

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроніки та інформаційних технологій

Кафедра електроніки,
загальної та прикладної фізики

Кваліфікаційна робота бакалавра
**МОБІЛЬНА ФІЗИЧНА ЛАБОРАТОРІЯ НА ОСНОВІ СЕНСОРНОЇ
СИСТЕМИ СМАРТФОНА**

Студент гр. ЕП-71



В. О. Черевко

Науковий керівник
асистент



А. О. Степаненко

Завідувач кафедри ЕЗПФ
д-р фіз.-мат. наук, професор



І. Ю. Проценко

РЕФЕРАТ

Метою кваліфікаційної роботи є огляд принципів роботи та характеристик сенсорів смартфона Xiaomi Redmi Note7, а також аналіз можливостей смартфона як міні-дослідницької станції для використання в лабораторіях кафедри електроніки, загальної та прикладної фізики.

Під час виконання роботи використовували аналіз сучасних літературних джерел та інтернет ресурсів, присвячених новим методам та технологіям використання сенсорних систем смартфонів в лабораторних дослідженнях. Дослідження проводили з використанням сенсорної системи смартфона Xiaomi Redmi Note7.

Робота складається з 3 розділів. У результаті проведеного літературного аналізу визначено принцип роботи, характеристики та призначення сенсорів смартфонів. Наведена порівняльна характеристика програмного забезпечення для роботи з датчиками. Ця інформація наводиться в першому розділі. Другий розділ присвячений огляду методики використання мобільної сенсорної системи для машинного навчання. В третьому розділі приведено приклади результатів вимірювання фізичних величин за допомогою датчиків смартфона.

Робота викладена на 25 сторінках, у тому числі має 14 рисунків та список з цитованої літератури з 21 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СМАРТФОН, СЕНСОРИ СМАРТФОНА, АКСЕЛЕРОМЕТР, ЛЮКСОМЕТР, ДАТЧИК НАБЛИЖЕННЯ, ДАТЧИК ПОЛОЖЕННЯ.

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. СЕНСОРНА СИСТЕМА СМАРТФОНА	6
1.1 Принцип роботи і характеристики сенсорів смартфона Xiaomi Redmi Note 7.....	6
1.2 Програмне забезпечення для роботи з сенсорами смартфонів.....	14
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ СЕНСОРНОЇ СИСТЕМИ СМАРТФОНА ЯК МОБІЛЬНОЇ ФІЗИЧНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ	17
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ	20
ВИСНОВКИ	23
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	24

ВСТУП

У наш час смартфони це невід'ємна частина життя, але більшість користувачів навіть не уявляє, на що здатні ці пристрої з усіма увімкненими функціями. Розвиток електроніки і сенсорної техніки не стоїть на місці і з кожним роком ми бачимо більш досконалі моделі смартфонів, усе більше стає вибір та функціонал. Сучасні смартфони є достатньо потужними кишеньковими комп'ютерами, які, крім комунікативної функції, забезпечують виконання інших складних розрахункових завдань. При цьому пристрої оснащені чутливою системою сенсорів, яка здатна забезпечити одночасне вимірювання з високою точністю різних фізичних величин (освітленість, індукцію магнітного поля, прискорення, тиск та ін.).

Стрімкий розвиток, широке розповсюдження, відносна доступність та наявність високоточної сенсорної системи навіть в бюджетних моделях смартфонів зумовлює актуальність досліджень можливостей застосування мобільних пристроїв в науці та освіті. Це привело до появи та розвитку методів їх використання в навчальному процесі (технологія BYOD (Bring your own device) [1-3]) а також в різноманітних наукових дослідженнях [4-8]. Оскільки смартфони є по суті достатньо потужними комп'ютерами, то це дає можливість не лише отримувати сигнал з сенсорів, а і обробляти його за допомогою спеціальних програм-додатків, які розроблені для виконання різноманітних завдань. Прикладами безкоштовних додатків для моніторингу даних з сенсорів є Physics Toolbox Suite, Smart Tools, Sensor Kinetics та ін.. При цьому є можливість самостійної розробки таких програм, для виконання конкретних дослідницьких задач.

Метою роботи є огляд принципів роботи та характеристик сенсорів смартфона Xiaomi Redmi Note7, а також аналіз можливостей смартфона як міні-дослідницької станції для використання в лабораторіях кафедри електроніки, загальної та прикладної фізики.

РОЗДІЛ 1. СЕНСОРНА СИСТЕМА СМАРТФОНА

1.1. Принцип роботи і характеристики сенсорів смартфона Xiaomi Redmi Note7

Найбільш поширений сенсор який ми зустрічаємо у смартфонах це сенсор наближення. Він допомагає телефону розпізнати об'єкт який наближається до нього. Найчастіше його розташовують над сенсорним екраном для того, щоб при телефонній розмові він автоматично блокувався і користувач вухом не натискав різні кнопки. Також сенсор використовують для розблокування телефону. Поки телефон у кишені він зчитує цю інформацію. Потім, як тільки його дістають, сенсор вже не реагує на предмети, тому що він дуже малої потужності і працює на відстані від 1 см до 5 см.

Сенсор освітленості допомагає регулювати яскравість телефону при зміні зовнішнього освітлення, робити його більш яскравим вдень, та тусклим вночі. В смартфонах він застосовується для того, щоб зменшити навантаження на очі людини, але його можна використовувати як люксометр. Приклад розташування сенсора зображено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Розташування сенсора освітленості над екраном смартфона

Функцію датчика наближення в Xiaomi Redmi Note7 технічно реалізовано за допомогою сенсора освітленості. Він складається з інфрачервоного світлодіода та інфрачервоного детекторного фотодіода. Інфрачервоний діод постійно випромінює. Коли об'єкт наближається до датчика, ці світлові хвилі

відбиваються назад до мобільного пристрою і поглинаються фотодіодом, що детектує інфрачервоне світло. Наявність або відсутність відбитого інфрачервоного світла інтерпретується як об'єкт, який присутній або відсутній поблизу датчика [9 – 12].

STK3332 alsprx – це вбудований низьковольтний I2C датчик навколишнього освітлення (ALS) та датчик наближення (PS) з вбудованим випромінювачем в одному мініатюрному корпусі для поверхневого монтажу виробництва Sensortek. ALS забезпечує лінійну реакцію в широкому динамічному діапазоні, що добре підходить для застосувань із дуже низьким або високим рівнем яскравості навколишнього середовища. Крім того, із вбудованим датчиком наближення, цей датчик пропонує функцію виявлення об'єкта з можливістю налаштування користувачем відстані детектування.

Датчик має програмоване переривання з гістерезисом на відповідь на події, що позбавляє від необхідності опитування датчика для зчитування, яке покращує ефективність системи. Виготовлення за CMOS-технологією та встановлена на заводі можливість одноразової обрізки забезпечують мінімальні варіації для технологічної простоти з'єднання сенсор-сенсор.

Характеристики сенсора:

- інтерфейс I2C (стандартний режим на 100 кГц або швидкий режим на 400 кГц);
- датчик освітленості та наближення в одному надвеликому корпусі ChipLED;
- дуже низьке споживання енергії завдяки можливості режиму сну;
- діапазон робочої напруги: від 1,7 В до 3,6 В;
- діапазон робочих температур: від -40 до +85 °С;
- вбудований контур компенсації температури;
- програмована функція переривання для ALS і PS з верхнім і нижнім порогами;
- не містить галогенів;
- ефективна роздільна здатність від 16 до 20 біт;
- широкий динамічний діапазон з лінійною характеристикою;
- близько до спектральної реакції людського ока;
- автоматичне налаштування під мерехтіння освітлення 50 Гц/60 Гц.

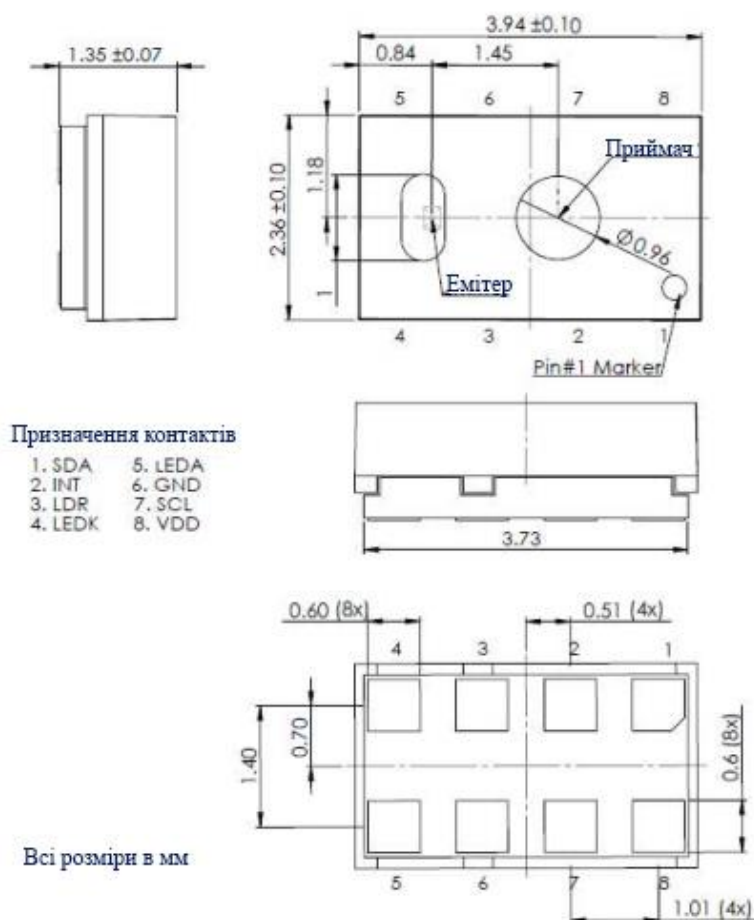


Рисунок 1.2 – Геометричні розміри і призначення контактів датчика освітленості та наближення STK3332 [9]

На рисунках 1.3 та 1.4 наведено залежність чутливості датчиків від довжини хвилі та кута опромінення.

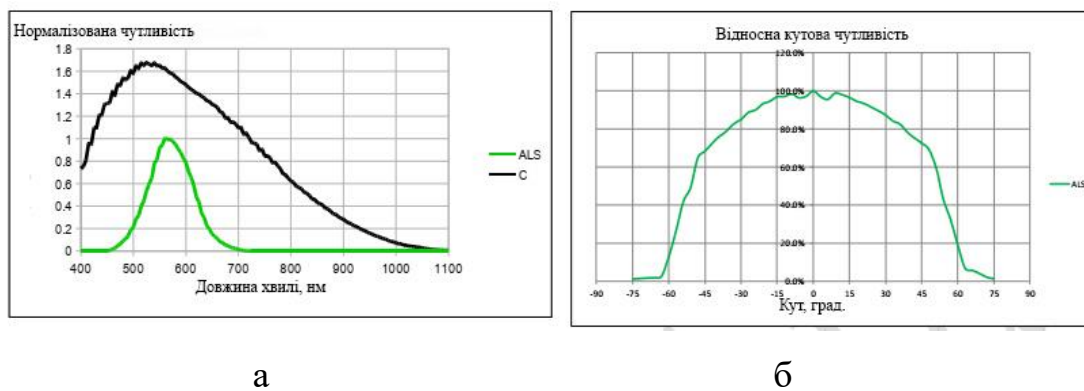
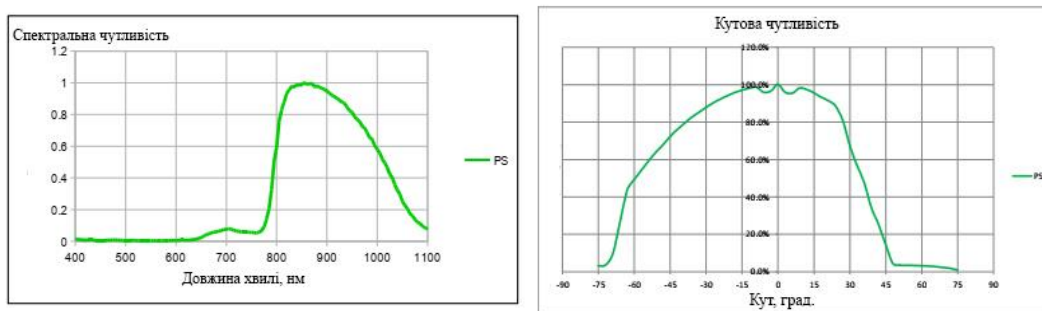


Рисунок 1.3 – Залежності чутливості датчика освітленості STK3332 (ALS) від довжини хвилі (а) та кута падіння (б) світла. С – сукупна чутливість (ALS+PS) [9]



а

б

Рисунок 1.4 – Залежності чутливості датчика наближення (PS) STK3332 від довжини хвилі (а) та кута падіння (б) світла [9]

Аналіз наведених залежностей показує, що датчики освітленості і наближення працюють в різних спектральних діапазонах, що дозволяє розділити отримуваний сигнал. Тобто датчик STK3332 працює одночасно і як сенсор освітленості, і як сенсор наближення без виникнення конфлікту сприйняття.

Одним з провідних модулів смартфона є гіроскоп. Він призначений для реагування на зміну кутів орієнтації приладу в просторі. Часто гіроскоп суміщають з акселерометром. Це дозволяє визначати прискорення та швидкість переміщення. Розробники впроваджують в смартфони програмне забезпечення, що дозволяє керувати функціями пристроїв у відповідь на сигнали, отримані з гіроскопа. Наприклад, в деяких операційних системах за допомогою струшування телефону запускається оновлення для Bluetooth або запускається специфічна програма по вимірюванню кутів нахилу і рівня. Цей датчик не потребує калібрування і працює в автоматичному режимі.

Гіроскоп часто складається з однієї або пари гребінчастих інерційних мас, які можуть вільно переміщатися по площині. Невеликий електричний струм змушує каркаси гребінчастих структур резонувати в одному вимірі. Коли мобільний пристрій обертається, інерційна маса починає виходити з єдиного напрямку резонансної вібрації. Це пов'язано з силою Кориоліса, яка виникає в різних системах відліку. Маса переміщується між пластин конденсатора, змінюючи на них електричний потенціал. Зміни електричного потенціалу в

напрямку вібрації в порівнянні з нерухомою системою інтерпретуються як швидкість обертання.

У смартфоні Xiaomi Redmi Note7 це сенсор BMI120 Gyroscope виробництва BOSCH. Частота обробки інформації цього датчика 401 Гц. Представляє собою апаратно синхронізовані високопродуктивний акселерометр та гіроскоп. Характеризуються дуже низьким споживанням енергії (925 мкА акселерометр і гіроскоп в повному режимі роботи), дуже малим розміром ($2,5 \times 3,0$ мм², висота 0,83 мм), широким діапазоном джерела живлення (1,71 - 3,6 В), наявністю апаратних датчиків часу для точного злиття даних датчиків.

Є датчик, який дуже схожий за функціями на гіроскоп, але він працює за іншим принципом і має назву магнітометр. Датчик зчитує положення телефону відносно магнітних полів землі, також його можливо перетворити на датчик, який може фіксувати металеві предмети, тобто металошукач. В Xiaomi Redmi Note7 цим датчиком є AK09918 Magnetometer.

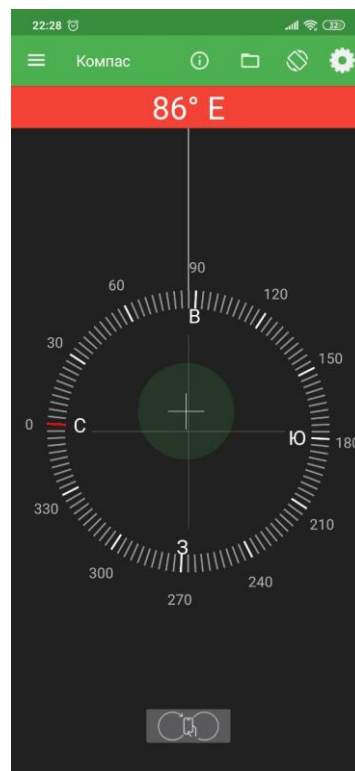


Рисунок 1.5 - Приклад компасу в доданку PTS

Вбудований в смартфони Xiaomi компас дозволяє не тільки точно орієнтуватися по сторонах світу, а й виконувати ряд інших корисних завдань. Компас показує напрямок загального магнітного поля, вказуючи в напрямку магнітного півдня (при відсутності сильного зовнішнього магнітного поля, крім геомагнітного поля Землі, це зазвичай інтерпретується як географічна північ). Компас також забезпечує бульбашковий рівень, який використовує інформацію від вимірювача сили тяжіння. Компас використовує дані магнітометра. Приклад можна побачити на рисунках 1.5 та 1.6.

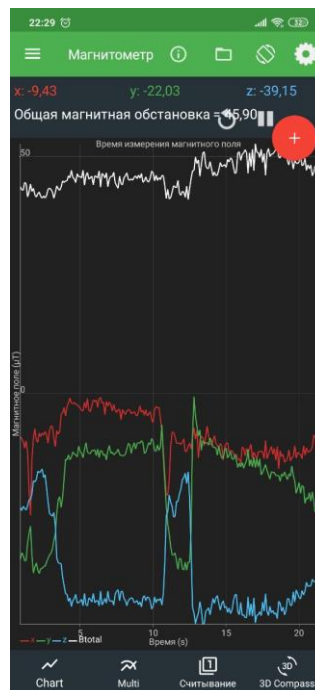


Рисунок 1.6 - Вимірювання просторового розподілу магнітних полів магнітометром смартфона за допомогою програми PTS

Принцип роботи рівня організований аналогічним чином, як і в стандартних приладах, а висока його точність гарантується за рахунок вбудованого гіроскопа.

Датчик звуку регулює звук повідомлень та дзвінків. Коли на вулиці шумно він піднімає звук повідомлення, а коли тихо - то навпаки, зменшує до оптимального. Шумомір складається з ємнісного мікрофона. Мікрофон складається з провідної мембрани, яка згинається при прийомі звукових хвиль. За провідної мембраною розміщується перфорована суцільна провідить

пластина. Коли гнучка мембрана рухається у відповідь на звукові хвилі, різниця потенціалів між мембраною і задньої пластинкою змінюється. Ці зміни інтерпретуються як виявлення звуку, а великі відмінності інтерпретуються як більш висока інтенсивність.

Датчик температури регулює температуру смартфона. Наприклад, коли відкрито багато додатків смартфоні. Можливо встановити додаток на смартфон, який буде усю потрібну інформацію зчитувати. Прикладом є програма Cooler Master (CM).



Рисунок 1.7 - Інтерфейс мобільного додатку Cooler Master

Барометр підтримується не усіма смартфонами, а лише новими моделями. Він зчитує тиск атмосфери, застосовується для того, щоб прогнозувати зміни погоди а також для вимірювання висоти над рівнем моря, але є доповнення, які це компенсують. Наприклад «Барометр про».

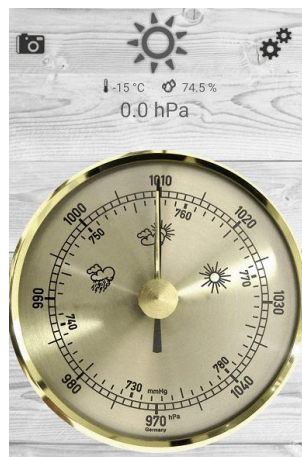


Рисунок 1.8 - Приклад програми «Барометр про» для визначення тиску

Також не варто забувати про інші важливі датчики, такі як педометр та пульсометр, вони зчитують кількість пройдених кроків, активність протягом дня, а також частоту серцебиття. Також при активних заняттях він швидко може виміряти ритм серця і скорегувати навантаження для підвищення ефективності тренування та мінімізувати травматизм тіла, але недоліком є те що потрібен тісний контакт з пульсометром, точніше частини тіла у якій судини ближче знаходяться до шкіри. Приклад наведено на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 - Приклад програми для педометра [11]

Дозиметри мають смартфони тільки дорогого сегменту тому, що цей датчик вимірює рівень радіації а також забрудненості повітря, його почали встановлювати після аварії на електростанції в Японії.



Рисунок 1.10 - Приклад програмного забезпечення для дозиметра

Призначення сенсора гравітації полягає у тому, щоб вимірювати силу тяжіння нашої планети у тривимірному пристрої. Цей датчик зазвичай використовується тільки у парі з іншими датчиками.

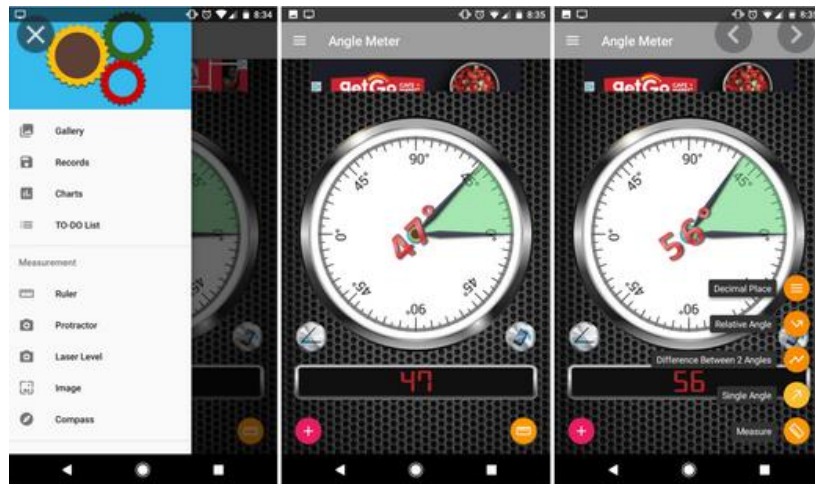


Рисунок 1.11 - Програма Angle Meteor для смартфонів на базі Android

Гігрометр вимірює вологість повітря і на основі цього прогнозує погоду, також він використовується у квартирі для того щоб збільшити або зменшити вологість повітря.

1.2 Програмне забезпечення для роботи з сенсорами смартфонів

CPU-Z це корисний додаток який може поєднати усі системи виміру на смартфоні в одному додатку. Розглянемо докладніше його функціонал.

Вкладка SOC - відображає деталі архітектури смартфона Android. Вкладка Пристрій – показує деталі пристрою, його модель, виробника, діагональ екрану, загальну та використовувану пам'ять. Вкладка Система - показує детальну інформацію про ваш телефон, його модель, виробника, тип плати, розмір дисплея, а також версію операційної системи. Вкладка батарея - показує стан заряду батареї, і також її характеристики. Теплова вкладка - показує список датчиків температури. Оскільки навантаження на головний процесор може призводити до його нагрівання. Але цей датчик є не у всіх моделях смартфонів.

Якщо його немає, то у цій вкладці будуть показані сталі параметри, але не правдиві. Вкладка Датчики - показує датчики, які знаходяться на телефоні. Ви можете тестувати телефон, якщо окремі датчики працюють то у системі зміняться параметри, але якщо показання CPU-Z не змінюються під час ваших тестів, то датчик не працює, або він взагалі не встановлений на ваш телефон, тому на це потрібно звертати увагу.

Програма здатна визначати наступні характеристики:

Процесор: назва та модель; степпінг ядра і техпроцес; напруга ядра; внутрішня і зовнішня частоти, множник процесора; підтримувані набори інструкцій; інформація про кеш-пам'ять.

Материнська плата: виробник, модель і ревізія; виробник BIOS, дата і версія BIOS; чіпсет (північний і південний мости) і датчик графічний інтерфейс.

Пам'ять: частота і таймінги; специфікації модулів, записані в SPD - виробник, серійний номер, таблиця таймінгів.

Доданок Датчик Кінетика поєднує у собі усі датчики на телефоні. За допомогою нього можна протестувати усі датчики. Ви можете деякі датчики ввімкнути, а деякі вимкнути і також перевірити, який датчик не працює. Це значно спрощує метод пошуку несправності. Також він поєднує у собі усі покази сенсорів у реальному часі та їх допустимі інтервали роботи, тобто їх мінімум та максимум, при якому вони можуть працювати у стандартному режимі

Для спрощення інтерфейсу було вдосконалено та розроблено додаток Телефон Тестер. Він не тільки перевіряє наявність датчиків, він також перевіряє їх рівень життя, зчитує температуру, вологість повітря, серцевий ритм, датчики відбиття пальцю, інтернет, батарею та системну інформацію. У цьому додатку є платна версія з більшим функціоналом. В якій наводиться інформація про пам'ять телефону, швидкість процесору.

Розробники системи MIUI 11 [13] намагаються створити інтерфейс, який буде співпрацювати з усіма сенсорами а також спростить користування телефоном. Потрібно згадати простий інтерфейс, який розроблений дуже просто для того щоб розібралась навіть дитина.

Варто почати із того, як вони вмонтували сенсори яскравості екрану. Якщо вам відправили смс під час заблокованого екрану, то ви побачите смс у яскравості, максимально наближеній до середовища, у якому знаходиться телефон. Це стало можливим за допомогою програми Always on display.

Датчик звуку зчитує усі звуки які знаходяться навколо телефону та підбирає найбільш схожий та приємний для вашого слуху сигнал, щоб вас не відволікати.

Також була вмонтована програма, яка спрощує роботу у житті а точніше в офісі, усі програми які раніше використовували для роботи будуть зчитані смартфоном і прискорені, на них буде виділятися більше пам'яті.

Була розроблена програма Mi Go. Вона дозволяє зібрати усі програми, які будуть зчитувати усі данні необхідні для подорожей, а точніше, завдяки показникам з сенсорів, вони будуть прогнозувати погодні умови, а також прораховувати маршрути подорожі з можливістю закупівлі квитків за мінімальною ціною.

Про дітей ця компанія також не забула і розробила спеціальний режим Family Guardian, за допомогою якого можна відстежувати положення дитини на карті а також блокувати деякі функції по типу дзвінків а також смс.

Для мешканців деяких країн була передбачена програма, яка зчитує коливання землі а також можливе виверження вулкану або землетрус. Для деяких країн, розробниками було передбачено також тривожна кнопка, іноді у людей не вистачає часу щоб непомітно розблокувати телефон, тому телефон зчитує натискання 5 раз кнопки «додому» і у той же момент телефон за допомогою сенсорів зчитує місцезнаходження і відправляє його до надзвичайних служб [14, 15].

Зручним і інформативним доданком для моніторингу даних з сенсорів смартфона є Physics Toolbox Suite. Програма здатна визначати наступне: інформацію про виробника, принцип дії та характеристики сенсора. Дозволяє одержувати сигнал від групи сенсорів і будувати графіки.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ СЕНСОРНОЇ СИСТЕМИ СМАРТФОНА ЯК МОБІЛЬНОЇ ФІЗИЧНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ

У цьому розділі розглянемо, чи може смартфон зі своїми сенсорами замінити лабораторію. Звичайно, на це питання усі люди дадуть відповідь, що смартфон ніколи не замінить лабораторію, але це дуже спірне питання. 5 років назад ми й подумати не могли, що зараз смартфони зможуть усе виміряти та прорахувати. На сьогоднішній день смартфони, з його рівнем програмного забезпечення, можуть виміряти усе те саме, що й у лабораторіях прилади вузького спектру. Після такого постає логічне питання навіщо лабораторії і багато грошових витрат на дорогі прилади, якщо можна купити смартфон, який коштує у сотні разів дешевше. Так це легше і дешевше, але не варто забувати про точність вимірювання цих приладів. Лабораторні машини вимірюють у мільйон разів точніше ніж смартфон, та скільки б смартфон не вдосконалювався він ніколи не замінить лабораторні пристрої тому, що вони також не стоять на місці, вони як були точніше, так і будуть завжди. Але, в наш час розробляють методики використання смартфонів для різних досліджень [10, 16 -21].

Розглянемо методику використання сенсорної системи смартфона для лабораторних досліджень, що представлені в роботі [18]. Вона складається з наступних етапів. Етап I складається із збору вихідних даних акселерометра, який виявляє рухи та напрямок руху мобільного телефону, та гіроскопа, який визначає обертальні рухи та орієнтацію. На II фазі спочатку описується метод вилучення особливостей, що виконується на основі необроблених даних та моделей машинного навчання, побудованих для виявлення активності, потім описується модель глибокого навчання на основі згорткової нейронної мережі. Основні кроки моделі машинного навчання A.Machine: 1) фільтрування даних датчика - видає відфільтровані дані датчика на основі окремих дій, що виконуються користувачем; 2) датчик сегментації даних - дає відфільтровані дані, які ділять дані на сегменти, пов'язані з діяльністю; 3) вилучення ознак - розробили два типи ознак, які використовуються для класифікації; 4)

класифікація - методи машинного навчання, класифікатор SVM з лінійним ядром (LibSVM) та лінійні дискримінанти Фішера (FLD) використовуються для побудови контрольованої моделі класифікації; 5) Виявлення / прогнозування - людська діяльність прогнозується на основі вилучених характеристик та встановлених моделей класифікації. У цьому процесі дані, зібрані з акселерометра та гіроскопа, спочатку попередньо обробляються фільтрами шумів, а потім відбираються з вікном фіксованого розміру 2,5 секунди для вилучення особливостей.

Для експериментального аналізу збирають дані датчика для наступних видів діяльності людини: біг, ходьба, рух за годинниковою стрілкою (CW), рух проти годинникової стрілки (CCW), вгору та вниз (UD) та вліво-вправо (LR). Зібрані вихідні дані складаються з необроблених даних часових рядів із значеннями осей X, Y, Z для кожної мітки. Кожна категорія людської діяльності містить 50 зразків подій. Експерименти проводили, поклавши телефон у кишеню штанів, тримаючи його в руці та поклавши на землю.

Точність виявлення події за допомогою LibSVM та FLD визначається як різниця між одиницею та значенням похибки на основі датчиків акселерометра та гіроскопа відповідно, відрізняючи одну подію від іншої понад 30 експериментів для кожної двійкової класифікації. У цьому експерименті навчальний набір на 60% вибирається випадковим чином. Результати експерименту показують, що середня точність виявлення може бути знайдена максимум на 100% для різних наборів подій. Серед різних наборів функцій, що використовуються, A/G-sf показує максимальну кількість найвищої середньої точності виявлення (10 з 15 наборів подій) за допомогою lib SVM та A-fc (6 з 15 наборів подій) за допомогою FLD. Інші найвищі точності для кожного набору подій також мають такі функції, що використовують дані акселерометра або дані акселерометра та гіроскопа.

Смартфони та інші датчики GPS можуть служити елементами мережі системи сповіщення про землетруси або цунамі. Прості смартфони можуть

швидко зафіксувати початок зрушення землі, та попередити людей про небезпеку.

Для цього розробили спеціальну програму таку як MyShake, програма працює у фоновому режимі і використовує внутрішній акселерометр для реєстрації коливань в будь-який час доби. Якщо отримані дані відповідають коливального профілем землетрусу, то додаток передасть їх разом з GPS-координатами смартфона [16].

Вбудований в смартфон акселерометр не такий чутливий до коливань ґрунту, як сучасні сейсмічні прилади, однак він зможе «відчути» землетрус магнітудою понад 5 балів. Вчені планують створити систему оповіщення на базі смартфонів, коли достатня кількість людей стане користуватися додатком. Вони виявили, що для виявлення землетрусів через кілька секунд після поштовхів знадобиться кілька тисяч смартфонів.

На рисунку 2.1 показано приклад першого підключення смартфонів. У наш час вже вдосконалили метод і тепер вони можуть працювати на відстані без дротового з'єднання.



Рисунок 2.1 - Приклад підключення смартфонів для визначення землетрусу

У проекту дві серйозних проблеми в практичній реалізації: по-перше, постійно включене GPS-позиціонування швидко розряджає батарею смартфона. По-друге, найбільш поширені платформи Android і iOS проводять первинну обробку вихідних даних з датчиків, а не передають безпосередньо в додаток.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ

За допомогою смартфона можливе дослідження деяких фізичних величин, але використання смартфона для експерименту буде ефективним лише за умов використання мобільного додатку. Смартфон має досить великі можливості і дозволяє проводити фізичні експерименти на лабораторних роботах і є досить перспективним саме в системі незначного фізичного експерименту; перспективним є використання мобільних додатків, що перетворюють значення сенсорів у цифрові відображення.

Для більш масштабних дослідів потрібно використовувати лабораторію та спеціальну апаратуру тому, що смартфон з нею не впорається.

Ми використовували смартфон для вимірювання товщини тонких металевих плівок. При проходженні лазерного випромінювання через напівпрозоре середовище, внаслідок розсіювання, промінь втрачає свою інтенсивність. Це явище використовують при вимірюванні коефіцієнта прозорості речовини. У тонких металевих плівках коефіцієнт прозорості пропорційний до товщини плівок. Цю залежність використовують для вимірювання товщини тонких плівок.

Методика вимірювання полягає в наступному:

1. Тонку плівку наносять на прозору підкладку. В більшості випадків – на пластини лабораторного скла.
2. Товщину одержаних зразків вимірюють прямим методом (наприклад інтерферометром).
3. Наступним кроком є вимірювання освітленості люксометром лазерного випромінювання, що пройшло через той самий зразок, що і в попередньому пункті.
4. В результаті, одержують пряму відповідність між товщиною плівки і освітленістю.

5. Провівши відповідні операції (пункти 1 – 4) для зразків одного матеріалу різної товщини (мінімум 5 штук), одержаних одним і тим самим методом і освітлених одним лазером, будують градувальні залежності $E(d)$.

Такий метод вимірювання товщини відомий достатньо давно і широко використовувався в 70х – 90х роках минулого століття. Але, оскільки метод має ряд недоліків (висока похибка вимірювання (5 – 10%), необхідність градування для кожного метала у відповідності до метода одержання плівок, наявність стабільних лазерів та точних люксометрів) та доступність сучасних частотомірів (використовують для точного вимірювання товщини методом кварцового резонатора), то використання лазерів для вимірювання товщини значно зменшилося.

До сенсорної системи смартфона входить датчик освітленості, за допомогою якого можна визначити з високою точністю освітленість лазерним променем. Доступність кишенькових лазерів (лазерні указки) та широке розповсюдження смартфонів дозволяє проводити вимірювання товщини тонких плівок студентами в лабораторних практикумах.

Дослідження проводили за наступною методикою. Спочатку нам потрібно взяти лабораторне скло та напилити на нього плівку різної товщини, коли ми це зробимо, ми переходимо до кімнати зі стандартним освітленням і вимірюємо рівень освітленості у кімнаті, без ліхтарика та скла, тобто початкове значення.

Після того як його виміряли, стандартне освітлення ми світимо ліхтариком у сенсор без скла для того щоб розуміти скільки lx видає ліхтарик, після цього по черзі прикладаємо кожний зі зразків і світимо ліхтариком вже через лабораторне скло з напиленням, отримані результати записуємо до таблиці і будуємо графік залежності освітленості від товщини плівок, виміряної інтерферометром. Знаряддя досліду показані на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Лазерна указка і плівки міді на скляних підкладках

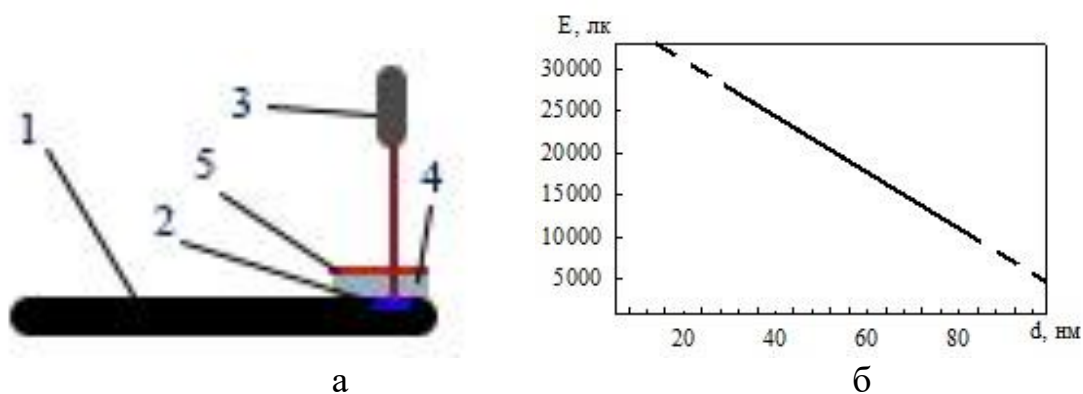


Рисунок 3.2 – Схема вимірювання товщини плівки (а) та розмірна залежність освітленості для плівок міді (б): 1 – смартфон, 2 – сенсор освітленості, 3 – лазерна указка (довжина хвилі лазерного випромінювання $\lambda=630$ нм), 4 – скляна підкладка, 5 – тонка плівка.

Маючи лазерну указку та градувальні криві на смартфоні можна просто і швидко виміряти товщину тонкої плівки.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що сучасні смартфони містять систему чутливих сенсорів, мають можливість проводити одночасний моніторинг та обробку даних цієї системи. Розглянуто принцип роботи, характеристики та призначення датчиків наближення, освітленості, звуку, положення, орієнтації, гіроскопа та ін. на прикладі смартфона Xiaomi Redmi Note7.
2. Наведено приклади програмного забезпечення для роботи з сенсорною системою смартфона. Показано, що такі програми мають різне спеціалізоване призначення. Наприклад програмна оболонка Miui 11 призначена для моніторингу та збору даних з всіх присутніх в смартфоні датчиків, та виконання певних команд на основі цих даних, без втручання користувача. Програма CPU-Z збирає дані з всієї електронної системи смартфона і має можливість по запиту показати користувачу дані з сенсорів. А мобільний доданок Датчик Кінетика призначений саме для одержання даних з потрібних користувачу сенсорів.
3. Розглянуто методику використання сенсорної системи смартфона для машинного навчання. У цьому процесі дані, зібрані з акселерометра та гіроскопа, спочатку попередньо обробляються фільтрами шумів, а потім відбираються з вікном фіксованого розміру 2,5 секунди для вилучення особливостей.
4. На основі наведених в літературі даних встановлено, що сенсори телефону можуть використовуватися тільки для примітивних лабораторних досліджень, а вже для більш якісних і точних дослідів потрібне лабораторне обладнання.
5. Освоєно методику вимірювання товщини тонких плівок з використанням сенсора освітленості смартфона. Побудовано градувальну розмірну залежність освітленості для плівок міді в діапазоні товщин від 20 до 100 нм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабич А. Використання технології BYOD у процесі навчання в основній школі // *Ukrainian Journal of Educational Studies and Information Technology*. – 2017. – Т.5, № 2. – С. 1 – 4.
2. Колесникова О.А., Мисліцька Н.А., Семенюк Д.С. Використання технології BYOD для формування експериментальних знань та умінь учнів з фізики // *Фізико-математична освіта*. – 2019. – Випуск 2(20). – С. 48 – 53.
3. Лаврова А.В., Заболотний В.Ф. Підхід до організації і проведення шкільного навчального фізичного експерименту // *Інформаційні технології і засоби навчання*. - 2015. - Т. 50, № 6. - С. 57-70.
4. Unofre Pili, Renante Violanda. Measuring average angular velocity with a smartphone magnetic field sensor // *The Physics Teacher*. – 2018. – V. 56, № 2. – P. 114-116.
5. Xingcai Qin, Tao Wu, Ying Zhu, Xiaonan Shan, Chenbin Liu, Nongjian Tao. A paper based milli-cantilever sensor for detecting hydrocarbon gases via smartphone camera // *Anal. Chem.* – 2020. – V.92, №12. – P. 8480-8486.
6. Tingting Pan, Wen Cao, Ming Wang. TiO₂ thin film temperature sensor monitored by smartphone // *Optical fiber technology*. – 2018. – V.45. – P. 359-362.
7. Xuwei Wang, Mollie Mahoney, Mark E. Meyerhoff. Inkjet-printed paper-based colorimetric polyion sensor using a smartphone as a detector // *Anal. Chem.* – 2017. – V. 89, № 22. – P. 12334-12341.
8. Unofre Pili. A dynamic-based measurement of a spring constant with a smartphone light sensor // *Physics Education*. – 2018. – V. 53, № 3. – P. 033002.
9. Ambient Light Sensor and Proximity Sensor with Built-in IR LED. Preliminary Datasheet. – Sensortek Technology Corp. - 2018. – 34 p.
10. BMi120 Preliminary data sheet. – BOSH Sensortec. – 2015. – 108 p.
11. <https://gtavrl.ru/uk/smartfony-so-vsemi-datchikami-za-hto-otvechaet-na-telephone-datchik-rasstoyaniya/>

12. <https://mobcompany.info/interesting/kak-rabotaet-datchik-priblizheniya-v-smartfone.html>
13. <http://www.miui.ua/pro-miui/>
14. <https://maccase.ru/uk/ios/datchiki-i-sensory-sovremennyh-mobilnyh-ustroystv-kakie.html>
15. <https://nplus1.ru/news/2016/02/13/seismic-smartphones>
16. https://www.gazeta.ru/science/2015/05/07_a_6672349.shtml?refresh
17. Xiao-Liang Guo, Yan Chen, Hong-Lan Jiang, Xian-Bo Qiu, Du-Li Yu. Smartphon-Based Microfluidic Colorimetric Sensor for Gaseous Formaldehyde Determination with High Sensitivity and Selectivity // Sensors. – 2018. - №18. – P. 3141 – 3152.
18. Qingzhong Liu, Zhaoxian Zhou, Serbagya Ranta Shakya, Prathyusha Uduthalapally, Mengyu Qiao, Andrew H. Sung. Smartphone Sensor-Based Activity Recognition by Using Machine Learning and Deep Learning Algorithms // International Journal of Machine Learning and Computing. – 2018. – V.8, N.2. – P. 121 – 126.
19. Marco Cesar Prado Soares, Thiago Destri Cabral, Pedro Machado Lazari, Matheus dos Santos Rodrigues, Gildo Santos Rodrigues and Eric Fujiwara. Smarthphone-Based Optical Fiber Sensor for the Assessment of a Fed-Batch Bioreactor // Eng. Proc. – 2020. – N. 2. – P. 26 – 33.
20. G. Hendeby, F. Gustafsson, N. Wahlstrom, S. Gunnarsson. Platform for Teaching Sensor Fusion Using a Smartphone // International Journal of Engineering Education. – 2017. – V.33, N.2. – P. 781 – 789.
21. Aleksandr A. Markvart, L.B. Liokumovich, I.O. Medvedev, N.A. Ushakov. Smartphone-Based Interrogation of a Chirped FBG Strain Sensor Inscribed in a Multimode Fiber // Journal of lightwave technology. – 2021. – V.39, N.1. – P. 282 – 289.