1100 нм. [49]

Видаляються ІЧ-та УФ-компоненти з виходу датчика. Функція ALS полягає в тому, щоб фіксувати вимірювання освітленості (з яких одиницею вимірювання є люкс), що падає на дисплей смартфона. Якщо це вимірювання люкс включає УФ та ІЧ, а також видиме світло, контролер підсвічування дисплея отримає спотворене зображення людської або «фотопічної» відповіді на умови навколишнього світла. Тобто навколишнє світло буде здаватися яскравішим для датчика, ніж для людського ока.

Це тому, що і природне, і штучне світло містять ІЧ-елемент. Це стосується, наприклад, і сонячного світла (Рисунок 1.17), і світла від лампи розжарювання. Очевидним способом видалення ІЧ-світла є накладання оптичного ІЧ-фільтра на датчик. Але в смартфоні цей самий датчик зазвичай використовується для виявлення близькості (у тандемі з ІЧ-світлодіодом) для вимкнення дисплея та сенсорного контролера, поки телефон тримається за обличчя користувача.

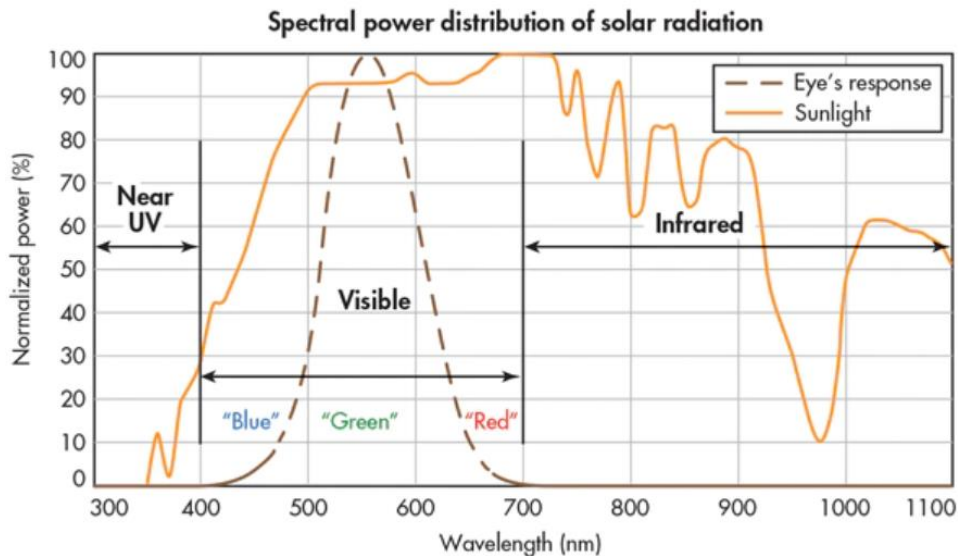


Рисунок 1.17 – Спектральний розподіл потужності сонячного випромінювання, який показує, що ІЧ-елемент невидимий для людського ока

Рішенням проблеми є подвійний діодний модуль, розроблений AMS. Один фотодіод (показаний як канал 0 на Рисунок 1.18) відчуває весь спектр, а інший (показаний як канал 1) відчуває світло переважно в ІЧ-частині спектру. Віднімання виходу ІЧ-фотодіода від виходу датчика повного спектра виробляє вимірювання видимого світла. [49]

Датчик досить нечутливий до ультрафіолетового світла, і в будь-якому випадку загальні джерела світла випромінюють мало УФ-випромінювання. У більшості випадків пакувального матеріалу, який може поглинати УФ світло, достатньо для видалення його з метою зондування навколишнього світла.

Після вилучення ІЧ-компонента світла з виходу ALS виникає друга проблема: Як обмежити кут огляду модуля ALS / датчика близькості, не погіршуючи його працездатність? Це питання торгування ALS проти датчика близькості.

Для зондування навколишнього світла ідеальним кутом зору є (практично неможливо) 180° , оскільки це кут огляду дисплея, на який падає навколишнє світло. Але для зондування близькості навпаки – потрібен вузький кут огляду, щоб обмежити потенціал для перехресних переговорів між ІК-світлодіодом та ІК-датчиком. В ідеалі ІЧ-датчик повинен бути в змозі чути лише ІЧ-світло, відбите від обличчя користувача, а світлодіод не повинен мати змогу безпосередньо освітлювати датчик або відбивати світло від верхньої або нижньої поверхні сенсорної панелі. [49]

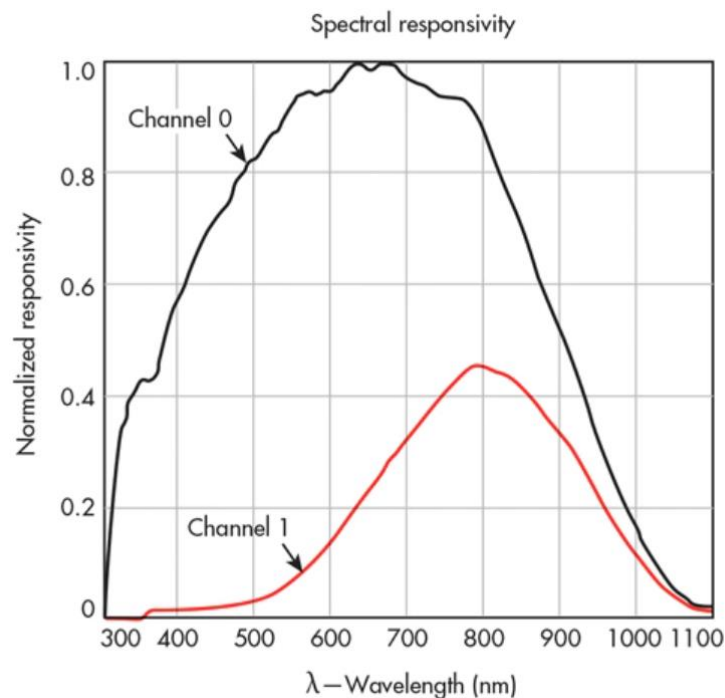


Рисунок 1.18 - спектральна чутливість TMD2772, сімейства подвійних діодних модулів, розроблених AMS (austriamicrosystems), що включає TMD27721 і TMD27723

Отже, цей конфлікт між вимогами ALS та ІЧ-датчиком вимагає компромісу. Експериментуючи, дизайнери смартфонів встановили, що кут огляду від 90° до 110° забезпечує високу продуктивність виявлення близькості, одночасно забезпечуючи відносно хороші показники роботи в системі зондування освітлення. Звуження кута нижче 90° різко погіршує продуктивність ALS. Крім того, щоб система працювала з кутом огляду 90° , між нижньою частиною сенсорного екрану

та вершиною сенсорного модуля повинен існувати дуже невеликий повітряний зазор. [49]

Кут огляду – це не єдине питання механічного проектування, що впливає на ALS. Щоб світло пройшло через екран до модуля датчика, отвір повинен залишитися відкритим. Виробники хочуть, щоб цей отвір був якомога меншим, однак, щоб не зіпсувати гладкий вигляд сенсорного екрану. Вони також маскують зовнішній вигляд діафрагми чорнилом, доданим до скляної поверхні екрана, яке затемнює його і поєднує його колір із корпусом телефону. Чорнило та невелика діафрагма зменшують інтенсивність падаючого світла на модуль датчика.

Крім того, на виробничій лінії OEM повинен суворо контролювати зміну проникності чорнила. Якщо, наприклад, використовується 17% трансмісивна фарба, зміна лише $\pm 1\%$ в трансмісивності чорнила призведе до 5,9% додаткової помилки ($1/17 \times 100$) у виході ALS.

Третя важлива проблема дизайну при впровадженні навколишнього освітлення в смартфоні – це керування дуже високим динамічним діапазоном світлових входів. Виробники смартфонів хочуть, щоб яскравість підсвітки дисплея була встановлена належним чином, незалежно від того, чи пристрій використовується в майже повній темряві (освітленість до 0,1 лк) або під прямим сонячним промінням (освітленість досягає 220 клукс). Це вимагає, щоб датчик пропонував високу чутливість у дуже широкому динамічному діапазоні, зберігаючи при цьому дуже низький рівень шуму. Крім того, посилення пристрою має бути контрольованим у відповідь на зміни яскравості зовнішнього світла.

Щоб виконати цю характеристику, смартфон піддається різним видам джерел світла, які випромінюють різні пропорції ІЧ та УФ-світла. Потім вимірюються люкс вимірювання еталонного, надточного люксметра та модуля ALS при однакових умовах освітлення для порівняння виходу модуля. Розмір люкс повинен бути прикритий витяжкою, щоб він імітував обмежений кут огляду датчика світла.

Взагалі, чим більше наборів даних, які збираються при більшій кількості джерел світла, тим точніша характеристика.

Враховуючи відповідну механічну конструкцію, суворий контроль пропускання чорнила у виробництві та ретельну характеристику, похибка в системі зондування освітлення навколишнього світла може бути обмежена не більше $\pm 15\%$. У деяких випадках можна досягти лише $\pm 10\%$ помилок. Це достатньо добре, щоб служити метою регулювання яскравості підсвітки для економії енергії та покращення досвіду користувача.

Для вищої точності потрібне створення дуже чутливого датчика навколишнього світла (як автономний пристрій без виявлення близькості). Одним із таких прикладів є TSL25911 Am. [49]

1.4.2 Будова фотоматриці смартфона

Цифрова матриця – це прямокутний елемент з розташованими на ній мільйонами крихітних світлочутливих діодів.

Самі по собі ці фотоприймачі не «розрізняють» кольору, тому накриваються світлофільтром одного з первинних кольорів: червоного, зеленого, синього (колірна модель RGB). Таким чином, світловий потік спочатку проходить через об'єктив, потім просвічує через масив кольорових фільтрів (зазвичай фільтр Байєра), а тільки потім досягає фотоприймачів. [50]

Основні етапи формування зображення показані нижче (Рисунок 1.19). Світло від джерела проходить через лінзу, потім проходить через фільтр, який є масивом пікселів CMOS з патчем 2x2, що містить 1 червону, 2 зелену та 1 чутливу до синього кольору фільтри під назвою маска Байєра. Кожен з цих масивів 2x2 пікселів являє собою один «піксель» зображення (Рисунок 1.20), щоб забезпечити процесору зображення інформації для відновлення кольору пікселя. Потім процесор поєднує інформацію з червоних, зелених та чутливих до синього пікселів для створення кольорового зображення.

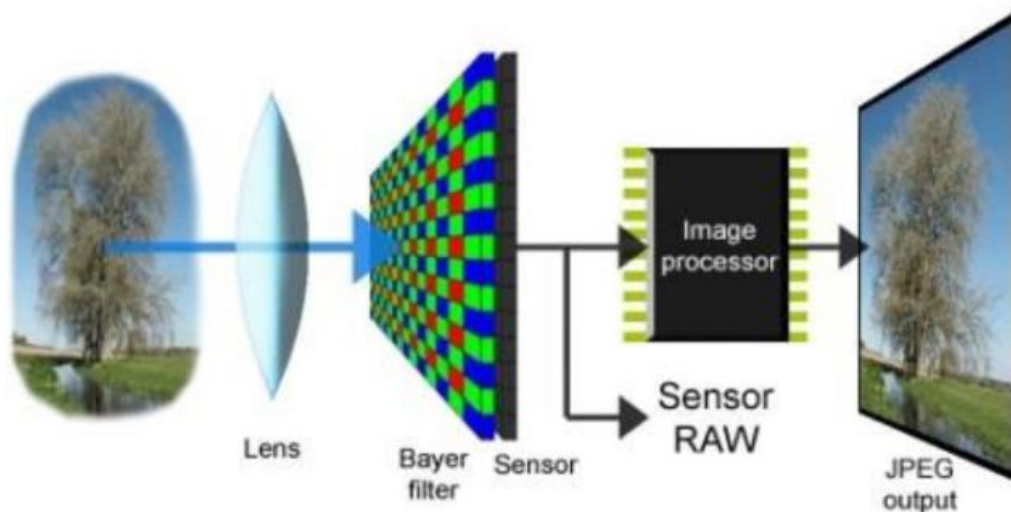


Рисунок 1.19 – Етапи формування зображення

Об'єктив смартфона зазвичай має діаметр близько 2 міліметрів, а фільтр Байєра та масив мають розмір приблизно від 1/4 до 1/3 дюйма (3-5 міліметрів). Оскільки фізичний розмір датчика CMOS змінюється дуже мало від покоління до покоління, збільшений розмір мегапікселів камер пов'язаний з тим, що розміри пікселів стають

все меншими та меншими. Нинішні 13-мегапіксельні камери мають пікселі лише трохи більше 1 мкм. Попередні покоління з 8-мегапіксельних масивів використовували 1,4-мікронні пікселі. Довжина хвилі червоного світла становить приблизно 0,7 мкм, тому поточні пікселі розміром в мікрони дозволяють лише 1-2 хвилі світла перетнути їхні розміри.

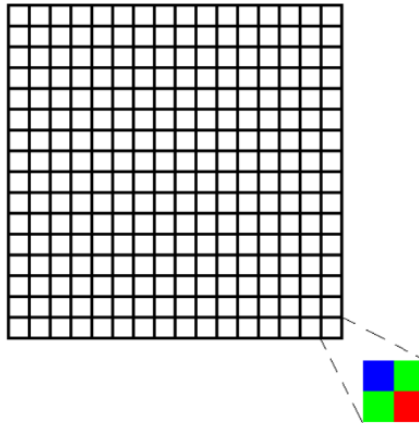


Рисунок 1.20 – Розташування червоно-зелено-синіх пікселів у масиві камери

Використання «мегапіксельних» номерів для опису масивів походить від добутку ширини пікселя на висоту масиву, але є неоднозначність щодо того, чи мається на увазі фактичний чіп масиву або менша кількість пікселів зображення після фільтрування зображення крізь фільтр Байера. Наприклад, якщо масив CMOS має 4 мільйони пікселів, кожен з яких має власний фільтр RGB, то остаточне зображення матиме лише 1 мільйон пікселів. Потужне програмне забезпечення, що працює у процесорі фотокамери, може фактично використовувати інформацію про кольорову сітку Байера для з'ясування або «демосаїки» даних та оцінювати повне значення кольору кожного пікселя в масиві датчиків. Кінцевим результатом є те, що розширення камери краще, ніж можна було б очікувати, якщо кожен блок 2x2 з трьох кольорами представляє піксель, але гірше, ніж для кожного окремого пікселю. Межа реальної роздільної здатності масива Байера, як правило, становить приблизно 1,5X від розміру окремих пікселів.

Смартфони оснащені двома чіпами для зображення, які називаються передньою камерою та задньою камерою. The передня камера стикається з вами, коли ви використовуєте дисплей смартфона. Задня камера знаходиться на протилежній стороні смартфона від основного екрану і використовується для більш якісних зображень. Ці камери трохи відрізняються. Наприклад, iPhone 6s має передній «selfie» камеру з 1,2 мегапікселями ($f / 2,2$) і задню камеру з 12 мегапікселями ($f / 2,2$ і 1,22 мкм пікселів). В інших аспектах вони фотометрично однакові. Піксельна камера GOOGLE, тим часом має 8-мегапіксельну фронтальну

камеру ($f / 2.4$ та $1.4 \mu\text{m}$ пікселів), тоді як 12.3-мегапіксельна задня камера ($f / 2.0$ та $1.55 \mu\text{m}$) – це швидша камера з більшими пікселями. [52]

Кожен світлочутливий елемент сприймає $\frac{1}{3}$ колірної інформації, а $\frac{2}{3}$ відсікаються фільтром. Відсутня інформація про колір «видобувається» з сусідніх світлочутливих осередків. Після цього процесор розраховує дані про колір на підставі показань оточуючих осередків і тільки після цього формує кінцеве значення кольорового пікселя. Тобто у формуванні одного пікселя беруть участь кілька фотодіодів матриці. Всі ці елементи настільки малі, що видно лише під мікроскопом. Мільйон таких пікселів складають один мегапіксель. Відповідно, чим більше мегапікселів, тим більш деталізованим буде кінцевий файл зображення. [50]

Історично однією з найкращих за якістю вважалася CCD-технологія (Рисунок 1.21), але з певних причин велику частку на ринку захопила технологія КМОП. У смартфонах також використовуються різновиди КМОП-технології. Цей тип матриць має низку особливостей, найбільш важливих для мобільних гаджетів: КМОП-матриці мають низьке енергоспоживання, дозволяють розміщувати підсилювачі всередині пікселя (що покращує якість при поганому освітленні), більш дешеві у виробництві, забезпечують високу швидкість роботи при формуванні зображення і при візуванні в реальному часі.

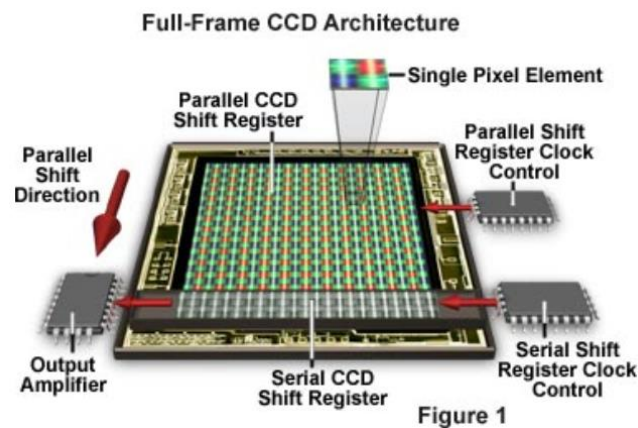


Рисунок 1.21 – Будова CDD матриці

Деякі мобільні додатки вимірюють інтенсивність світла з точки зору освітленості в одиницях Lux.

Фізично освітленість пов'язана з потоком променистої енергії на квадратний метр і є добутком спектру випромінювання та нормалізованої спектральної функції реакції людського ока і підсумовується по всіх довжинах хвиль для отримання загального потоку енергії. Оскільки кожна довжина хвилі зважується тим, наскільки добре сітківка людини може її виявити, не існує єдиного коефіцієнта перетворення між люкс і $\text{Вт} / \text{м}^2$, і неможливо здійснити перетворення, якщо не відомий спектральний склад світла. [40] Математично

$$Lux = \frac{\int_0^{\infty} B(\lambda, T) N(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} N(\lambda) d\lambda},$$

де $B(\lambda, T)$ – функція чорного тіла в одиницях спектральної щільності енергії Вт / м² / стерadian / метр, а N – коефіцієнт зважування між 0 і 1,0 таким, що при піку реакції ока людини при довжині хвилі 555 нм маємо $N(555) = 1,0$.

Наприклад, 0,0029 Вт зеленого світла ($\lambda = 510$ нм, $V(\lambda) = 0,5$) забезпечить освітленість 1 люкс, тоді як лише 0,0015 Вт жовтого світла ($\lambda = 555$ нм, $V(\lambda) = 1$) забезпечують 1 люкс, і для отримання 1 люкс потрібно 0,015 Вт червоного світла ($\lambda = 650$ нм, $V(\lambda) = 0,1$).

Оскільки потік сонячного світла в умовах полуденного денного світла становить близько 100000 люкс, що це відповідає сонячній інсоляції близько 1000 Вт / м², ми можемо оцінити, що 1 лк = 100 Вт / м². 60-ватна лампа розжарювання може генерувати 850 люмен. Але оскільки 1 люкс = 1 просвіт / 1 м², якщо цибулина знаходиться в центрі кулі площею 16 квадратних метрів, ви маєте 850/16 = 53 люкс. Як правило, 60-ваттна лампочка не виробляє 60 Вт світлової енергії, але значно менше, тому коефіцієнт перетворення вище не застосовується.

Багато додатків використовують власні параметри експозиції камери, тому вони можуть змінюватись майже на зупинку часом від того, що може бачити лічильник. Пристрої iOS надають «значення яскравості» у потоці даних EXIF, і це значення, як видається, відслідковує зовнішні лічильники дуже уважно. Програми, які використовують значення яскравості або аналізують зображення на захопленому пікселі, щоб компенсувати поведінку камери ETTR, повинні відстежувати зовнішній метр до десятої частини зупинки. [51]

Вимірювачі «перегляду камери», очевидно, найпростіші у використанні, оскільки у вас є пряме зображення точного вимірюваного поля. Значення люкс, зареєстровані для цих додатків на основі камер, майже однакові в усьому динамічному діапазоні рівнів освітлення. Системи «точок» не вказують на місцезнаходження в обмірюваному полі, і хоча вони приблизно відповідають однаковим розмірам, вони значно відрізняються від величин люкс у системах вимірювання камери. Хоча точкові системи стверджують, що вимірюють люкс-одиниці, значення вимірювань кардинально відрізняються, ніж додатки для перегляду камери для високих рівнів освітлення. [40]

При використанні смартфона в якості вимірювального приладу для вимірювання показників світла цілком можливо отримати досить точні значення. Але при цьому необхідно враховувати будову датчика навколишнього освітлення і фотоматриці для зменшення похибки вимірювання.

1.5 Висновки за розділом 1

В рамках розділу 1 проведено аналіз шляхів та засобів вирішення проблеми енергетичної забезпеченості мобільних пристроїв.

Мобільні пристрої набули широкого розповсюдження, від них залежить бізнес-процеси, соціальні відношення, людські стосунки тощо.

Енергетична обмеженість є однією з найважливіших складових, які визначають ефективність застосування сучасних мобільних пристроїв

Існує 2 основних шляхи зниження залежності мобільних пристроїв від енергетичних обмежень. Перший – підвищення енергетичної ефективності програмно-апаратних рішень, яке досягається на трьох рівнях. Другий – використання методів та технологій Energy Harvesting.

Для подальшого розгляду обрано дослідження можливості застосування фонових джерел світлової енергії для подолання енергетичної обмеженості сучасних мобільних пристроїв.

Сучасний мобільний пристрій обладнано безліччю програмно-апаратних датчиків, які можуть бути використані, в тому числі, для дослідження можливості застосування фонові світлової енергії як додаткового джерела живлення.

Дослідження можливості використання програмно-апаратних датчиків мобільних пристроїв для вимірювання енергетичних показників освітленості потребує створення нових методів та підходів.

2 ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ФОНОВИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

2.1 Монохроматор як світлотехнічне обладнання для визначення точності датчика освітленості смартфона

Монохроматор – це оптичний пристрій, який передає вузьку смугу монохроматичного випромінювання, механічно виділеного з широкого діапазону довжин хвиль, наявних на вході.

Пристрій, який може виробляти монохроматичне світло, має багато застосувань у науці та оптиці, оскільки багато оптичних характеристик матеріалу залежать від довжини хвилі. Хоча існує ряд зручних способів вибору вузької смуги з однією довжиною хвилі (яка у видимому діапазоні сприймається як чистий колір), існує не так багато інших способів легко вибрати будь-яку смугу довжини хвилі з широкого діапазону.

У жорсткій рентгенівській та нейтронній оптиці використовуються кристалічні монохроматори для визначення хвильових умов на приладах.

Монохроматор може використовувати або явище оптичної дисперсії в призмі, або явище дифракції за допомогою дифракційної решітки, щоб просторово розділити кольори світла. Зазвичай він має механізм спрямування вибраного кольору до виїмної щілини. Зазвичай решітка або призма застосовуються у відбивальному режимі. Світловідбиваючу призму виготовляють шляхом виготовлення прямокутної трикутної призми (як правило, половини рівнобічної призми) з дзеркальною стороною. Світло проникає через обличчя гіпотенузи і відбивається назад через нього, переломлюючись двічі на одній поверхні (Рисунок 2.1). Загальне заломлення та повна дисперсія є такими ж, як це було б, якби в режимі передачі була використана рівностороння призма.

Дисперсія або дифракція може бути керованою лише тоді, коли світло коліматовано, тобто якщо всі промені світла паралельні, або практично так. Джерело, як сонце, яке знаходиться дуже далеко, забезпечує колімаційне світло. Ньютон використовував сонячне світло у своїх знаменитих експериментах. Однак у практичному монохроматорі джерело світла знаходиться поруч, і оптична система в монохроматорі перетворює розходящеся світло джерела в колімаційне світло. Хоча деякі конструкції монохроматора використовують решітки для фокусування, які не потребують окремих коліматорів, більшість використовують дзеркала, що колімують. Світлоотражаючій оптиці віддають перевагу, оскільки вона не вносить власних дисперсійних ефектів.

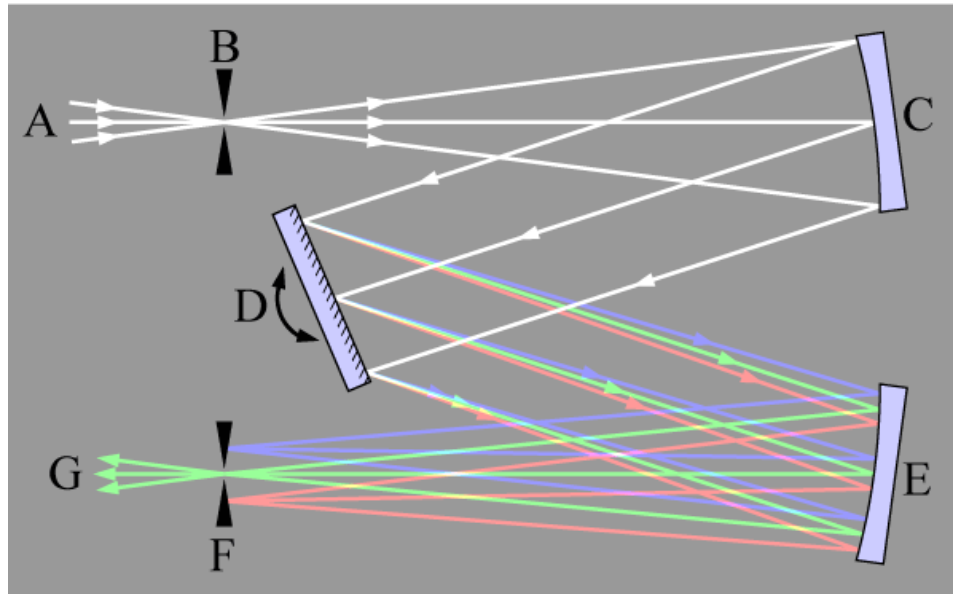


Рисунок 2.1 – Принцип роботи монохроматора

Діапазон регулювання монохроматора може охоплювати видимий спектр та деяку частину ультрафіолетового (УФ) та інфрачервоного (ІЧ) спектрів, хоча монохроматори побудовані для великої кількості оптичних діапазонів та для багатьох конструкцій.

Монохроматори часто калібруються в одиницях довжини хвилі. Рівномірне обертання решітки призводить до синусоїдальної зміни довжини хвилі, яка приблизно є лінійною для малих кутів решітки, тому такий інструмент легко побудувати. Багато основних фізичних явищ, що вивчаються, є енергетично лінійними, але, оскільки довжина хвилі та енергія мають зворотну залежність, спектральні візерунки, які є простими та передбачуваними при побудові у вигляді енергетичної функції, спотворюються, коли будуються на графіку як функція довжини хвилі. Деякі монохроматори відкалібровані в одиницях зворотних сантиметрів або деяких інших енергетичних одиницях, але шкала може бути не лінійною.

2.2 Аналіз вхідних факторів

2.2.1 Показники освітленості та опроміненості світлоприймальної поверхні

Тривалий еволюційний розвиток різних напрямків світлотехніки, конструкцій освітлювальних приладів, уявлень про природу електромагнітного випромінювання, використання енергії світла (випромінювання) в різних сферах

науки і техніки і т. д. став результатом надзвичайної різноманітності величин, які кількісно характеризують світло (випромінювання) як природне явище [2, 3, 6, 8]. Розрізняють об'єктивні величини, що характеризують енергетичну сторону випромінювання електромагнітних хвиль, і суб'єктивні (світлові) редуковані (скорочені) фотометричні величини, пов'язані з особливостями сприйняття світла людським оком.

При кількісному обліку потоку випромінювання, що впливає на організми, для зручності використовують так звані ефективні системи величин. Суть цих систем полягає у використанні світлотехнічних величин, що характеризують не весь потік випромінювання, а тільки ту його частину, яка впливає на приймач. Щоб підкреслити неповноту оцінки потоку випромінювання ефективні величини називають *скороченими* (редукованими). Наприклад, такі величини, як *світловий потік, освітленість, сила світла*, є скороченими, оскільки вони характеризують тільки ту частину потоку випромінювання, яка викликає у людини світлові відчуття.

В силу історичних причин система світлових величин була розроблена однією з перших. З розвитком уявлень про природу електромагнітного випромінювання, була розроблена так звана *об'єктивна система фотометричних величин*, незалежна від будь-якого приймача. Фотометричні величини цієї системи характеризують потік випромінювання в цілому.

Освітленість та опроміненість є аналогами один одної. Опроміненість – об'єктивна величина, в той час як освітленість – суб'єктивна скорочена величина. Для того щоб розглянути їх, розглянемо ще величини, від яких вони залежать.

Об'єктивні величини:

Енергія випромінювання, W_e (промениста енергія) – енергія, що передається у вигляді електромагнітного випромінювання (що переноситься оптичним випромінюванням). Одиниця виміру – Дж.

Потік випромінювання, Φ_e (променистий потік) – потужність випромінювання, тобто кількість переносної енергії випромінювання (оптичного випромінювання) dW_e за малий проміжок часу dt .

$$\Phi_e = dW_e / dt.$$

Одиниця виміру – Дж / с = Вт

Опроміненість, E_e (енергетична освітленість) – об'єктивна фотометрична величина; поверхнева щільність потоку випромінювання, тобто величина, що характеризує розподілену щільність потоку випромінювання на поверхні. Ця величина чисельно дорівнює відношенню потоку випромінювання $d\Phi_e$ до площі опромінюваної поверхні dS .

$$E_e = d\Phi_e / dS.$$

Одиниця виміру в Міжнародній системі одиниць – Вт / м².

Суб'єктивні величини:

Світлова енергія, W_v – енергія, що передається у вигляді електромагнітного випромінювання, яка викликає у людини зорові відчуття. Світлова енергія є деякою часткою від енергії, яку переносять оптичним випромінюванням (енергії випромінювання). Розмір цієї частки залежить від чутливості людського ока до різних довжин хвиль в спектрі випромінювання.

Одиниця виміру – Дж = лм × с.

Світлова енергія в системі скорочених фотометричних величин є аналогом *енергії випромінювання (W_e)* в системі енергетичних фотометричних величин.

Світловий потік, Φ_v – кількість переносимої електромагнітним випромінюванням світлової енергії dW_v за малий проміжок часу dt .

$$\Phi_v = dW_v / dt.$$

Тобто це величина, яка оцінює потік випромінювання Φ_e по зоровим відчуттям людського ока. Світловий потік є деякою часткою потоку випромінювання. Розмір цієї частки залежить від чутливості людського ока до різних довжин хвиль в спектрі випромінювання.

Одиниця виміру – лм (люмен).

Світловий потік в системі скорочених фотометричних величин є аналогом *потоку випромінювання (Φ_e)* в системі енергетичних фотометричних величин

Освітленість, E_v – це поверхнева щільність світлового потоку, тобто величина, що характеризує поширення щільності світлового потоку на поверхні. Вона чисельно дорівнює відношенню світлового потоку $d\Phi_v$ до площі освітлюваної поверхні dS .

$$E_v = d\Phi_v / dS.$$

Одиниця виміру в Міжнародній системі одиниць – лк (люкс).

Освітленість в системі скорочених фотометричних величин є аналогом *опроміненості (E_e)* в системі енергетичних фотометричних величин.

Ми можемо представити ці величини у вигляді таблиці (Таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця об'єктивних та суб'єктивних фотометричних величин

Об'єктивні		Суб'єктивні	
Найменування	Формула	Найменування	Формула
Енергія випромінювання, Дж	W_e	Світлова енергія, Дж = лм × с	W_v
Потік випромінювання, Дж / с = Вт	$\Phi_e = dW_e / dt$	Світловий потік, лм (люмен).	$\Phi_v = dW_v / dt.$
Опроміненість, Вт / м ²	$E_e = d\Phi_e / dS$	Освітленість, лк (люкс)	$E_v = d\Phi_v / dS$

2.2.2 Залежність освітленості та опроміненості від довжини хвилі джерела світла

У зв'язку з кардинальною відмінністю об'єктивних і суб'єктивних фотометричних систем, для їх узгодження потрібно експериментальне визначення спектральної чутливості відповідного приймача.

При проведенні експериментів у вузькому діапазоні спектра з великим числом спостерігачів було встановлено, що «середнє око» по-різному реагує на різні ділянки спектру. Чутливість ока, починається від самих коротких хвиль (380-400 нм), росте і досягає максимуму при 554-555 нм, потім убуває і в довгохвильовому діапазоні (750-780 нм) досягає нульових значень (Рисунок 2.2).

Для кількісного обліку частки енергії світлового потоку в потоці випромінювання використовують поняття *спектральної світлової ефективності*, *с. с. е.*:

$$V_{abs}(\lambda) = \frac{\Phi_v(\lambda)}{\Phi_e(\lambda)}, \left[\frac{\text{лм}}{\text{Вт}} \right] \quad (2.1)$$

де λ – довжина світлової хвилі, нм;

$\Phi_v(\lambda)$ – світловий потік, лм;

$\Phi_e(\lambda)$ – потік випромінювання, Вт.

С. с. е. є специфічною величиною, що дозволяє переходити від суб'єктивних світлових величин до об'єктивних енергетичних величин. Величина *с. с. е.* по суті є

часткою (безрозмірна величина), але для узгодження двох систем у с. с. е. використовується особлива розмірність лм / Вт.

На рисунку нижче (Рисунок 2.2) показано, що величина с. с. е. $V_{abs}(\lambda)$ в окремих ділянках спектра різна. Її максимальне значення (K_m) досягається на довжині хвилі 555 нм, причому потік випромінювання в 1 Вт відповідає світловому потоку в 683 лм.

$$V_{abs}(555) = K_m = 683 \text{ лм} / \text{Вт}.$$

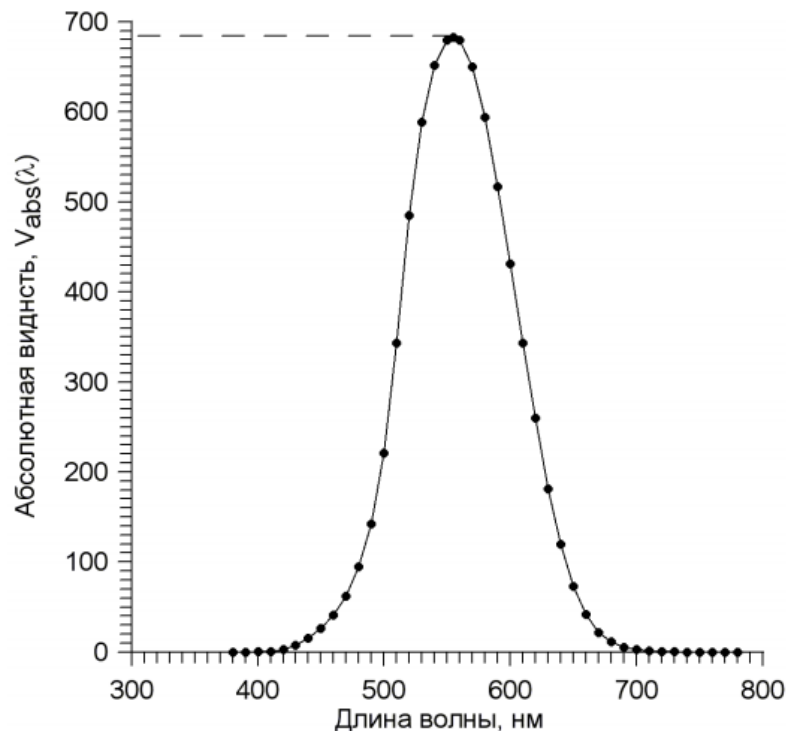


Рисунок 2.2 – Спектральна чутливість людського ока в абсолютних значеннях.

Пунктиром позначено максимальне значення $V_{abs}(555) = K_m = 683 \text{ лм} / \text{Вт}$

Якщо значення $V_{abs}(\lambda)$ для кожної довжини хвилі розділити на максимум K_m , то таку величину можна назвати відносною с. с. е (відносною видності, Рисунок 2.3):

$$V(\lambda) = \frac{V_{abs}(\lambda)}{V_{abs}(555)} = \frac{V_{abs}(\lambda)}{K_m}. \quad (2.2)$$

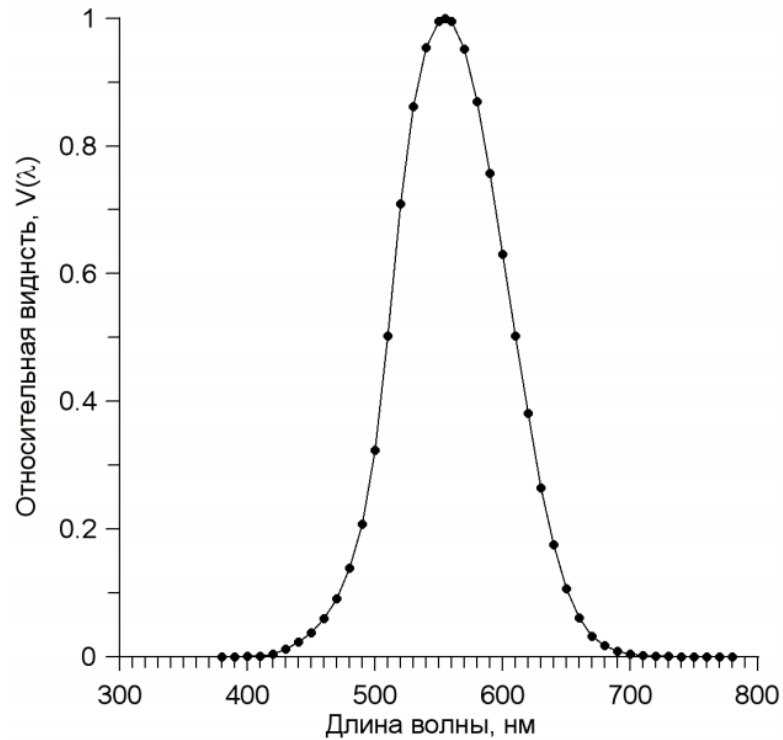


Рисунок 2.3 – Відносна спектральна світова ефективність (відносна видність), $V(\lambda)$

ГОСТ 8.332-78 визначає спектральну світову ефективність для «стандартного» людського ока (Таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Спектральна світова ефективність (видність) для «стандартного» людського ока за ГОСТ 8.332-78.

Довжина хвилі, λ	$V(\lambda)$	$V_{abs}(\lambda)$	Довжина хвилі, λ	$V(\lambda)$	$V_{abs}(\lambda)$
380	0,0000	0,000	580	0,8700	594,210
390	0,0001	0,068	590	0,7570	517,031
400	0,0004	0,273	600	0,6310	430,973
410	0,0012	0,820	610	0,5030	343,549
420	0,0040	2,732	620	0,3810	260,223
430	0,0116	7,923	630	0,2650	180,995
440	0,0230	15,709	640	0,1750	119,525
450	0,0380	25,954	650	0,1070	73,081
460	0,0600	40,980	660	0,0610	41,663
470	0,0910	62,153	670	0,0320	21,856
480	0,1390	94,937	680	0,0170	11,611
490	0,2080	142,064	690	0,0082	5,601

Продовження таблиці 2.2

Довжина хвилі, λ	$V(\lambda)$	$V_{abs}(\lambda)$	Довжина хвилі, λ	$V(\lambda)$	$V_{abs}(\lambda)$
500	0,3230	220,609	700	0,0041	2,800
510	0,5030	343,549	710	0,0021	1,434
520	0,7100	484,930	720	0,0011	0,717
530	0,8620	588,746	730	0,0005	0,355
540	0,9540	651,582	740	0,0003	0,171
550	0,9950	679,585	750	0,0001	0,082
555	1,0000	683,000	760	0,0001	0,041
560	0,9950	679,585	770	0,0000	0,020
570	0,9520	650,216	780	0,0000	0,010

Зі співвідношень (1) і (2) для світлового потоку довжини хвилі λ отримуємо:

$$\Phi_v(\lambda) = V_{abs}(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda),$$

$$\Phi_v(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda), \quad (2.3)$$

де $\Phi_v(\lambda)$ – світловий потік, лм;

$$K_m = 683 \text{ лм / Вт},$$

$\Phi_e(\lambda)$ – потік випромінювання на довжині хвилі λ , Вт;

$V_{abs}(\lambda)$ і $V(\lambda)$ – абсолютна і відносна с. с. е.

Аналогічно для світлового потоку складного спектрального складу в діапазоні від λ_1 до λ_2 записуємо:

$$\Phi_v = K_m \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_e(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda, \quad (2.4)$$

де λ_1 і λ_2 – границі спектрального діапазону;

$\Phi_e(\lambda)$ – енергетичний спектр джерела випромінювання.

Для енергетичного потоку того ж джерела випромінювання:

$$\Phi_e = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_e(\lambda) d\lambda. \quad (2.5)$$

Відношення потоків дозволяє отримати вираз зв'язку Φ_e і Φ_v :

$$\frac{\Phi_e}{\Phi_e} = \frac{1}{K_m} \cdot \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_e(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_e(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda} = 1,464 \cdot 10^{-3} \cdot N, \quad (2.6)$$

де $\frac{1}{K_m}$ – величина *механічного еквівалента світу*, Вт / м;

N – відношення величин повної і видимої людським оком світлової енергії джерела освітлення.

Звідси

$$\Phi_e = 1,464 \cdot 10^{-3} \cdot N \cdot \Phi_v. \quad (2.7)$$

Використовуючи вираз (7) і той факт, що $E_e = d\Phi_e / dS$, а $E_v = d\Phi_v / dS$, запишемо співвідношення для переходу від освітленості до опроміненості:

$$E_e = 1,464 \cdot 10^{-3} \cdot N \cdot E_v, \quad (2.8)$$

де E_e – опроміненість, Вт / м²;

E_v – освітленість поверхні, лк (лк = лм / м²).

2.3 Аналіз відгуків

2.3.1 Метод та засоби вимірювання освітленості в смартфоні

Вимірювання освітленості буде проходити, використовуючи датчики освітленості смартфона (Light Sensor).

Світловий датчик – це пристрій, який перетворює енергію світла різної довжини хвилі від інфрачервоного до ультрафіолетового в електричну енергію (або в електричний сигнал). З цієї причини, такі датчики і називають фотоелектричними пристроями. Вони відчують світло під час цього процесу, і тому їх можна назвати «фотосенсорами».

Для проведення експерименту планується використовувати смартфон Xiaomi Redmi 4X, який має датчик освітленості `stk3x1x alsprx` від виробника Sensortek:

- Wakeup Secondary (Sensortek);
- range: 0...4096;
- resolution: 0,54 (0,013%);
- power: 0,09mA.

Планується розробка програмного забезпечення у вигляді мобільного додатку, спрямованого на вимірювання величини освітлення, використовуючи `light sensor`.

Згідно зі специфікацією датчика, дані про освітленість можна отримати за допомогою наступної формули:

$$Lux_{calc} = \frac{0.8 \times ALS_{DATA}}{(GAIN \times INT)}$$

Розроблена програма зчитувати показники із реєстрів датчика та обчислювати за допомогою вищенаведеної формули величину освітлення.

Програмне забезпечення буде використовувати методи:

`SensorManager.getDefaultSensor` – для отримання сенсору типу `Light`.

`Context.getSystemService (Context.SensorService)` – для отримання управління для сервісу сенсорів на системному рівні.

Дані будуть зберігатися до файлу. А потім вони будуть порівняні з реальними величинами освітленості, які були подані на вході.

2.3.2 Метод та засоби вимірювання довжини хвилі монохромного джерела світла за допомогою фотоматриці смартфона

Для знаходження довжини хвилі світла буде розроблене програмне забезпечення. Воно буде зчитувати інформацію з кожного пікселю матриці та аналізувати її на предмет домінуючого кольору (червоний, синій, зелений). Згідно з пропорціями основних кольорів, буде визначатися загальний колір світла, з якого можна буди розрахувати довжину хвилі.

Мобільний додаток буде написаний на Xamarin.

Для забезпечення такого функціоналу буде використовуватися плагін `Xam.Plugin.Media`.

Будуть використані методи:

`Plugin.Media.CrossMedia.Current.TakePhotoAsync (new Plugin.Media.Abstractions.StoreCameraMediaOptions () { })` – для зроблення фотографії.

Програма буде проводити усі вищеописані дії та записувати результат до файлу. Пізніше цей результат буде порівняно з вхідною довжиною хвилі, щоб визначити похибку.

2.4 Методи обробки результатів експерименту

2.4.1 Розрахунок центральних моментів

Після проведення експерименту ми матимемо набір даних, який буде складатися з показників освітленості, довжини хвилі та похибок для кожних з цих величин в залежності від довжини хвилі, поданої на вході.

В нашому випадку об'єктом дослідження є показники похибки, які будуть розподілені випадково.

Кожна випадкова величина повністю визначається своєю функцією розподілу.

Для того, щоб виявити основні особливості розподілу випадкової величини, розрахуємо математичне очікування та дисперсію.

Математичне очікування – число, навколо якого зосереджені значення випадкової величини.

Математичне сподівання дискретної випадкової величини ξ , що має розподіл

x_1	x_2	...	x_n
p_1	p_2	...	p_n

називається величина

$$M[\xi] = \sum_{i=1}^n p_i x_i,$$

якщо число значень випадкової величини кінцеве.

Якщо число значень випадкової величини лічильно, то

$$M[\xi] = \sum_{i=1}^{\infty} p_i x_i.$$

При цьому, якщо ряд у правій частині рівності розходиться, то кажуть, що випадкова величина ξ не має математичного очікування.

Математичне сподівання неперервної випадкової величини з щільністю ймовірностей $p_\xi(x)$ обчислюється за формулою $M[\xi] = \int_{-\infty}^{\infty} xp_\xi(x)dx$.

При цьому, якщо інтеграл в правій частині рівності розходиться, то кажуть, що випадкова величина ξ не має математичного очікування.

Якщо випадкова величина η є функцією випадкової величини ξ , $\eta = f(x)$, то

$$M[\eta] = M[f] = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)p_\xi(x)dx$$

Аналогічні формули справедливі для функцій дискретної випадкової величини:

$$M[f] = \sum_{i=1}^n p_i f(x_i), \quad M[f] = \sum_{i=1}^{\infty} p_i f(x_i).$$

Дисперсія випадкової величини характеризує міру розкиду випадкової величини близько її математичного очікування.

Якщо випадкова величина ξ має математичне очікування $M[\xi]$, то дисперсією випадкової величини ξ називається величина

$$D[\xi] = M[(\xi - M[\xi])^2] = M[\xi^2] - (M[\xi])^2$$

Ця універсальна формула однаково добре застосовна як для дискретних випадкових величин, так і для безперервних. Величина $M[\xi^2]$ для дискретних і безперервних випадкових величин відповідно обчислюється за формулами

$$M[\xi^2] = \sum_{i=1}^n (p_i x_i)^2, \quad M[\xi^2] = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 p_\xi(x) dx.$$

Для визначення міри розкиду значень випадкової величини часто використовується *середньоквадратичне відхилення* σ_ξ пов'язане з дисперсією співвідношенням

$$\sigma_\xi = \sqrt{D[\xi]}$$

У теорії ймовірностей і математичній статистиці, крім математичного очікування і дисперсії, використовуються і інші числові характеристики випадкових величин. В першу чергу, це початкові і центральні моменти.

Початковим моментом k -го порядку випадкової величини ξ називається математичне сподівання k -го ступеня випадкової величини ξ , тобто

$$\alpha_k = M[\xi^k]$$

Центральним моментом k -го порядку випадкової величини ξ називається величина μ_k , що визначається формулою

$$\mu_k = M[(\xi - M[\xi])^k]$$

Зауважимо, що математичне сподівання випадкової величини – початковий момент першого порядку, $\alpha_1 = M[\xi]$, а дисперсія – центральний момент другого порядку $\alpha_2 = M[\xi^2] = D[\xi]$.

Ці обчислення допоможуть нам зрозуміти характер розподілу похибки.

2.4.2 Перевірка статистичних гіпотез

Статистична гіпотеза – це певне припущення про розподіл ймовірностей, що лежить в основі спостережуваної вибірки даних.

Перевірка статистичної гіпотези – це процес прийняття рішення про те, чи суперечить розглянута статистична гіпотеза вибірці даних, яка спостерігається.

Статистичний тест або статистичний критерій – строге математичне правило, за яким приймається або відкидається статистична гіпотеза.

Нехай задана випадкова вибірка $x^m = (x_1, \dots, x_m)$ – послідовність m об'єктів з множини X . Передбачається, що на множині X існує деяка невідома імовірнісна міра P .

Методика полягає в наступному.

Крок 1. Формулюється нульова гіпотеза H_0 про розподіл ймовірностей на множині X . Гіпотеза формулюється виходячи з вимог прикладної задачі. Найчастіше розглядаються дві гіпотези – основна або нульова H_0 і альтернативна H_1 . Іноді альтернативна не формулюється в явному вигляді; тоді передбачається, що H_1 означає «Не H_0 ». Іноді розглядається відразу кілька альтернатив. У математичній статистиці добре вивчено кілька десятків типів гіпотез, які «найбільш часто зустрічаються», і відомі ще сотні спеціальних варіантів і різновидів.

Крок 2. Задається деяка *статистика (функція вибірки)* $T: X^m \rightarrow \mathbb{R}$, для якої в умовах справедливості гіпотези H_0 виводиться функція розподілу $F(T)$ і/або щільність розподілу $p(T)$. Питання про те, яку статистику треба взяти для перевірки тієї чи іншої гіпотези, часто не має однозначної відповіді. Є цілий ряд вимог, яким повинна задовольняти «хороша» статистика T . Визначення функції розподілу $F(T)$ при заданих H_0 і T є строгим математичним завданням, яке вирішується методами теорії ймовірностей; в довідниках наводяться готові формули для $F(T)$; в статистичних пакетах є готові обчислювальні процедури.

Крок 3. Фіксується *рівень значимості* – допустима для даного завдання ймовірність *помилки першого роду*, тобто того, що гіпотеза насправді вірна, але буде відкинута процедурою перевірки. Це повинно бути досить мале число $\alpha \in [0,1]$. На практиці часто вважають $\alpha = 0.05$.

Крок 4. На множині допустимих значень статистики T виділяється *критична множина* Ω_α найменш імовірних значень статистики T , таке, що $\mathbb{P}\{T \in \Omega_\alpha | H_0\} = \alpha$. Обчислення меж критичної множини як функції від рівня значимості α є строгим математичною завданням, яке в більшості практичних випадків має готове просте рішення.

Крок 5. Власне, *статистичний тест (статистичний критерій)* полягає в перевірці умови:

– якщо $T(X^m) \in \Omega_\alpha$, то робиться висновок «дані суперечать нульовій гіпотезі при рівні значимості α ». Гіпотеза відкидається;

– якщо $T(X^m) \notin \Omega_\alpha$, то робиться висновок «дані не суперечать нульовій гіпотезі при рівні значимості α ». Гіпотеза приймається.

Отже, *статистичний критерій* визначається статистикою T і критичною множиною Ω_α , яка залежить від рівня значимості α .

Зауваження. Якщо дані не суперечать нульовій гіпотезі, це ще не означає, що гіпотеза вірна. Для цього є дві причини.

– у міру збільшення довжини вибірки нульова гіпотеза може спочатку прийматися, але потім виявляться більш тонкі невідповідності даних гіпотезі, і вона буде відкинута; тобто багато що залежить від обсягу даних; якщо даних не вистачає, можна прийняти навіть саму неправдоподібну гіпотезу;

– обрана статистика T може відображати не всю інформацію, що міститься в гіпотезі H_0 . В такому випадку збільшується ймовірність помилки другого роду –

нульова гіпотеза може бути прийнята, хоча насправді вона не вірна. Припустимо, наприклад, що $H_0 = \text{«Розподіл є нормальним»}$; $T(X_m) = \text{«коефіцієнт асиметрії»}$; тоді вибірка з будь-яким симетричним розподілом буде визнана нормальною. Щоб уникати таких помилок, слід користуватися більш потужними критеріями.

За допомогою розробленого прототипу програмного забезпечення для вимірювання енергетичних показників фонових освітлення зберемо дані для перевірки наступної гіпотези:

H_0 – штучна природа походження світла призводить до того, що протягом року середньодобова та середньомісячна освітленість залишається незмінною.

t-критерій Стьюдента.

Найбільш часто t-критерії застосовуються для перевірки рівності середніх значень у двох вибірках. Нульова гіпотеза припускає, що середні – рівні (заперечення цього припущення називають гіпотезою зсуву).

Всі різновиди критерію Стьюдента є параметричними і засновані на додатковому припущенні про нормальність вибірки даних. Тому перед застосуванням критерію Стьюдента рекомендується виконати перевірку нормальності. Якщо гіпотеза нормальності відкидається, можна перевірити інші розподіли, якщо і вони не підходять, то слід скористатися непараметричними статистичними тестами.

Порівняння вибіркового середнього з заданим значенням.

Задана вибірка $x^m = (x_1, \dots, x_m)$, $x_i \in \mathbb{R}$.

Додаткове припущення: вибірка проста і нормальна.

Нульова гіпотеза $H_0: \bar{x} = \mu$ (вибіркоче середнє одно заданому числу μ).

Статистика критерію:

$$t = \frac{(\bar{x} - \mu)\sqrt{m}}{s}$$

має розподіл Стьюдента з $m-1$ ступенями свободи, де

$$\bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i$$

– вибіркоче середнє,

$$s^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2$$

– вибіркова дисперсія.

Критерій (при рівні значущості α):

– проти альтернативи $H_1: \bar{x} \neq \mu$

а) якщо $|t| > t_{\alpha/2}$, то нульова гіпотеза відкидається;

– проти альтернативи $H_1': \bar{x} < \mu$

а) якщо $|t| < t_{\alpha}$, то нульова гіпотеза відкидається;

– проти альтернативи $H_1'': \bar{x} > \mu$

а) якщо $|t| < t_{1-\alpha}$, то нульова гіпотеза відкидається;

де t_{α} є α -квантиль розподілу Ст'юдента з $m-1$ ступенями свободи.

2.5 Висновки до розділу 2

У розділі 2 було проведене планування експерименту для дослідження можливості застосування фонових джерел світлової енергії для енергопостачання мобільних пристроїв.

Для забезпечення на контролю вхідних факторів буде використаний монохроматор МДР-23. Приведені його характеристики та опис принципу роботи.

Проведений аналіз вхідних факторів, а саме освітленості та опроміненості, визначена їх залежність від довжини хвилі джерела світла.

Для отримання величин освітленості та довжини хвилі за допомогою смартфона, буде написане програмне забезпечення у вигляді мобільного додатку на Xamarin, яке буде використовувати датчик освітленості та матрицю смартфона для обчислення відгуків. Дані с даного програмного забезпечення будуть збережені у файл.

Для перевірки доцільності використання прототипу з його поміччю буде визначена залежність спектральної чутливості датчика освітлення у смартфоні від довжини хвилі.

За допомогою розробленого прототипу програмного забезпечення будуть зібрані дані про освітленість в офісному приміщенні.

Для аналіз даних буде проведений за допомогою використання методів статичного аналізу, а також методу перевірки статистичних гіпотез.

За допомогою цих даних буде перевірена гіпотеза про розподіл середньодобової освітленості в залежності від дня тижня.

3 ПІДГОТОВКА ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ФОНОВИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ. АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Вихідні дані для розробки програмного забезпечення для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення

Прототип ПЗ для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення повинен відповідати наступним вимогам (Рисунок 3.1).

1 Функціональні вимоги:

1.1 Вимірювання показників фонового освітлення:

- 1.1.1 Вимірювання величини навколишнього освітлення за допомогою вбудованого датчика освітленості;
- 1.1.2 Визначення діапазону довжини хвилі для фонового освітлення розрахованої із зображення отриманого з камери смартфона.

1.2 Розрахування домінуючого кольору зображення отриманого з камери смартфона.

1.3 Запис показників фонового освітлення до текстового файлу:

1.3.1 Вибір текстового файлу, до якого буде записано дані.

1.3.2 Вибір типу запису до файлу:

1.3.2.1 Одноразово

1.3.2.1.1 Дані записуються до обраного файлу при натисканні кнопки.

1.3.2.2 Безперервно

1.3.2.2.1 Введення періодичності запису до файлу (у мілісекундах);

1.3.2.2.2 Запис починається за командою користувача;

1.3.2.2.3 Запис закінчується за командою користувача.

1.3.3 Зчитування даних та запис їх до файлу:

1.3.3.1 Дані про рівень освітленості та діапазон довжини хвилі зчитуються з датчика освітленості та розраховуються із отриманого з камери зображення відповідно.

1.3.3.2 Користувач має можливість ввести реальні дані із фізичних приладів для порівняння точності та прецизійності:

1.3.3.2.1 Освітленість (у Люксах);

1.3.3.2.2 Дійсну довжину хвилі (у нано-метрах).

1.3.4 Відображення вмісту файлу:

1.3.4.1 Відображення таблиці із усіма показниками:

1.3.4.1.1 Час запису;

1.3.4.1.2 Виміряна освітленість;

1.3.4.1.3 Дійсна освітленість;

- 1.3.4.1.4 Розрахований діапазон довжини хвилі;
- 1.3.4.1.5 Дійсна довжина хвилі;
- 1.3.4.1.6 Домінуючий колір.

1.4 Перемикання камери (задня/передня).

2 Нефункціональні вимоги

- 2.1 Мова інтерфейсу – англійська.
- 2.2 Операційна система – Android 9.0 +.
- 2.3 Мінімум 2 камери (передня та задня).
- 2.4 Датчик освітлення.
- 2.5 Час відгуку < 0.5 сек.

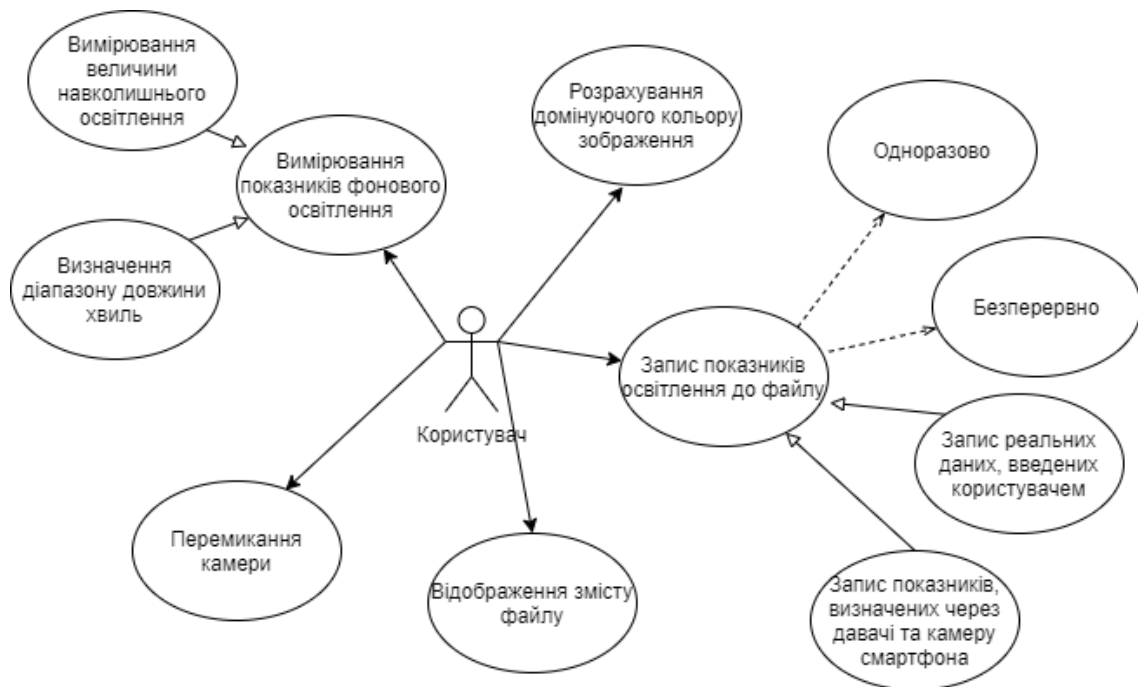


Рисунок 3.1 – Діаграма варіантів використання для прототипу ПЗ для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення

3.2 Вибір програмно-апаратних засобів

3.2.1 Вибір апаратних засобів

Для тестування прототипу ПЗ для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення та для проведення експерименту обраний смартфон Xiaomi Redmi 4X.

Технічні характеристики смартфона, важливі для проведення експерименту:

Дисплей

- тип – IPS LCD;
- розмір – 5,0 дюйма, 68,9 см² (~ 70,7% співвідношення екрану до тіла);
- розширення – 720 x 1280 пікселів, співвідношення 16: 9;
- щільність пікселів ~ 294 ppi;
- глибина кольору – 24 біта, 16777216 кольорів.

Платформа

- OS – MIUI Global 11.0.2, Android 7.1.2.N2G47H;
- чіпсет – Qualcomm MSM8940 Snapdragon 435 (28 нм);
- процесор – Восьмиядерний 1,4 ГГц Cortex-A53;
- GPU – Adreno 505.

Пам'ять

- слот для карт – microSDXC (використовує спільний слот для SIM-карти);
- внутрішня – 32GB 3GB RAM;
- eMMC 5.1.

Головна камера

- модель – Samsung S5K3L8;
- тип датчика – ISOCELL;
- розмір датчика – 4.69 x 3.52 мм;
- 12.98 Мп, f / 2.0, PDAF;
- розширення зображення – 4160 x 3120 пікселів;
- кількість линз – 5;
- особливості – LED flash, HDR, панорама;
- відео – 1080p@30fps.

Передня камера

- модель – OmniVision OV5675;
- тип датчика – PureCel;
- розмір датчика – 2.98 x 2.21 мм;
- одиночна, 5 MP, f/2.2;
- розширення зображення – 1280 x 1944 пікселя;
- відео – 1080p@30fps.

Давачі

- датчик наближення;
- акселерометр;
- датчик зовнішнього освітлення:
 - а) stk3x1x alsprx -Wakeup Secondary (Sensortek); range: 0...4096; resolution: 0,54 (0,013%); power: 0,06mA;

б) stk3x1x alsprx -Non Wakeup Secondary (Sensortek); range: 0...5; resolution: 5 (100%); power: 0,1mA;

- гіроскоп;
- відбитку пальця.

Даний смартфон є смартфоном середньої цінової категорії, тому було вирішено провести дослідження саме з його використанням.

3.2.2 Вибір програмного середовища розробки

3.2.2.1 Вибір мови програмування

Для розробки мобільних додатків можливо використовувати різні мови програмування. Обґрунтування вибору мови програмування

Критерії для вибору мови програмування наступні:

- простота синтаксису (вага 3);
- досвід роботи (вага 10);
- можливості розгортання - наявність хмарних чи локальних платформ для розгортання застосунку (вага 2);
- швидкодія (вага 2);
- наявність емуляторів (вага 3).

Кожен критерій оцінюється від 1 до 5 балів, порівняння основних кандидатів приведене нижче (Таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Вибір мови програмування

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	Сума
C#	5	5	2	5	5	94
Java	4	2	3	4	4	58
Python	4	3	5	4	4	72

Згідно сумарного показнику, найбільш відповідною за вказаними критеріями є мова програмування - C#.

3.2.2.2 Вибір програмного середовища розробки

Для розробки прототипу мобільного додатку було обрано Xamarin, як один із ключових підходів для розробки мобільних додатків. Нижче представлено опис ключових характеристик цього інструменту, саме завдяки яким його було обрано для розробки ПЗ.

Xamarin – це інструмент, що використовується для розробки міжплатформених мобільних додатків, що дозволяє інженерам розподіляти близько 90 відсотків коду на основних платформах. Будучи порівняно новим інструментом, він базується на стеці технологій Microsoft і вже має спільноту понад 1,4 мільйона розробників.

Програмна мова C#. Xamarin використовує одну мову, C #, для створення програм для всіх мобільних платформ. На відміну від інтерпретованих рішень, таких як Appcelerator Titanium, Xamarin власним чином компілюється, що робить його зручним варіантом для створення високопродуктивних додатків із природним виглядом та стилем.

Базується на основі .NET Framework. C # - це зріла мова з сильним набором правил безпеки, що запобігає несподіваній поведінці коду. Оскільки C # є однією з мов .NET Framework, його можна використовувати з набором корисних функцій .NET, таких як Lambdas, LINQ та асинхронне програмування (async / await).

Технічно кажучи, Xamarin використовує C # та власні бібліотеки, обгорнуті шаром .Net, для розробки міжплатформених додатків. Такі програми часто порівнюють із власними платформами для мобільних розробок iOS та Android з точки зору продуктивності та зручності користування. Крім того, Xamarin може використовувати весь власний та найновіший доступ до API для використання базових можливостей платформи в додатках Xamarin, таких як ARKit на iOS або Android Multi-Window.

Хоча код, пов'язаний з бізнес-логікою, доступом до баз даних та мережевим спілкуванням, може бути спільним для всіх платформ, Xamarin дозволяє створювати рівень коду користувацького інтерфейсу для певної платформи (Рисунок 3.2). Таким чином, крос-платформні програми Xamarin виглядають на 100% рідними на будь-якому пристрої, забезпечуючи кращу взаємодію з користувачами порівняно із загальними гібридними програмами.

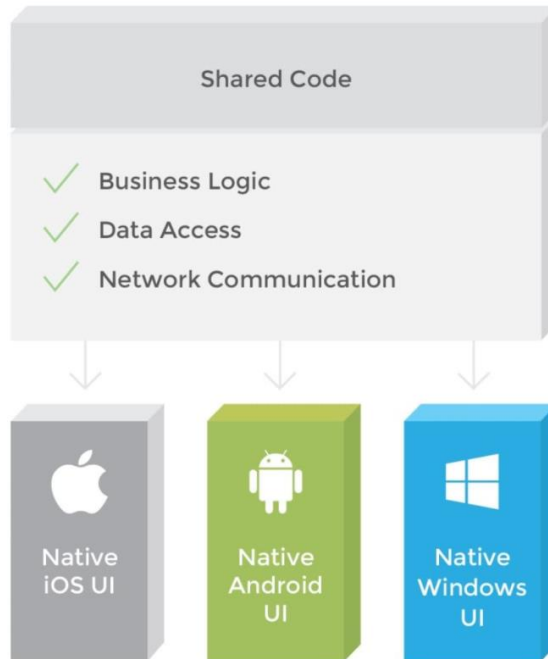


Рисунок 3.2 – Використання коду різними платформами

Компіляція. Платформа має два основних продукти: Xamarin.iOS і Xamarin.Android. У випадку з iOS вихідний код компілюється безпосередньо у власний код збірки ARM (компіляція Ahead-of-Time), тоді як програми Xamarin для Android спочатку компілюються до проміжної мови, а потім - до коду збірки під час виконання (Just-in-Time). Однак в обох випадках процес автоматизований та пристосований для вирішення таких проблем, як виділення пам'яті, збір сміття та взаємодія платформи за замовчуванням.

SDK платформи. Xamarin забезпечує доступ до специфічних для платформи SDK (Cocoa Touch для iOS та Android SDK) за допомогою простого синтаксису C#.

Прив'язки коду в залежності від платформи. У більшості випадків інженери зможуть впоратися з розробками, зберігаючи природний вигляд та відчуття відповідних платформ у середовищі Xamarin. Однак Xamarin дозволяє викликати існуючий код платформи (наприклад, Swift для iOS), якщо потрібно повторно використовувати деякі модулі або реалізовувати певні функції платформи, такі як сканування штрих-коду, інтеграція PayPal або Google Analytics.

Один технологічний стек для кодування для всіх платформ.

Xamarin використовує C# з доповненням .Net Framework для створення програм для будь-якої мобільної платформи. Таким чином, він дозволяє повторно використовувати до 96 відсотків вихідного коду, прискорюючи інженерний цикл. Xamarin також не вимагає перемикання між середовищами розробки: Можливо створення усіх програм Xamarin у Visual Studio, яка повністю замінила Xamarin

Studio. Крос-платформні засоби розробки надаються як вбудована частина IDE без додаткових витрат.

Продуктивність, близька до Native.

На відміну від традиційних гібридних рішень, заснованих на веб-технологіях, крос-платформний додаток, побудований на Xamarin, все ще може бути класифікований як рідний. Показники продуктивності порівнянні з показниками Java для Android та Objective-C або Swift для розробки власних додатків для iOS. Більше того, продуктивність Xamarin постійно вдосконалюється, щоб повністю відповідати стандартам власного розвитку. Visual Studio пропонує повне рішення для створення, тестування та відстеження продуктивності програми: Visual Studio App Center дозволяє запускати автоматизовані тести інтерфейсу та виявляти проблеми з продуктивністю до випуску.

Повна апаратна підтримка.

За допомогою Xamarin рішення отримує функціональність додатка на рідному рівні. Це усуває всі проблеми сумісності апаратного забезпечення, використовуючи плагіни та конкретні API, для роботи із загальними функціональними можливостями пристроїв на всіх платформах. Поряд із доступом до API, специфічних для платформи, Xamarin підтримує зв'язок із власними бібліотеками. Це дозволяє покращити налаштування та нативну функціональність з невеликими накладними витратами.

Спрощене обслуговування.

Завдяки крос-платформному застосуванню, Xamarin полегшує обслуговування та оновлення. Ви можете просто розгорнути зміни або оновлення у вихідному файлі, і вони будуть застосовані як до iOS, так і до додатків Android. Однак це працює лише для програм, які використовують *Xamarin.Forms* або бізнес-логіку, спільний код, оновлення для додатків Xamarin.iOS та Xamarin.Android.

Xamarin.Forms: фреймворк для простих додатків та прототипів.

Xamarin пропонує розробникам створювати мобільні програми двома способами. Перший – використовувати Xamarin.iOS та Xamarin.Android, що вважається основним підходом.

Xamarin.Forms, бібліотека Visual Studio, є другим способом. Xamarin.Forms дозволяє швидко прототипувати або створювати програми з менш специфічними для платформи функціональними можливостями. Ось чому Xamarin.Forms найкраще підходить для програм, де спільний доступ до коду важливіший за користувальницький інтерфейс. Ви зможете створити єдиний інтерфейс і ділитися ним між платформами, не розробляючи для кожної платформи окремо. Ви також можете створювати додатки, де деякі частини їх користувальницьких інтерфейсів виготовляються за допомогою Xamarin.Forms, а інші розробляються за допомогою власного набору інструментів інтерфейсу користувача.

Хоча Xamarin.Forms залишається компромісом з точки зору власного вигляду та стилю, порівняно з Xamarin.iOS та Xamarin.Android, існує активна спільнота, яка

звертає увагу на цей інструмент. Наприклад, деякі постачальники технологій надають свої бібліотеки, такі як Telerik UI, які збагачують інженерні можливості, забезпечуючи заздалегідь налаштовані компоненти UI.

Можливість розробляти у Visual Studio.

Xamarin Visual Studio IDE

Visual Studio (VS) – це інтегроване середовище розробки Microsoft, програмне забезпечення, що використовується для створення, налагодження та публікації програм на всіх платформах і пристроях. Існує три основні версії Visual Studio для Xamarin - Visual Studio Community, Visual Studio Professional та Visual Studio Enterprise.

Прототип ПЗ для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення буде розроблено використовуючи Visual Studio Enterprise.

3.3 Проектування прототипу програмного забезпечення для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення

3.3.1 Проектування інтерфейсу користувача

Програмний додаток має три основні функції:

- вимірювання та обчислення показників фонового освітлення;
- запис до файлу;
- відображення вмісту файлу.

Для відтворення всіх вимог, сформульованих у розділі 3.1 (Вихідні дані для розробки програмного забезпечення для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення) достатньо двох сторінок:

- сторінка для відображення поточного стану показників (Рисунок 3.3);

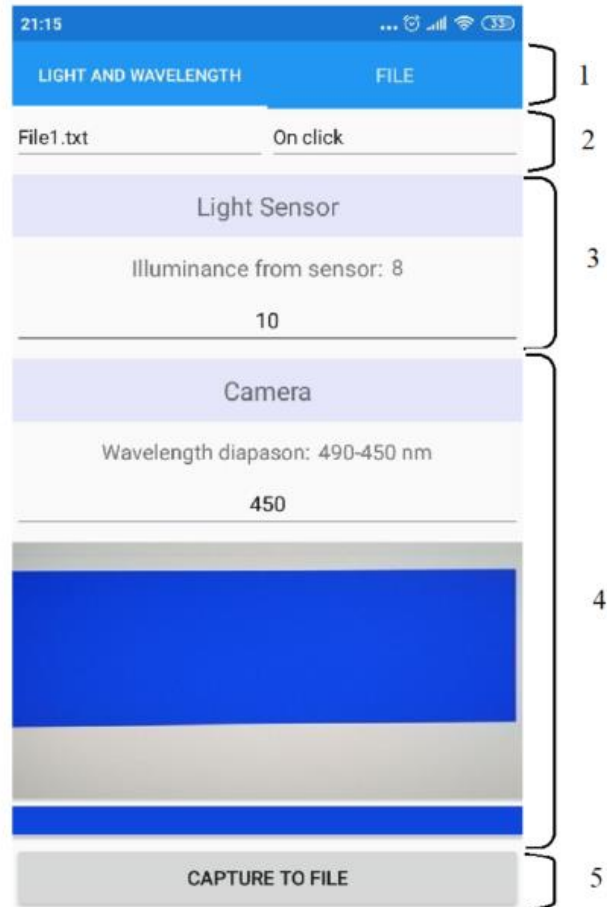


Рисунок 3.3 – Розмітка сторінки для вимірювання показників фонового освітлення

Сторінка складається за наступних ключових блоків:

- 1) навігаційне меню – дозволяє переключатися між сторінками;
- 2) блок вводу інформації про запис до файлу; у цьому блоці розміщено контроли, які визначають параметри запису в файл; може відрізнятися в залежності від обраного типу запису;
- 3) секція датчику освітлення; тут розміщена інформація, яка стосується величини навколишнього освітлення;
- 4) секція камери; тут розміщена інформація про показники, пов'язані з кольором, а також саме зображення з камери;
- 5) секція, яка відповідає за збереження даних до файлу; може відрізнятися в залежності від обраного типу запису.

Вище наведено основні секції першої сторінки додатку, але зміст деяких секцій може відрізнятися в залежності від обраного типу запису до файлу. Розглянемо два можливих варіанта цієї сторінки (Рисунок 3.4).

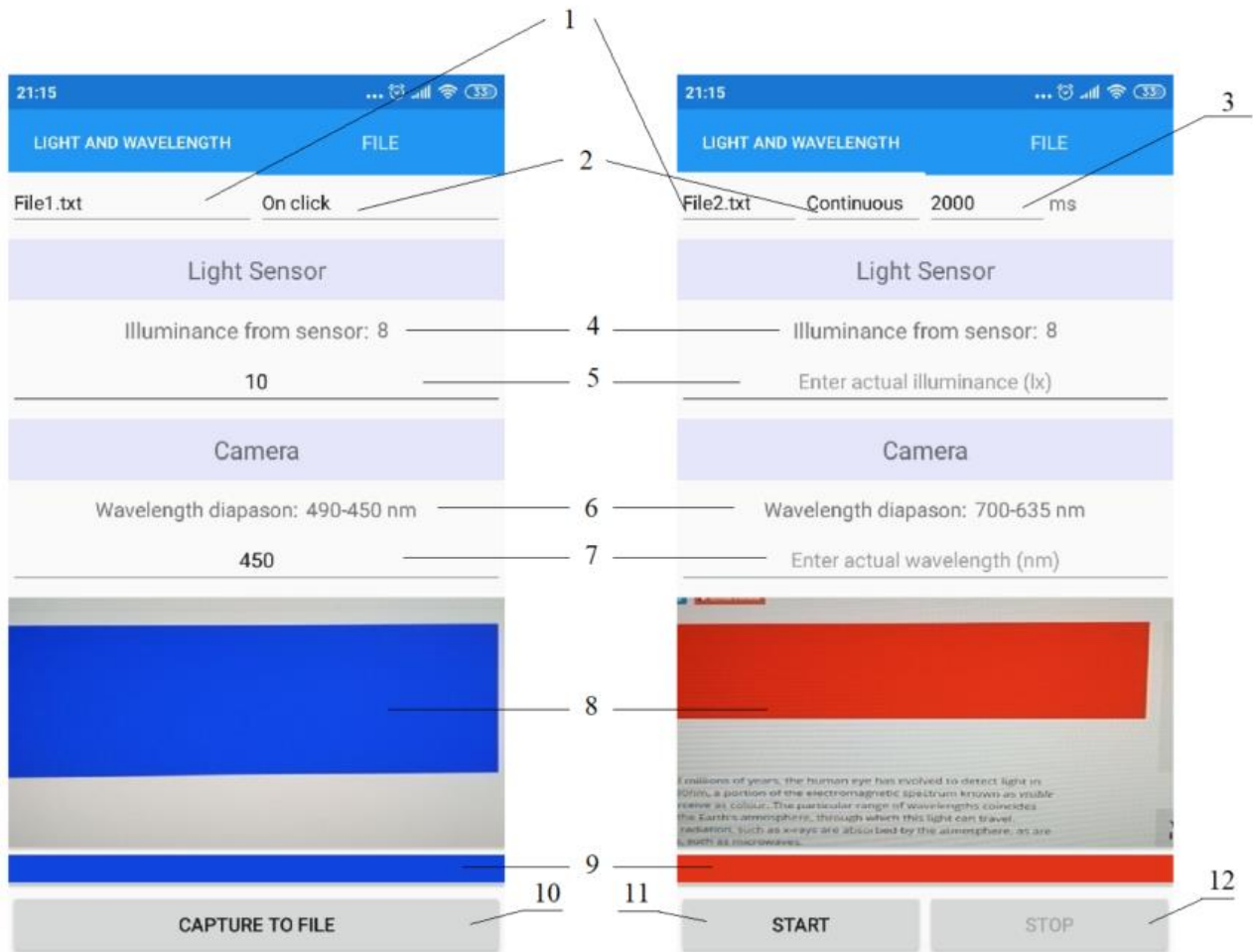


Рисунок 3.4 – Варіанти сторінки вимірювання показників освітленості

- 1) випадаючий список файлів, доступних для запису;
- 2) тип запису до файлу; може бути одним із наступних:
 - а) On Click – в такому разі запис відбувається одноразово за натисканням кнопки «Capture to file»;
 - б) Continuous – запис відбувається безперервно з проміжком часу, вказаним у полі (3);
- 3) поле для вводу періодичності запису до файлу у мілісекундах; доступне тільки у разі вибору безперервного запису до файлу;
- 4) показник освітленості у Люксах, зчитаний із сенсору навколишнього освітлення;
- 5) поле для вводу дійсного значення освітленості у Люксах; може бути пустим;
- 6) діапазон довжини хвилі, обчислений із зображення камери;
- 7) поле для вводу дійсного значення довжини хвилі; може бути пустим;
- 8) зображення з камери, на основі якого розраховується домінуючий колір та діапазон довжини хвилі;

- 9) домінуючий колір, обчислених із зображення;
- 10) кнопка, за натисканням на котру відбувається запис до файлу; доступна тільки у одноразовому режимі запису;
- 11) кнопка старту запису до файлу; становиться не активною, коли запис почато; доступна тільки у разі вибору безперервного запису до файлу;
- 12) кнопка закінчення запису до файлу; спочатку не активна; становиться активною після початку запису до файлу; доступне тільки у разі вибору безперервного запису до файлу.

– сторінка для відображення вмісту файлу (Рисунок 3.5).

Time of capture	Lx(m)	Lx(r)	Diapason	Wavelength	Dominant Color
01/11/2020 21:13:50	8	-	560-520 nm	500	Green
01/11/2020 21:14:08	8	-	700-635 nm	680	Red
01/11/2020 21:14:28	8	-	490-450 nm	450	Blue

Рисунок 3.5 – Сторінка відображення вмісту файлу

- 1) випадаючий список файлів, доступних для відображення;
- 2) час запису;
- 3) показник освітленості (у Люксах), знятий з давача смартфона;

4) показник освітленості (у Люксах), введений вручну;

5) діапазон довжини хвилі, обчислений на основі домінуючого кольору визначеного із зображення;

6) домінуючий колір.

Файл, до якого здійснюється запис, є простим текстовим файлом, до якого записуються дані у форматі

{Дата та час};{Виміряна освітленість};{Дійсна освітленість};{Діапазон довжини хвиль};{Дійсна довжина хвилі};{R};{G};{B}

3.3.2 Проектування архітектури прототипу програмного забезпечення

Для розробки прототипу ПЗ для вимірювання енергетичних показників фонові освітлення було обрано фреймворк Xamarin.Forms.

Реалізовані проектні рішення доступні для подальшого використання та розвитку в «Репозиторії корисних проектів випускників кафедри 603» - <https://drive.google.com/drive/folders/1We2rstCaUWkaPsYtU2C9eRspW6MChbf-?usp=sharing>

Планувалася розробка ПЗ тільки для операційної системи Android, тому архітектура програмного рішення виглядає наступним чином (Рисунок 3.6, Рисунок 3.7).

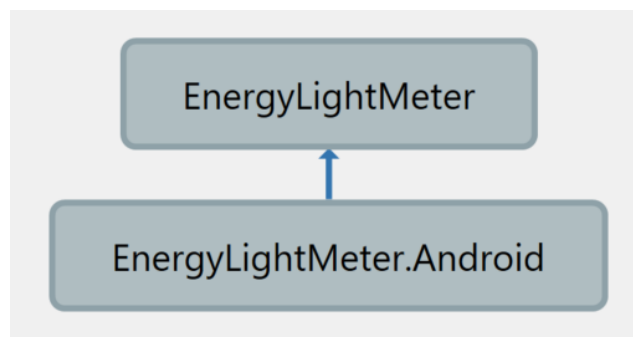


Рисунок 3.6 – Схема залежностей проектів

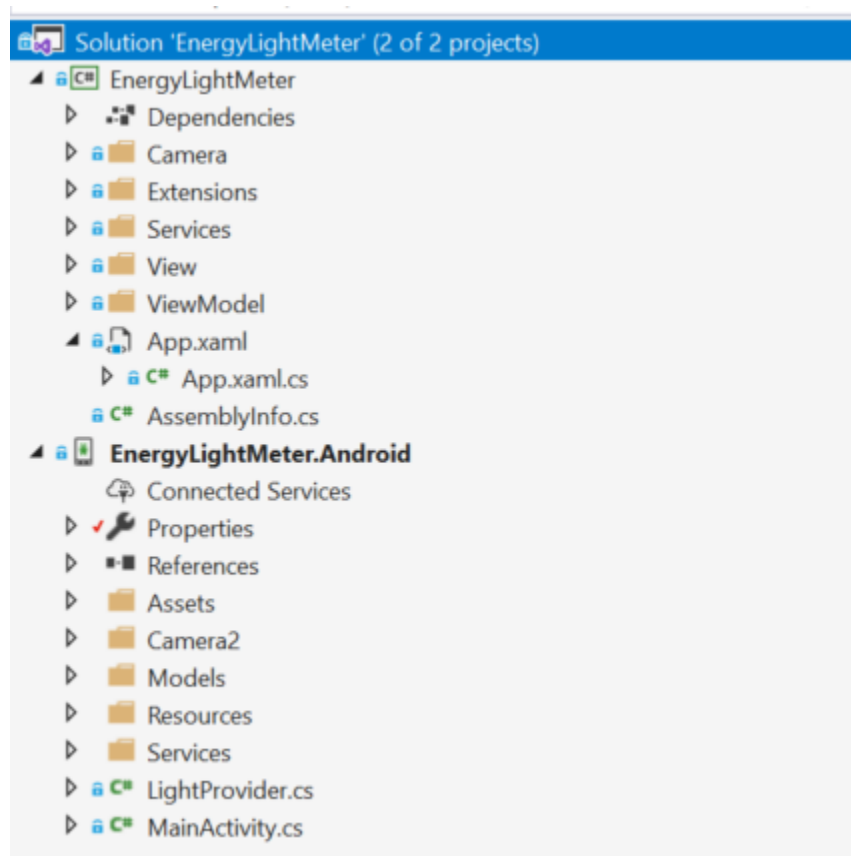


Рисунок 3.7 – Структура проектів та папок для рішення EnergyLightMeter

EnergyLightMeter.Android – проект типу Xamarin.Android, який містить увесь платформи-залежний код.

Розглянемо проекти окремо.

3.3.2.1 EnergyLightMeter

EnergyLightMeter – проект типу Xamarin.Forms, який поєднує в собі весь код, спільний для усіх платформ.

По-перше, проект містить усі View мобільного додатку. View – це окрема сторінка., яка у Xamarin.Forms складається із файлу формату .xaml, який відповідає за розмітку та дизайн сторінки, та файлу формату .xaml.cs, який описує поведінку сторінки на мові C#.

Даний проект містить дві сторінки: MeasurePage та FileDataPage (Рисунок 3.8, Рисунок 3.9).

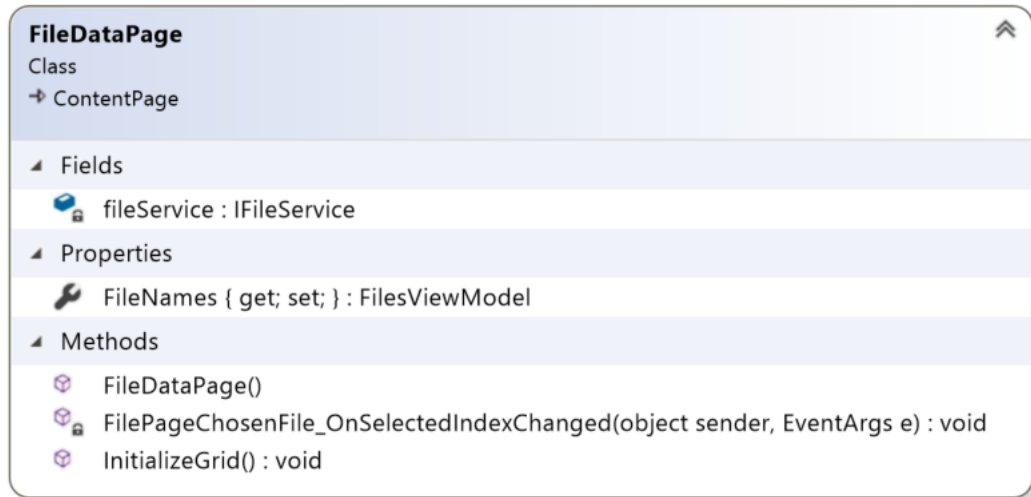


Рисунок 3.8 – Діаграма класу `FileDataPage`

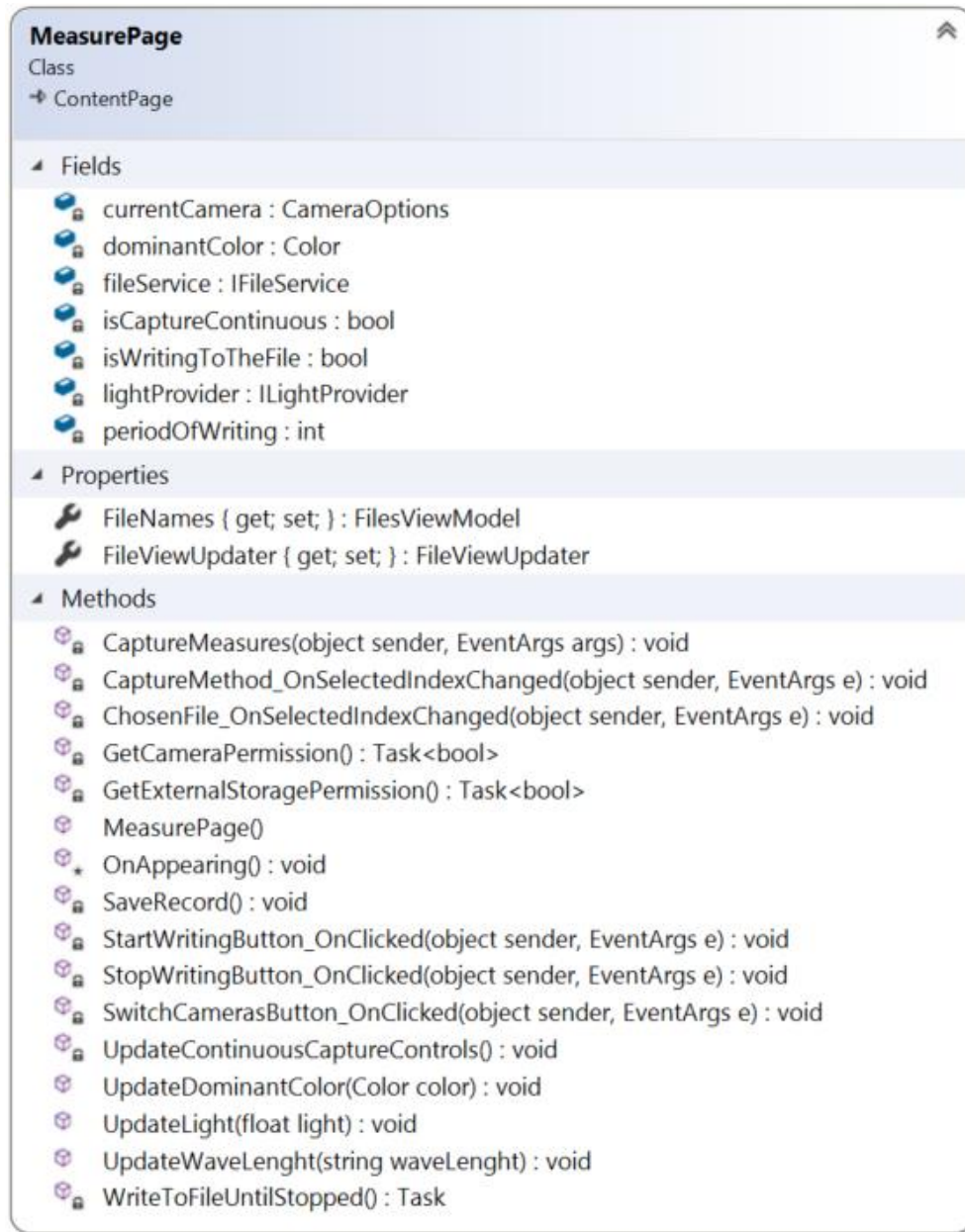


Рисунок 3.9 – Діаграма класу MeasurePage

CameraPreview – це кастомне View, яке відображує зображення з камери на сторінку (Рисунок 3.10).

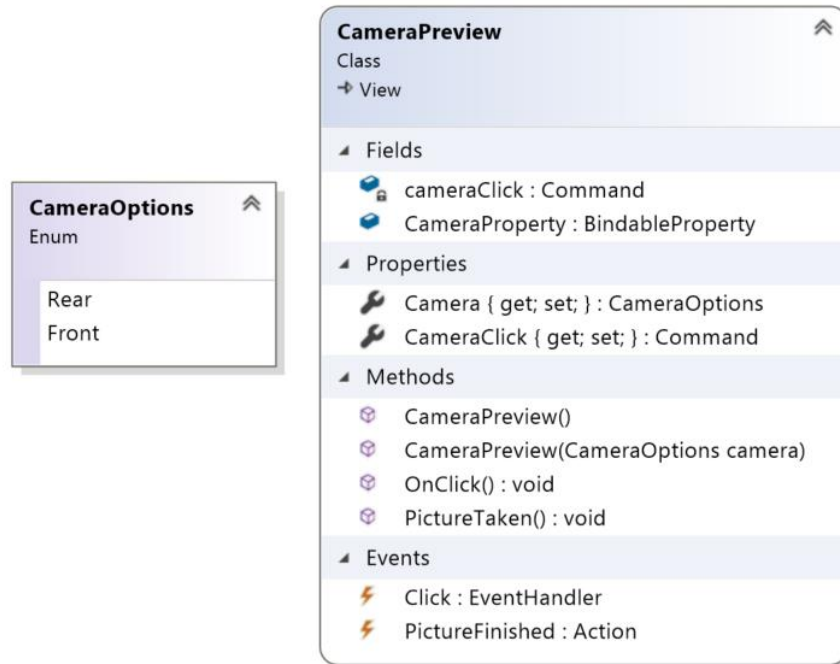


Рисунок 3.10 – Діаграма класу CameraPreview

Також у цьому проекті зберігаються так звані ViewModels – моделі, які використовуються для прив'язки даних на сторінках.

FilesViewModel – зберігає список доступних для запису файлів, а також обраний файл (Рисунок 3.11).

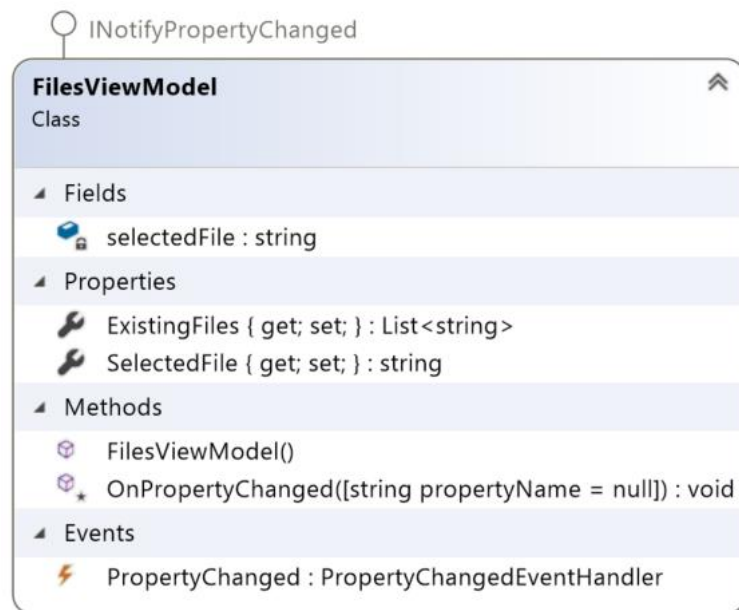


Рисунок 3.11 – Діаграма класу FilesViewModel

StatisticsRecordViewModel – модель, яка описує усі дані, які зберігаються до файлу (Рисунок 3.12).

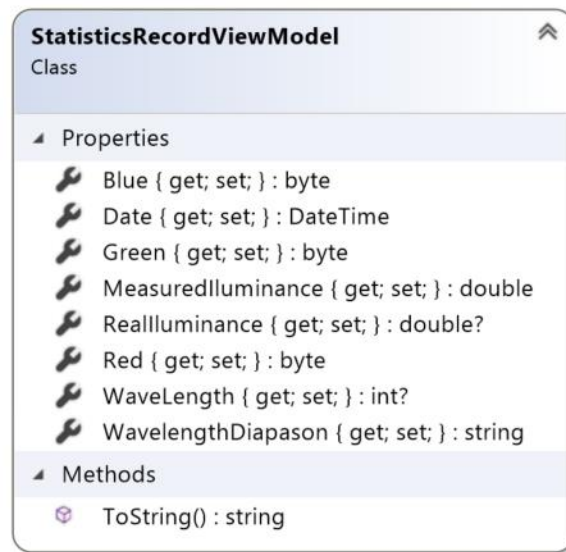


Рисунок 3.12 – Діаграма класу StatisticsRecordViewModel

Далі представлено основні класи цього проекту.

IFileService – інтерфейс (Рисунок 3.13), який надає сервіс для запису у файл та зчитування з нього. Замість цього інтерфейсу підставляється платформо-залежна його імплементація із проекту EnergyLightMeter.Android.



Рисунок 3.13 – Діаграма класу для інтерфейсу IFileService

FileViewUpdater – сервіс, який забезпечує оновлення сторінки за вмістом файлів кожного разу, коли відбувається запис у файл (Рисунок 3.14).

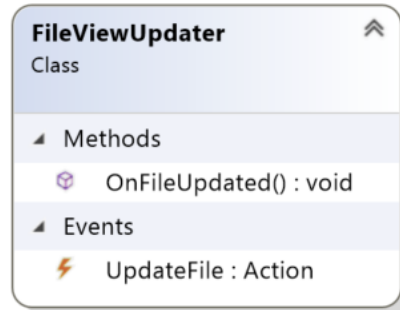


Рисунок 3.14 – Діаграма класу `FileViewUpdater`

`WavelengthDetector` – клас, який визначає діапазон довжини хвилі для кольору у форматі RGB (Рисунок 3.15).

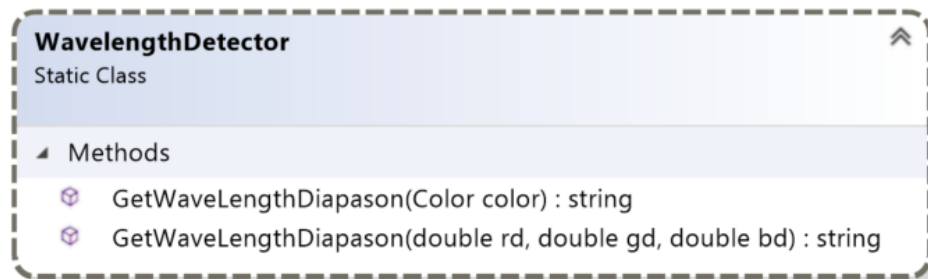


Рисунок 3.15 – Діаграма класу `WavelengthDetector`

Метод для розрахування діапазону довжини хвилі домінуючого кольору зображення:

```
public static string GetWaveLengthDiapason(double rd, double gd, double bd)
```

Алгоритм метода наведений нижче (Рисунок 3.16).

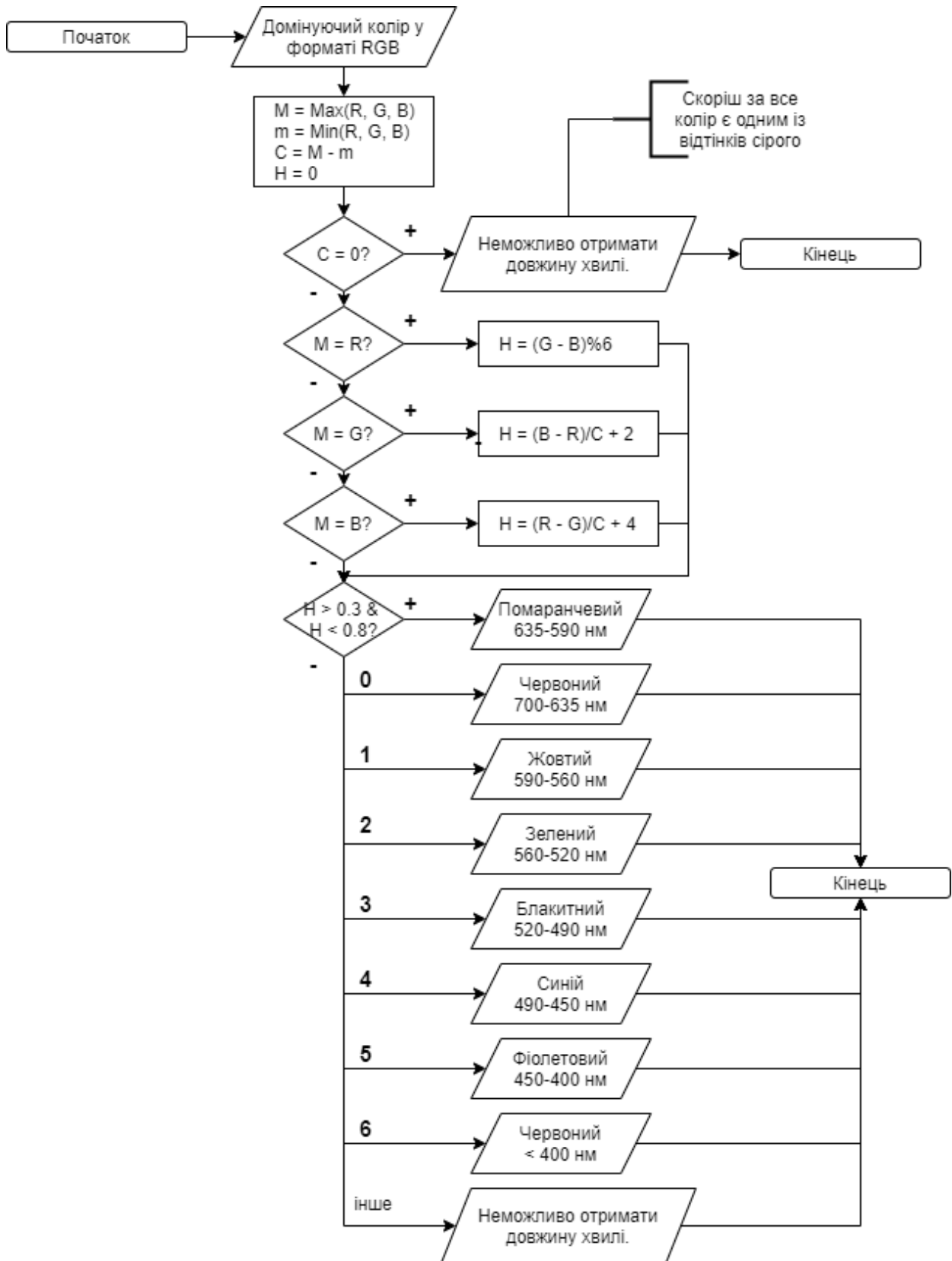


Рисунок 3.16 – Алгоритм пошуку діапазону довжини хвилі

3.3.2.2 EnergyLightMeter.Android

EnergyLightMeter.Android – проект типу Xamarin.Android, який містить увесь платформи-залежний код.

Для проекту типу Android аналогами View є Activities. Ці класи описують поведінку сторінки.

При розробці прототипу ПЗ не виникло необхідності робити специфічні сторінки для Android, тому проект містить тільки основну MainActivity (Рисунок 3.17).



Рисунок 3.17 – Діаграма класу MainActivity

У цьому класі розміщено виклик сервісів, які надають поточне значення освітленості із датчику навколишнього освітлення.

Отримання показників освітленості

Для отримання інформації з датчика навколишнього освітлення смартфон використовується клас `Android.Hardware.SensorManager`.

Також використовуються методи:

- `Java.Lang.Object? ContextWrapper.GetService(string? name)` – для отримання `SensorManager` із контексту;

- `SensorManager.GetDefaultSensor(SensorType.Light)` – для отримання датчику навколишнього освітлення та його показників;

- `sensorManager.RegisterListener(this, lightSensor, global: Android.Hardware.SensorDelay.Game)` – для реєстрації прослуховувача змін у сенсори.

Отримання довжини хвилі.

Діапазон довжини хвилі розраховується використовуючи зображення з камери. Спочатку розраховується домінуючих колір, потім на його основі визначається діапазон довжин хвиль.

Для виведення зображення з камери на екран використовується бібліотека Camera2.

Для цього реалізовано наступні класи.

CameraDroid – основний клас, який описує камеру смартфона (Рисунок 3.18).

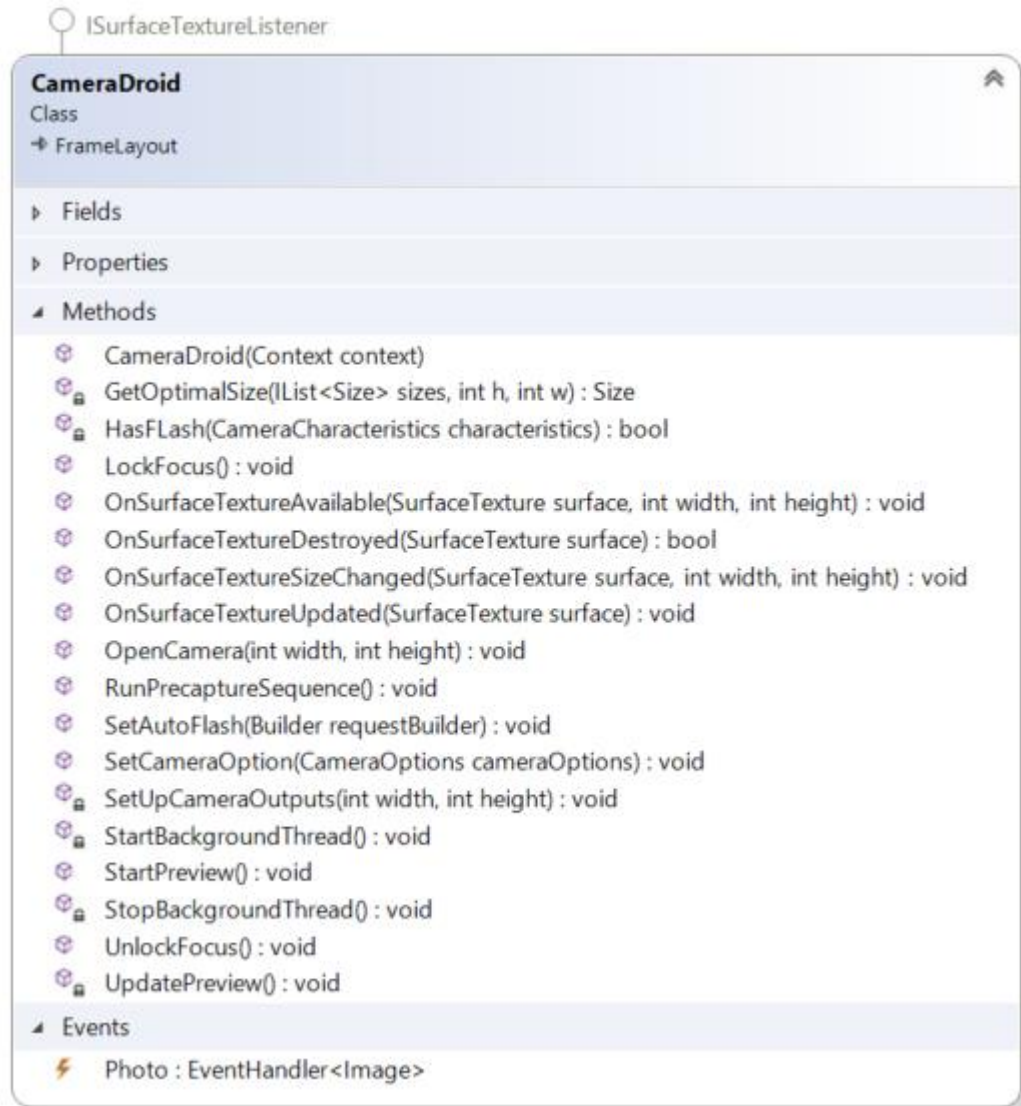


Рисунок 3.18 – Діаграма класу CameraDroid

CameraViewServiceRenderer – відповідає за рендерінг текстури, яка відображає зображення з камери. Також викликає методи для зняття даних з камери, розрахунку показників (Рисунок 3.19).

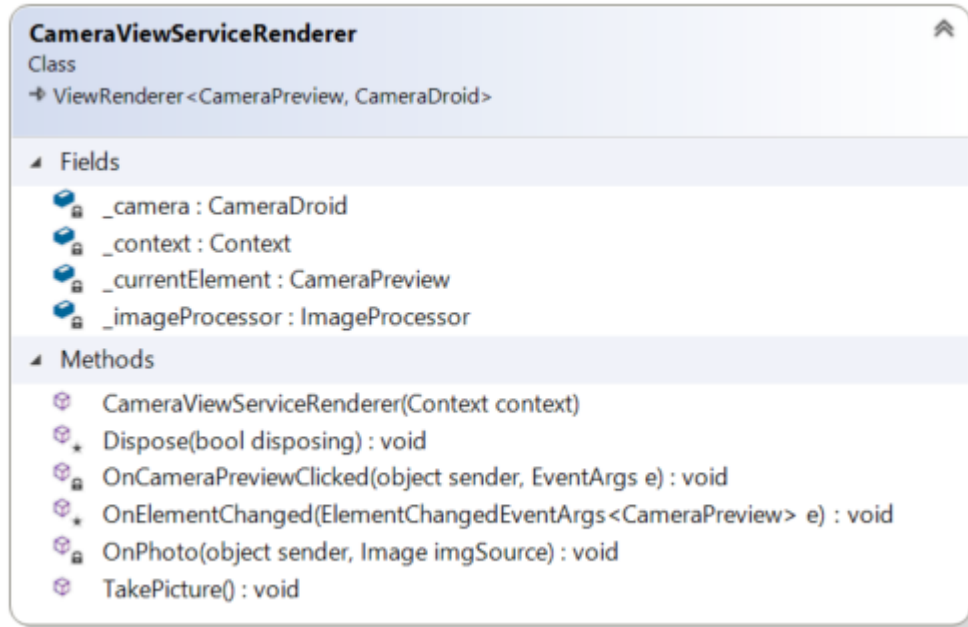


Рисунок 3.19 – Діаграма класу CameraViewServiceRenderer

ImageAvailableListener – конвертує доступне зображення у формат JPEG та викликає метод CameraViewServiceRenderer для розрахунку показників (Рисунок 3.20).

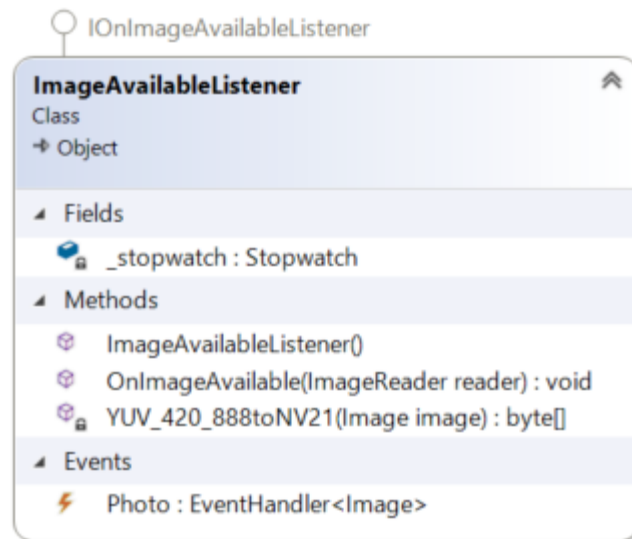


Рисунок 3.20 – Діаграма класу ImageAvailableListener

Також є інші допоміжні класи, які реалізують функціональність камери (Рисунок 3.21).

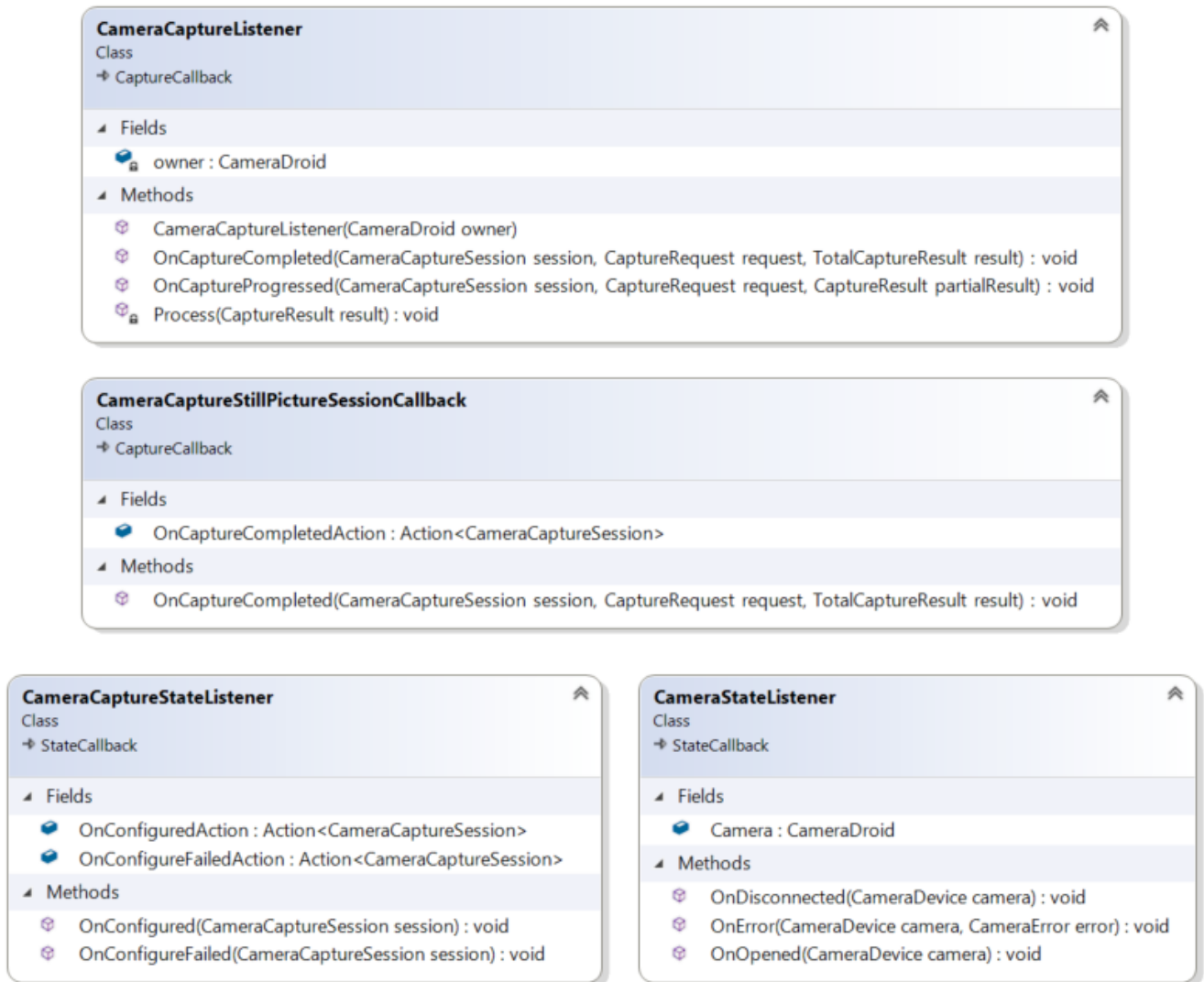


Рисунок 3.21 – Діаграма класів CameraCaptureListener, CameraCaptureStillPictureSeccionCallback, CameraCaptureStateListener, CameraStateListener

Не менш важливими є специфічні для платформи сервіси, які оброблюють дані, або надають їх.

FileService – специфічна для Android імплементація інтерфейсу IFileService із проекту EnergyLightMeter (Рисунок 3.22). Записує дані у файл та зчитує їх звідти.

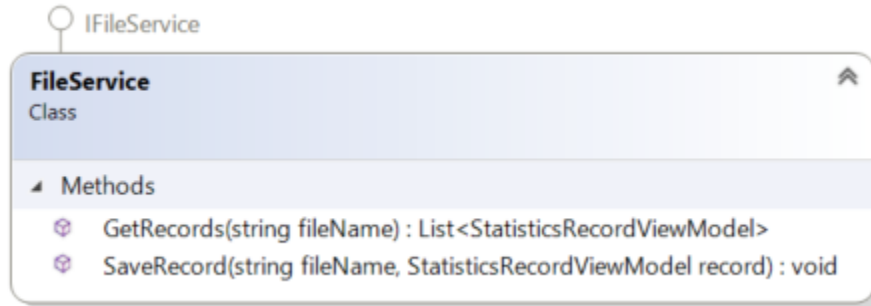


Рисунок 3.22 – Діаграма класу FileService

ImageProcessor – розраховує домінуючий колір у режимі реального часу із зображення переданого з камери (Рисунок 3.23).

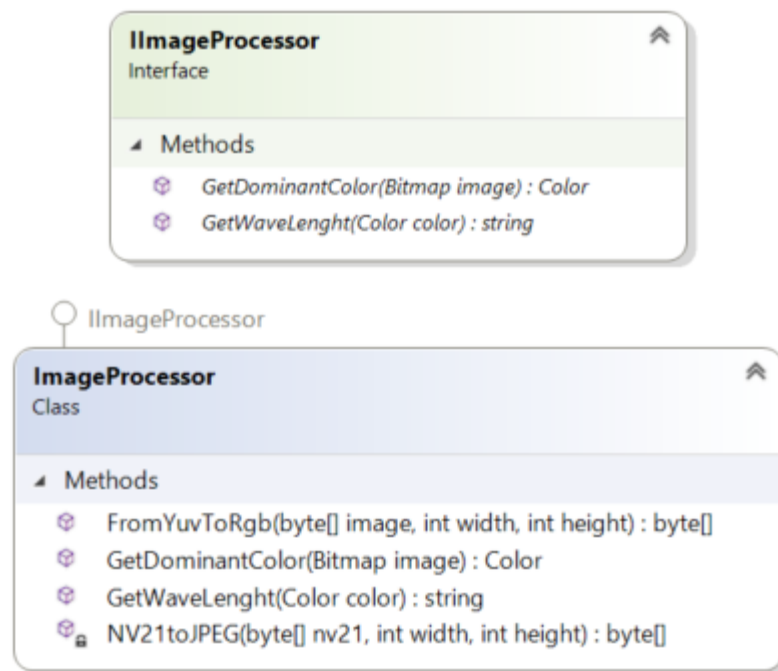


Рисунок 3.23 – Діаграма класу ImageProcessor

StatisticsTextParser – перетворює текст, записаний до файлу на модель, та навпаки (Рисунок 3.24).



Рисунок 3.24 – Діаграма класу StatisticsTextParser

Таким чином, описано архітектуру програмного рішення, структуру проектів та класів для розробленого прототипу ПЗ.

3.4 Результати дослідження ефективності застосування вбудованих давачів смартфона для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення

Експеримент виконано в 2 етапи:

- визначення спектральної та інтегральної чутливості вбудованого давача освітленості смартфона;
- вимірювання фонові, низько енергетичної освітленості в офісному приміщенні.

На обох етапах розроблене програмне забезпечення (див. підрозд. 3.3) використовувалося для вимірювання величини навколишнього освітлення за допомогою вбудованого давача освітленості, визначення діапазону довжини хвилі фонового освітлення та запису показників фонового освітлення в текстовий файл.

3.4.1 Визначення спектральної та інтегральної чутливості вбудованого давача освітленості смартфона

Спектральна чутливість будь-якого фотоперетворювача (ФП) являє собою залежність відносини струму короткого замикання до потужності падаючого монохроматичного випромінювання від довжини хвилі даного випромінювання. Спектральна чутливість ФП – один з основних параметрів, за допомогою яких в напівпровідникової фото-енергетика оцінюється ефективність використання випромінювання на всіх етапах перетворення його в електроенергію.

У загальному вигляді визначення спектральної чутливості – це послідовний вимір на різних довжинах хвиль (в заданому діапазоні) значень реакції приймача на монохроматичне випромінювання відомої потужності. Тому вимірювальна

установка для цієї мети повинна включати в себе: джерело випромінювання, відповідне області чутливості досліджуваного приймача, якщо це необхідно; модулятор, що перериває потік з оптимальною для фотоприймача частотою; монохроматор, що дозволяє виділити необхідну по ширині ділянку спектра джерела; зразковий приймач зі схемою реєстрації сигналу, за допомогою якого можна виміряти потужність випромінювання на виході монохроматора; оптичні та механічні вузли для фокусування потоків випромінювання на вхід монохроматора і чутливий елемент фотоприймача і для почергового напрямку випромінювання на зразковий і досліджуваний приймачі.

Монохроматор – пристрій для формування потоку монохроматичного випромінювання в ультрафіолетовій, видимій або ближній інфрачервоній областях спектру.

В установці вимірювання спектральної чутливості ФП (Рисунок 3.25) джерелом світла є спеціалізована лампа розжарювання СМН-9-60 (Л1), світло якої потрапляє на відбивач, відбивається і через коліматор надходить у вхідну щілину монохроматора. У монохроматорі, починаючи з мінімального значення довжин хвиль, із випромінювання, яке надходить, виділяється випромінювання в діапазоні довжин хвиль $L \pm \Delta L$ (ΔL визначається по ширині розкриття щілини монохроматора), яке, проходячи через вихідну щілину монохроматора, потрапляє на нестійке дзеркало. Решітка монохроматора приводиться в рух кроковим двигуном. Нестійке дзеркало, яке приходить в рух від ГНЧ з частотою 12.5 Гц, повертаючись, по черзі висвітлює монохроматическим випромінюванням ФП і опорний болометр. ФП встановлюється на термостабілізованій основі, що підтримує температуру ФП в межах 25 ± 5 °С.

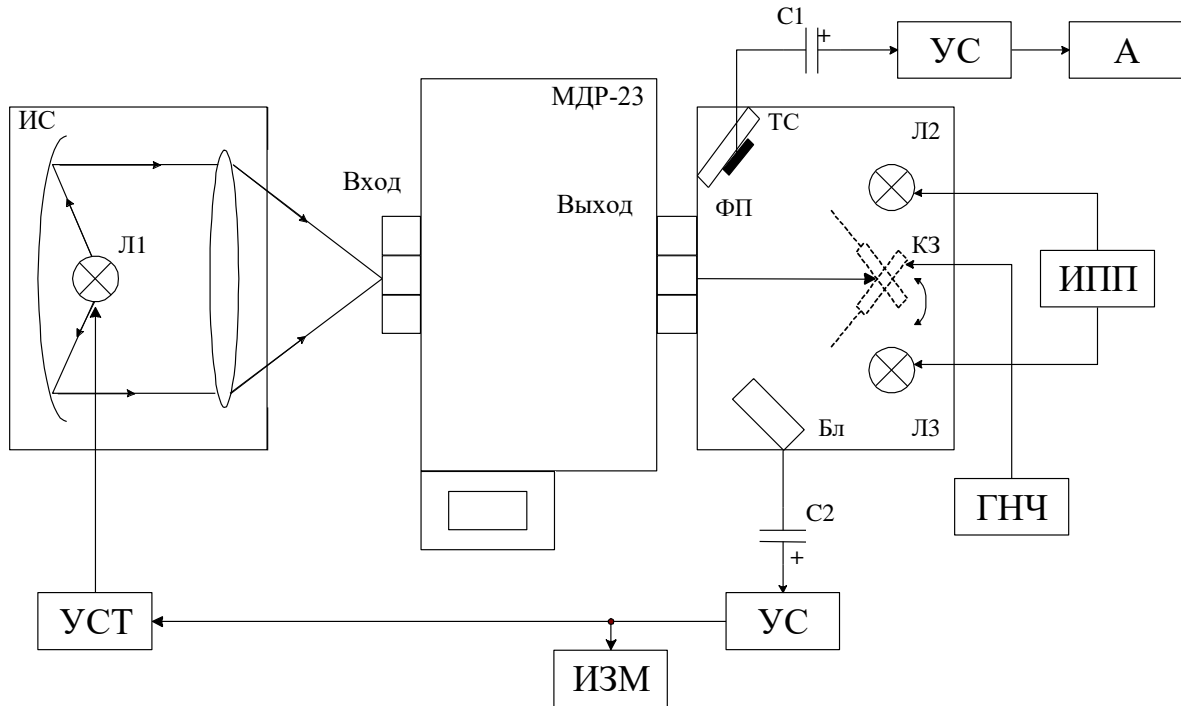


Рисунок 3.25 – Структурна схема установки для вимірювання абсолютної спектральної чутливості: ИС – джерело світла; КЗ – нестійке дзеркало; Бл – болометр; ФП – фотоперетворювач; ТС – термостабілізуюча основа; УС – підсилювач; А – амперметр; ИПП – джерело живлення підсвічування; ГНЧ – генератор низької частоти; ИЗМ – вимірювач; УСТ – керований стабілізатор струму

Методика лабораторних випробувань датчика освітленості смартфона полягає в наступному. При налаштуванні імітатора сонячного випромінювання по еталонному, зразковому або опорному фотоелектричному перетворювачу (ОФП) на основі монокристалічного р-кремнію домагаються рівності струму короткого замикання зразкового ФП на імітаторі $I_{ім}^{об}$ току в стандартних умовах $I_{станд}^{об}$. Ці струми можуть бути визначені за формулами

$$I_{ім}^{об} = F^{об} \int_0^{\infty} R_{ім}(\lambda) \cdot S^{об}(\lambda) \cdot d\lambda,$$

$$I_{об} = F^{об} \int_0^{\infty} R_{станд}(\lambda) \cdot S^{об}(\lambda) \cdot d\lambda,$$

де $R_{\text{ім}}(\lambda)$, $R_{\text{станд}}(\lambda)$ – спектральні щільності інтенсивності імітатора і стандартного сонячного випромінювання відповідно;

$S^{\text{об}}(\lambda)$ – спектральна чутливість зразкового ФП.

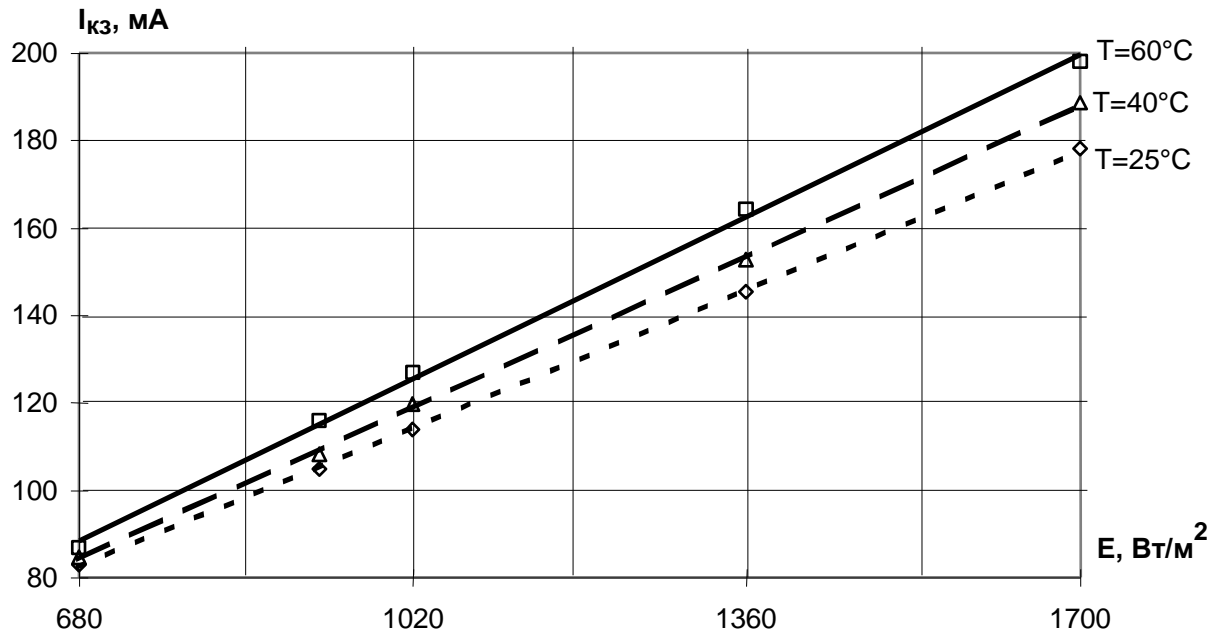


Рисунок 3.26 – Характеристики метрологічного ФП

Для лабораторних випробувань датчика освітленості смартфона використовується установка випробувань світлових вольт-амперних характеристик ФП (Рисунок 3.26).

Після настройки імітатора проводиться градування датчика освітленості, який випробовується:

$$I_{\text{ім}}^{\text{досл}} = F_{\text{досл}} \int_0^{\infty} E_{\text{ім}}(\lambda) \cdot S^{\text{досл}}(\lambda) \cdot d\lambda.$$

Для визначення спектральної характеристики чутливості датчика освітленості смартфона необхідно провести вимірювання відносної спектральної характеристики чутливості датчика освітленості смартфона і розрахувати масштабний множник.



Рисунок 3.27 – Проведення експерименту

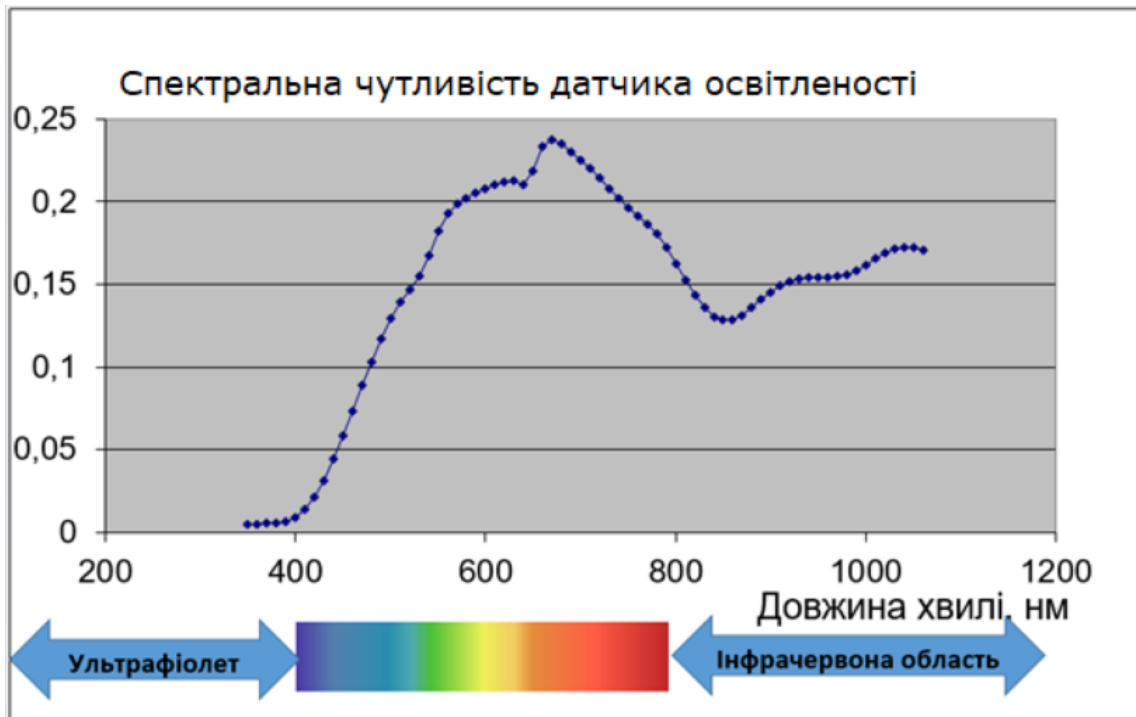


Рисунок 3.28 – Залежність спектральної чутливості датчика освітленості смартфона від довжини хвилі монохромного світла

Оскільки інтегральна чутливість давача освітленості визначається його спектральною освітленістю в діапазоні хвиль видимого світла, то залежність спектральної чутливості давача освітленості смартфона від довжини хвилі світла підтверджує прийнятну точність вимірювання інтегральної освітленості з похибкою до 10 %.

3.4.2 Вимірювання фонові, низько енергетичної освітленості в офісному приміщенні

Далі за допомогою розробленого прототипу ПЗ проведене вимірювання показників освітленості у офісному приміщенні.

Представимо отримані дані у графічному вигляді (Рисунок 3.29- Рисунок 3.35).

На першому графіку (Рисунок 3.29) порівняні показники освітленості, виміряної протягом доби у різних місяцях.

З цього графіку можна зробити висновок про те, що світло в офісному приміщенні вмикається приблизно о 09:00 та вимикається між 19:00 та 20:00.

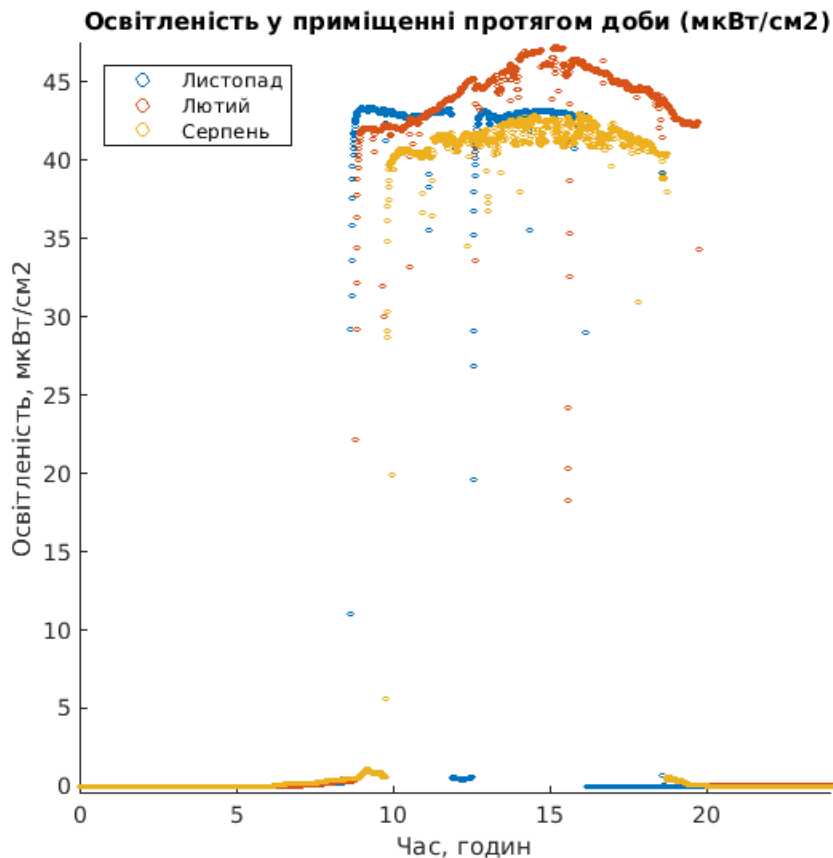


Рисунок 3.29 – Зміна освітленості в приміщенні протягом однієї доби

Далі дані було згруповано за днями. На графіку наведеному нижче (Рисунок 3.30) можна побачити як змінювалась середня добова освітленість протягом року.

На графіку розподілу видно, що є два пікових значення для показників середньодобової освітленості – 0 та 0.17 Вт/м². При цьому, пік у значенні 0 значно менший ніж пік у значенні 0.17.

Припустимо, що така ситуація обумовлена тим, що у тижні 7 днів, із котрих тільки 5 робочих, тому у 2 вихідних дня штучне світло не вмикається.

Перевіримо цю гіпотезу за допомогою методу перевірки статистичних гіпотез.

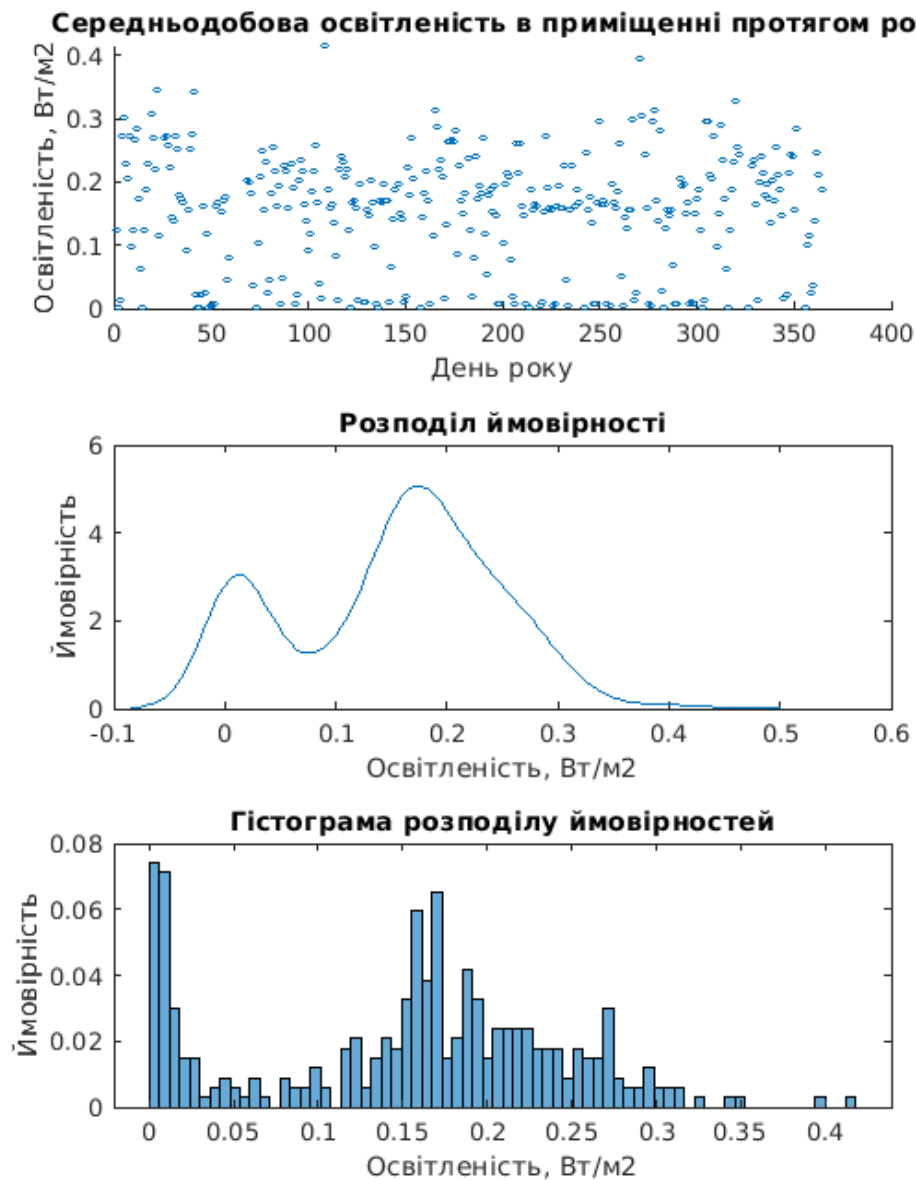


Рисунок 3.30 – Середньодобова освітленість протягом року та її розподіл

Для початку, згрупуємо дані за днями тижня та подивимось на розподіл середньодобової освітленості для кожного з них (Рисунок 3.31).

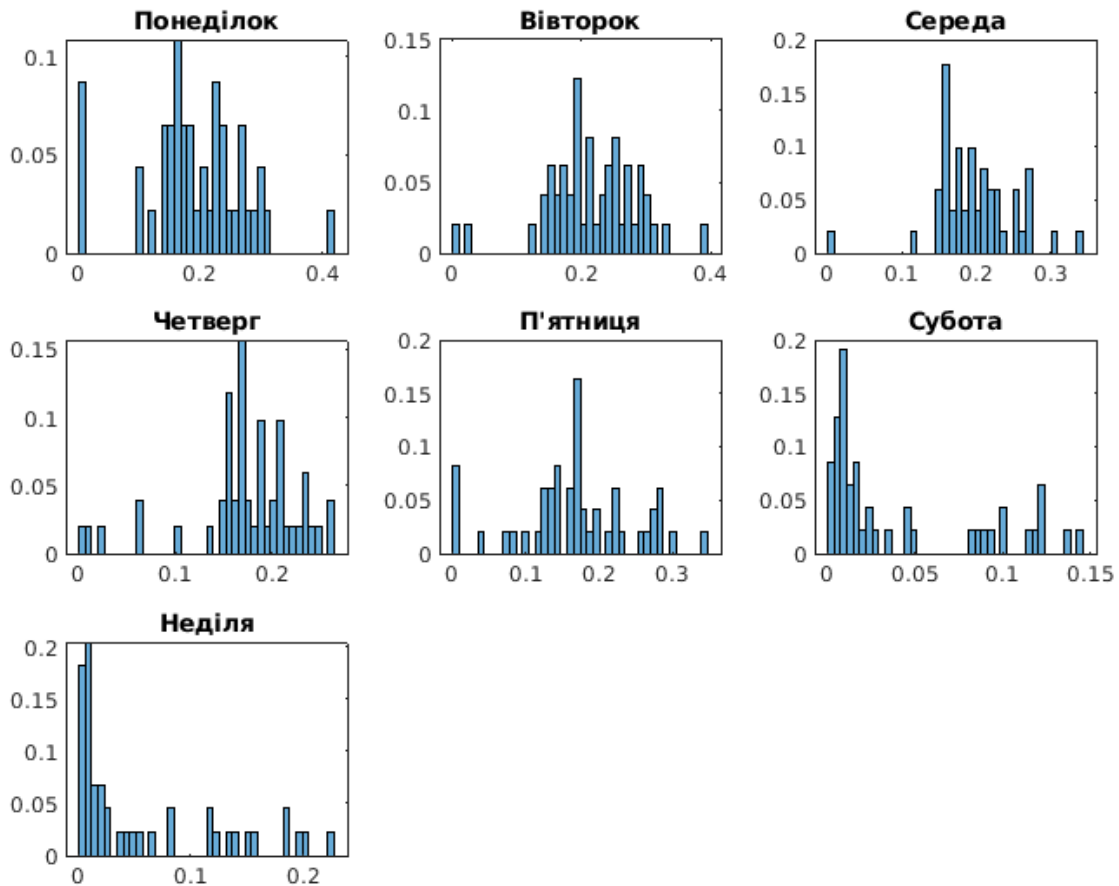


Рисунок 3.31 – Розподіл середньодобової освітленості в залежності від дня тижня

Ми бачимо, що якщо порівнювати наші дані візуально, то дійсно, з понеділка по п'ятницю середнє значення є близьким до 0.17, а для суботи та неділі пік знаходиться у нулі.

Ми можемо простежити медіани, квантилі, дисперсію і асиметрію в даних, а також виявити викиди, за допомогою діаграми розмаху (Рисунок 3.32).

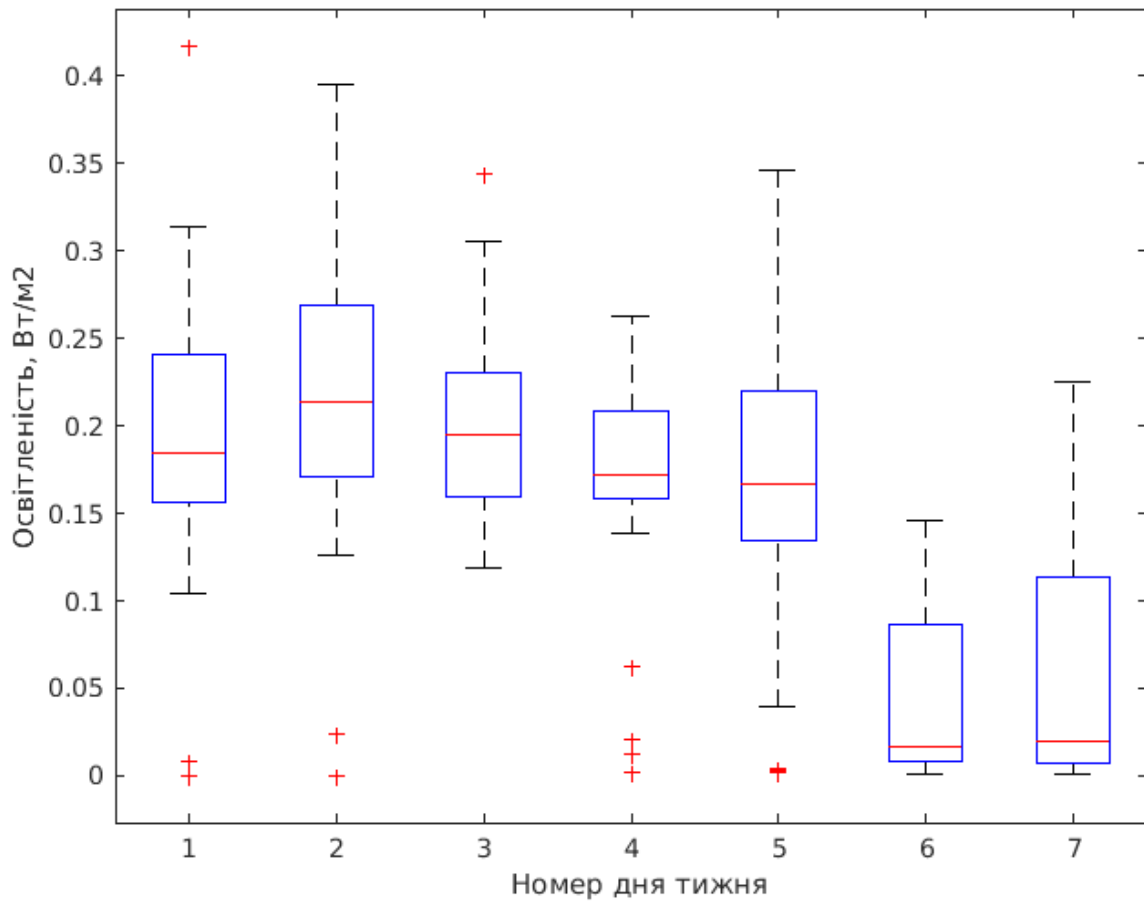


Рисунок 3.32 – Діаграма розмаху для показників середньодобової освітленості за днями тижня

На цій діаграмі явно можна побачити дві групи. Першу – для робочих днів (медіани лежать між 0.167 та 0.213), другу – для вихідних (медіана – близько 0.02).

Для того, щоб порівняти дані не візуально, а за допомогою строгих математичних правил, використаємо t-критерій (Ст'юдента).

Критерій Ст'юдента можна застосовувати тільки для нормально розподілених даних. Тому перший крок – це перевірити розподіл на нормальність.

Для цього побудуємо графік квантиль-квантиль для кожної вибірки (Рисунок 3.33).

На цьому графіку ми бачимо, що для робочих днів графік має лінійну форму. Це означає, що розподіл нормальний. Для суботи та неділі форма не лінійна. Тому критерій Ст'юдента ми можемо використати тільки для порівняння робочих днів. Для порівняння вихідних використаємо критерій U-критерій Манна-Уїтні.

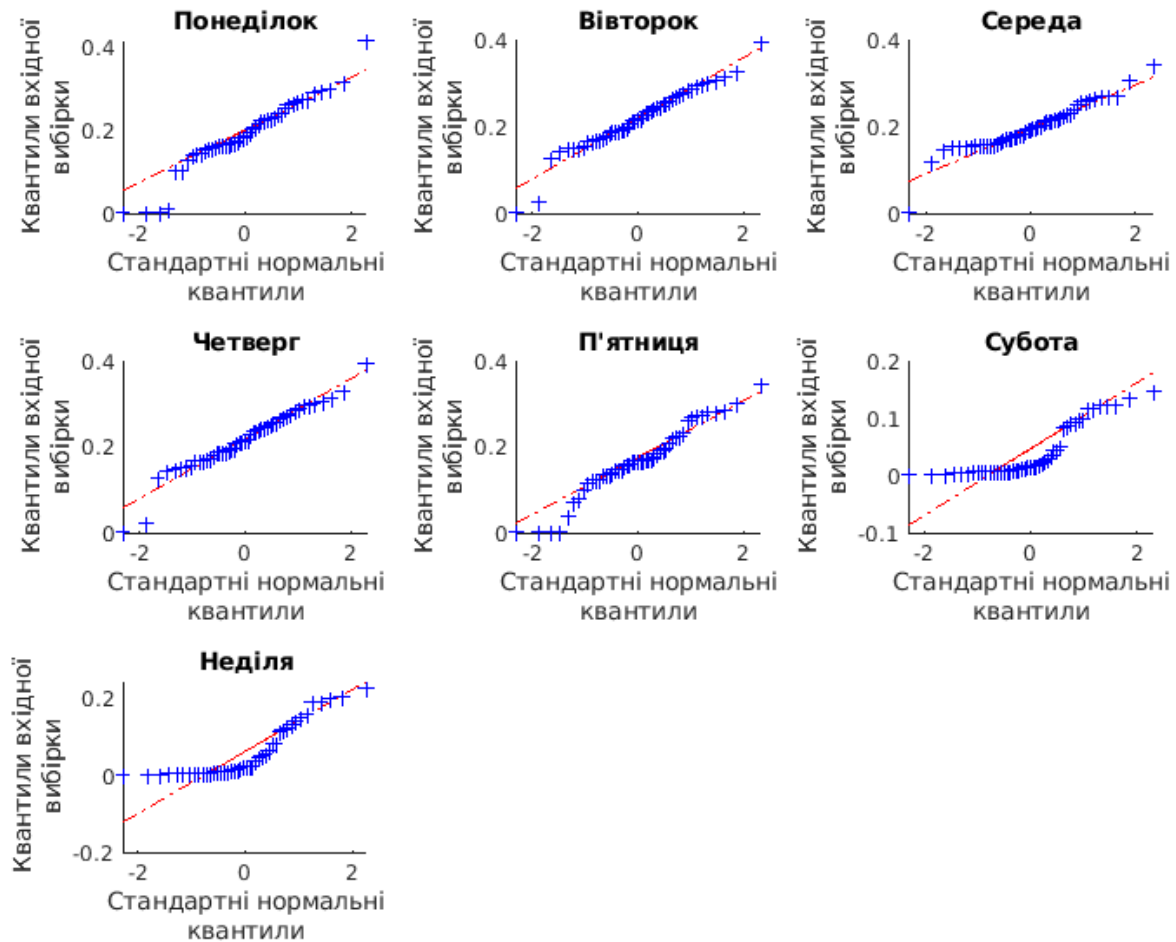


Рисунок 3.33 – Графік квантиль-квантиль для перевірки розподілу даних для кожного дня тижня

Далі попарно порівнюємо вибірки робочих днів, щоб зробити висновок про належність їх до однієї генеральної сукупності.

Розрахований критерій Стьюдента (за допомогою онлайн-калькулятора) підтверджує нашу гіпотезу про те, що робочі дні належать до однієї генеральної сукупності (Таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Порівняння вибірок за t-критерієм

Порівняні вибірки		$t_{\text{емп}}$	$t_{0.05}$	$t_{0.01}$	Вибірки різні
Понеділок	Вівторок	-1.52681	1.9867	2.6316	ні
Вівторок	Середа	1.49554	1.9845	2.6269	ні
Середа	Четвер	1.4132	1.9845	2.6269	ні
Четвер	П'ятниця	0.34309	1.9845	2.6269	ні

Таким чином, можна зробити висновок про те, що статистично значущих відмінностей між результатами груп немає, а це означає, що робочі дні належать до однієї генеральної сукупності.

Порівняємо вихідні за допомогою U-критерія Манна-Уїтні.
Отримуємо

$$U_{\text{емп.}} = 1014.0$$

$$U_{0.01} = 778.0$$

$$U_{0.05} = 866.0$$

З цього можна зробити висновок, що статистично значущих відмінностей між результатами для груп суботи та неділі немає.

Таким чином, ми підтверджуємо гіпотезу «Штучне освітлення не вмикається на вихідних».

Цікаво також поглянути на зміну середньотижневої освітленості протягом року (Рисунок 3.34).

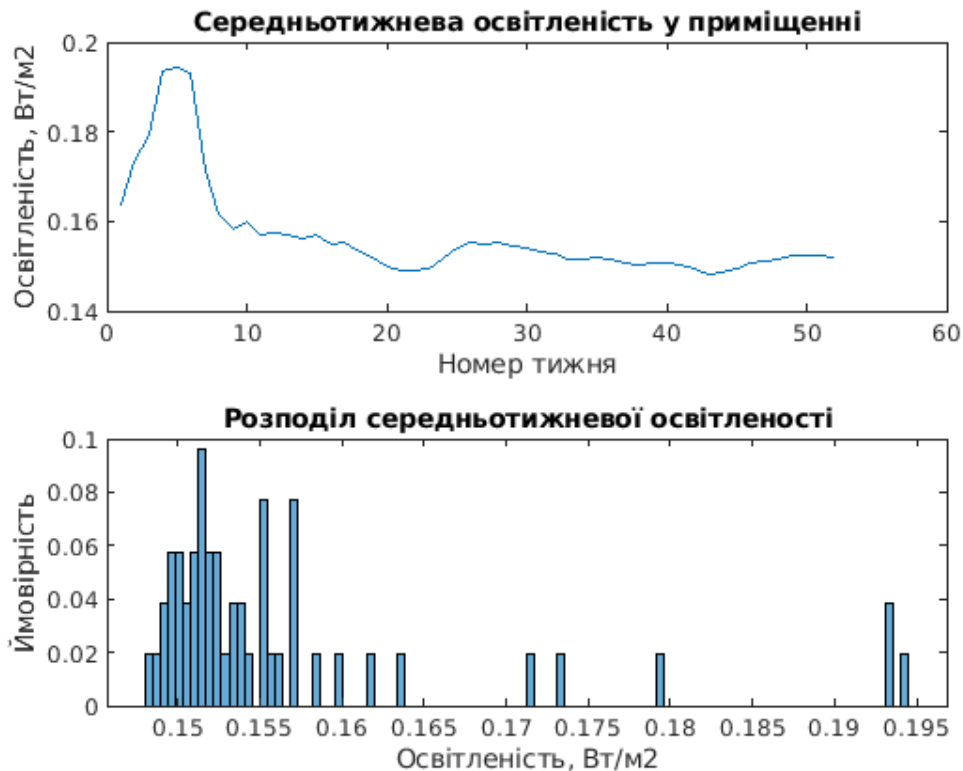


Рисунок 3.34 – Середньотижнева освітленість протягом року

Також для повноти картини наведемо середньомісячні дані освітленості протягом року (Рисунок 3.35).

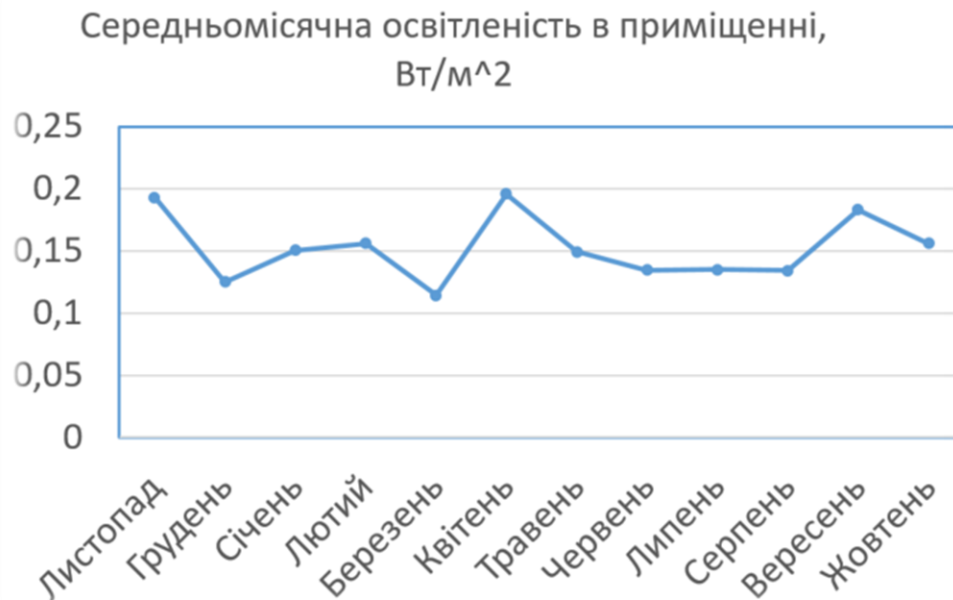


Рисунок 3.35 – Середньомісячна зміна освітленості в приміщенні

За допомогою розробленого прототипу програмного забезпечення для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення було зібрано набір даних показників освітленості в офісному приміщенні протягом року.

Результати досліджень (Рисунок 3.29- Рисунок 3.35) дозволяють зробити наступні висновки:

- фонові освітленість в приміщенні складає приблизно 0.02 % від того, що можна отримати на прямому сонячному світлі в червні, або липні;
- фонові освітленість в приміщенні складає приблизно 0.2 % від того, що можна отримати на прямому сонячному світлі в грудні, або січні
- вся корисна освітленість в цьому приміщенні є штучного походження (Рисунок 3.29 – Зміна освітленості в приміщенні протягом однієї доби), оскільки незалежно від пори року, при цьому штучне освітлення вмикається приблизно дев'ятої ранку, та вимикається приблизно в 19:00;
- штучне освітлення у приміщенні вмикається тільки у робочі дні;
- штучна природа походження світла призводить до того, що протягом року середньодобова та середньомісячна освітленість залишається незмінною.

3.5 Висновки до розділу 3

Проведено дослідження ефективності застосування вбудованих датчиків смартфона для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення, а також аналіз показників фонової освітленості в офісному приміщенні.

Для цього визначено вихідні дані для розробки програмного забезпечення для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення у вигляді функціональних та нефункціональних вимог до програмного забезпечення.

У якості апаратних засобів обрано мобільний пристрій Xiaomi Redmi 4x. Розглядено специфікації смартфона для визначення його ключових характеристик які важливі для проведення експерименту.

У якості програмного середовища розробки прототипу ПЗ обрано інструмент Xamarin на платформі .NET та IDE Visual Studio. У якості фреймворку для розробки обрано Xamarin.Forms.

Розроблено прототип ПЗ для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення, використовуючи датчик та камеру смартфона.

За допомогою розробленого ПЗ проведено визначення спектральної чутливості вбудованого датчика смартфона.

Також за допомогою ПЗ зібрані дані про вимірювання фонової, низько енергетичної освітленості в офісному приміщенні протягом року.

Дані проаналізовано за допомогою статистичної оцінки опитних даних та перевірки статистичних гіпотез

Проаналізувавши ці дані зроблено наступні висновки:

- фонова освітленість в приміщенні складає приблизно 0.02 % від того, що можна отримати на прямому сонячному світлі в червні, або липні;
- фонова освітленість в приміщенні складає приблизно 0.2 % від того, що можна отримати на прямому сонячному світлі в грудні, або січні
- вся корисна освітленість в цьому приміщенні є штучного походження (Рисунок 3.29 – Зміна освітленості в приміщенні протягом однієї доби), оскільки незалежно від пори року, при цьому штучне освітлення вмикається приблизно дев'ятої ранку, та вимикається приблизно в 19:00;
- штучне освітлення у приміщенні вмикається тільки у робочі дні;
- штучна природа походження світла призводить до того, що протягом року середньодобова та середньомісячна освітленість залишається незмінною.

Зібрані дані можливо використовувати для подальших досліджень в області Energy Harvesting, в тому числі для визначення доцільності використання фонових джерел світлової енергії для живлення смартфонів.

ВИСНОВКИ

В результаті написання дипломного проекту магістра на тему «Експериментальне дослідження можливості застосування фонових джерел світлової енергії для енергопостачання мобільних пристроїв» були розроблені нові методи автоматизації дослідження фотоелектричних технологій збору енергії Energy Harvesting та зібрані дані про показники освітленості в офісному приміщенні протягом року. Для цього було проведено:

1) аналіз шляхів та засобів вирішення проблеми енергетичної забезпеченості мобільних пристроїв, а саме:

- проведений аналіз проблем забезпечення ефективності використання сучасних мобільних пристроїв;
- розглядено існуючі методи та засоби забезпечення енергетичної ефективності сучасних мобільних пристроїв;
- проведений огляд програмно-апаратних рішень давачів сучасних мобільних пристроїв;

2) планування експерименту для дослідження можливості застосування фонових джерел світлової енергії для енергопостачання мобільних пристроїв за допомогою монохроматора МДР-23 та розробленого прототипу програмного забезпечення для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення;

3) проведено дослідження можливості застосування фонових джерел світлової енергії для енергопостачання мобільних пристроїв та аналіз експериментальних результатів:

- розроблений прототип програмного забезпечення для вимірювання енергетичних показників фонового освітлення;
- проведений експеримент з визначення спектральної та інтегральної чутливості вбудованого давача смартфона;
- за допомогою прототипу ПЗ зібрано дані про показники фонові освітленості в офісному приміщенні протягом року;
- проведений статистичний аналіз зібраних даних.

Розроблене програмне забезпечення можливо використовувати для збору даних про енергетичні характеристики фонового освітлення.

Зібрані дані можливо використовувати для подальших досліджень в області Energy Harvesting, в тому числі для визначення доцільності використання фонових джерел світлової енергії для живлення смартфонів.

Таким чином, проведено дослідження підтверджує доцільність використання смартфона як вимірювального приладу для подальших досліджень нових методів для енергопостачання мобільних пристроїв.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Soikkeli T. Diversity and end user context in smartphone usage sessions / T. Soikkeli, J. Karikoski, H. Hämmäinen. // Department of Communications and Networking Aalto University Espoo, Finland. – 2011.
2. Identifying Diverse Usage Behaviors of Smartphone Apps / [Q. Xu, J. Erman, A. Gerber та ін.]. // University of Michigan. – 2010. – С.329–335.
3. Кулеш С. Исследование: 45% всех взрослых жителей Украины уже пользуются смартфонами, а к 2020 году их проникновение возрастет до 70% [инфографика] [Электронный ресурс] / Сергій Кулеш // ІТС UA. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <https://itc.ua/news/issledovanie-45-vseh-vzroslyih-zhiteley-ukrainyi-uzhe-polzuyutsya-smartfonami-a-k-2020-godu-ih-proniknovenie-vozhrastet-do-70-infografika/>.
4. Chi C. What Is an Early Adopter? A 3-Minute Rundown [Электронный ресурс] / Clifford Chi // HubSpot. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://blog.hubspot.com/marketing/early-adopters>.
5. Глобальная digital статистика июня: в мире 5 млрд мобильных пользователей. [Электронный ресурс] // MMR. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: https://mmr.ua/show/globalnaya_digital_statistika_iyunya_v_mire_5_mlrd_mobilnyh_polzovateley.
6. Иванов К. Каждый четвертый пользователь смартфона проводит с ним более 7 часов [Электронный ресурс] / Константин Иванов // News Mobile Review. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://mobile-review.com/news/kazhdyj-chetvertyj-polzovatel-smartfona-provodit-s-nim-bolee-7-chasov>.
7. How Europeans spend their time: Everyday life of women and men [Электронный ресурс] // Eurostat. – 2004. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.unece.org/stats/gender/publications/MultiCountry/EUROSTAT/HowEuropeansSpendTheirTime.pdf>.
8. Rosser B. Smartphone applications for pain management / B. Rosser, C. Eccleston. // SAGE. – 2011. – С. 308–312.
9. Wolf J. Diagnostic Inaccuracy of Smartphone Applications for Melanoma Detection / J. A. Wolf, J. F. Moreau, O. Akilov. // JAMA Dermatol. – 2013.
10. Kummer M. When Private Information Settles the Bill: Money and Privacy in Google’s Market for Smartphone Applications / M. Kummer, P. Schulte. // Georgia Institute of Technology & University of East Anglia & Centre for European Economic Research. – 2018. – С. 1–35.
11. Lee Y. A checklist for assessing blind users’ usability of educational smartphone applications / Y. Lee, J. Lee. // Springer-Verlag GmbH Germany. – 2018.
12. The Ericsson Mobility Report [Электронный ресурс] // ericsson.com. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.ericsson.com/en/mobility-report>.

13. Леонова О. Системы дистанційного навчання, LMS [Електронний ресурс] / Олена Леонова // HURMA. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://hurma.work/ru/blog/top-10-sistem-dlya-distanczionnogo-obucheniya-sotrudnikov/>.
14. Smith A. U.S. Smartphone Use in 2015 [Електронний ресурс] / Aaron Smith // Pew Research Center. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.pewresearch.org/internet/2015/04/01/us-smartphone-use-in-2015/>.
15. Educational Integration of Prayer in Islam using an Augmented Reality Approach / [S. Murhayati, M. Abduh, R. Andhi та ін.]. // International Journal of Engineering and Advanced Technology. – 2019. – С. 2085–2087.
16. Wu, H. K. Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. / Wu, H. K., Lee, S. W. Y., Chang, H. Y., & Liang, J. C. // Computers & education – 2013. – С. 41-49.
17. Deepak G. Challenging Issues and Limitations of Mobile Computing / G. Deepak, B. S. Dr. Pradeep. // Int.J.Computer Techology & Applications. – 2012. – №3. – С. 177–181.
18. What's Inside My Smartphone? — An In-Depth Look At Different Components Of A Smartphone [Електронний ресурс] // Fossbytes. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://fossbytes.com/whats-inside-smartphone-depth-look-parts-powering-everyday-gadget/>.
19. What is in a smartphone processor? How does it benefit you? [Електронний ресурс] // BoxedTech. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://boxedtech.com/what-is-a-smartphone-processor-how-it-benefit-you>.
20. Understanding Smartphone Storage [Електронний ресурс] // Lifewire. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.lifewire.com/smartphone-buying-guides-577502>.
21. A smartphone was just announced with more RAM than a standard laptop — here's why RAM matters on a smartphone [Електронний ресурс] // Business Insider. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.businessinsider.com/what-is-ram-and-why-it-matters-on-smartphones-2018-12>.
22. COUSTAN D. How Smartphones Work [Електронний ресурс] / D. COUSTAN, J. STRICKLAND, J. PERRITANO // HowStuffWorks. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://electronics.howstuffworks.com/smartphone3.htm>.
23. Xiaoyu M. Different Levels of Energy and Power Management Systems in Embedded Devices / Min Xiaoyu. // Aalto University, School of Science. – 2017.
24. UNDERSTANDING POWER USAGE IN A SMARTPHONE [Електронний ресурс] // Electronics & systems, Mobile devices, The Basics. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://qnovo.com/understanding-power-usage-in-a-smartphone/>.

25. Abdelmotalib A. Power Management Techniques in Smartphones Operating Systems / A. Abdelmotalib, Z. Wu. // International Journal of Computer Science Issues. – 2012. – №9. – С. 157–160.
26. Liu X. Chameleon: application level power management with performance isolation / X. Liu, P. Shenoy, M. Corner. // ACM international conference on Multimedia, New York, NY, USA. – 2005. – №5. – С. 839– 848.
27. Vallina-Rodriguez N. Energy Management Techniques in Modern Mobile Handsets / N. Vallina-Rodriguez, J. Crowcroft. // IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS. – 2012.
28. Koala: a platform for os-level power management / D. C.Snowdon, E. Le Sueur, S. M. Petters, G. Heiser. // 4th ACM European conference on Computer systems. – 2009. – №9. – С. 289–302.
29. Power Management [Электронный ресурс] // DeveloperNokia. – 2014. – Режим доступа до ресурсу: http://www.developer.nokia.com/Community/Wiki/Symbian_OS_Internals/15._Power_Management.
30. Power Management for Android [Электронный ресурс] // Netmire. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: http://www.netmite.com/android/mydroid/development/pdk/docs/power_management.html.
31. Flinn J. PowerScope: A Tool for Profiling the Energy Usage of Mobile Applications / J. Flinn, M. Satyanarayanan. // Second IEEE Workshop on Mobile Computer Systems and Applications. – 2012. – С. 2–.
32. Narayanan D. Predictive Resource Management for Wearable Computing / D. Narayanan, M. Satyanarayanan. // 1st international conference on Mobile systems, applications and services. – 2010. – С. 113–128.
33. Bellosa F. The benefits of event: driven energy accounting in powersensitive systems / Bellosa. // Workshop on ACM SIGOPS European workshop: beyond the PC: new challenges for the operating system. – 2015. – С. 37–42.
34. Code transformations for energy-efficient device management / [T. Heath, E. Pinheiro, J. Ном та ін.]. // Computers, IEEE Transactions on. – 2004. – №54. – С. 974–987.
35. Anand M. Ghosts in the machine: interfaces for better power management / M. Anand, E. B. Nightingale, J. Flinn. // international conference on Mobile systems, applications, and services , ser. MobiSys. – 2012. – С. 23–35.
36. Zeng H. ECOSystem: managing energy as a first class operating system resource / H. Zeng, C. S. Ellis, A. R. Lebeck. // 10th international conference on Architectural support for programming languages and operating systems, ser. ASPLOS-X. – 2012. – С. 123–132.
37. Lago A. B. An application-aware approach to efficient power management in mobile devices / A. B. Lago, I. Larizgoitia. // Proceedings of the Fourth International ICST Conference on Communication System software and middleware (COMSWARE), ser. COMSWARE. – 2009. – №11. – С. 1–10.

38. Optimize for Doze and App Standby [Електронний ресурс] // Android Developers. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://developer.android.com/training/monitoring-device-state/doze-standby>.
39. Clean Technologies - Energy harvesting. – (Business Innovation Observatory, European Commission).
40. Odenwald S. Experimeter's Guide To Smartphone Sensors / Sten Odenwald., 2019. – 208 с. – (National Aeronautics and Space Administration). – (Version 6.0).
41. Программы для "Андроида" [Електронний ресурс] // KV.by. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kv.by/archive/index2011044501.htm>.
42. Німін В. Датчики у сучасних смартфонах [Електронний ресурс] / Володимир Німін // Android Mobile Review. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <http://android.mobile-review.com/articles/62300/>.
43. Сучасні МЕМС-гіроскопи та акселерометри [Електронний ресурс] // SOVTEST. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: https://sovtest-ate.com/news/publications/sovremennyye-mems_gيروسkopy-i-akselerometry/.
44. Nield D. All the Sensors in Your Smartphone, and How They Work [Електронний ресурс] / David Nield // GIZMODO. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://gizmodo.com/all-the-sensors-in-your-smartphone-and-how-they-work-1797121002>.
45. Датчик холла [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://otdelkagres.ru/datchik-holla/>.
46. Датчики та сенсори сучасних мобільних приладів [Електронний ресурс] // InfoCity. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <https://infocity.az/2013/07/%D0%>
47. Чірков К. В. Удосконалення методів попередньої обробки зображень в системах візуалізації : дис. канд. техн. наук : 05.12.04 / Чірков Костянтин Володимирович – Владимир, 2009. – 134 с.
48. Макаренко О. О. Алгоритми і програмна система класифікації напівтонових зображень на основі нейронних мереж: дис. канд. техн. наук: 05.13.18 / Макаренко Олексій Олександрович. – Москва: 2007.
49. Li S. Hardware Design Guide to Smartphone Ambient-Light Sensing [Електронний ресурс] / Steven Li // ElectronicDesign. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.electronicdesign.com/technologies/android/article/21801487/hardware-design-guide-to-smartphone-ambientlight-sensing>.
50. Анатомія камери смартфона. Частина перша [Електронний ресурс] // 4PDA. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://4pda.ru/2017/01/22/334166/>.
51. Exchangeable image file format fro digital still cameras: Exif version 2.3. // Standart of the camera & Imaging Products Association. – 2012. – №8.
52. Humrick M. The Google Pixel XL Review: Life After Nexus [Електронний ресурс] / М. Humrick, В. Chester // AnandTech. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.anandtech.com/show/10753/the-google-pixel-xl-review/4>.