

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

Лейзерович Роман Олегович

УДК 004.89

**ІоТ-комплекс моніторингу та аналізу стану автотранспортних магістралей на
основі нейронних мереж**

122 – Комп'ютерні науки

Автореферат
магістерської наукової роботи на здобуття освітньої кваліфікації
«Магістр комп'ютерних наук»

Миколаїв – 2020

Магістерська наукова робота є рукопис.

Робота виконана в Чорноморському національному університеті імені Петра Могили Міністерства освіти і науки України на кафедрі інтелектуальних інформаційних систем

Науковий керівник: д.т.н., професор, завідувач кафедри інтелектуальних інформаційних систем
Кондратенко Юрій Пантелійович

Рецензент: к.т.н., доцент кафедри інженерії програмного забезпечення
Давиденко Євген Олександрович

Захист відбудеться «24» лютого 2020 р. о 9³⁰ год. на засіданні екзаменаційної комісії (ауд. 2-403) у Чорноморському національному університеті імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68-ми Десантників, 10.

З магістерською науковою роботою можна ознайомитися в бібліотеці Чорноморського національного університету імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68-ми Десантників, 10.

Автореферат представлений «___» лютого 2020 р.

Секретар
екзаменаційної комісії,
к.пед.н., доцент

Н. М. Болубаш

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність дослідження визначається потребою у своєчасному цілісному та неупередженому моніторингу стану дорожнього покриття автотранспортних магістралей, а також, як результат, аналізі, оцінці та коригуванні виконання робіт службами, що контролюють стан дорожнього полотна.

Метою магістерської наукової роботи є створення програмно-апаратного IoT-комплексу для розпізнавання стану дорожнього покриття для моніторингу та аналізу стану автотранспортних магістралей на основі нейронних мереж.

Об'єктом дослідження є аналіз стану автотранспортних магістралей.

Предметом дослідження є моніторинг та аналіз стану дорожнього покриття у реальному часі на основі нейронних мереж та надання даних для оцінки виконання дорожніх робіт.

Практичне значення даної магістерської наукової роботи полягає у можливості застосування сучасних мобільних пристроїв для моніторингу якості дорожнього покриття.

Результати даної магістерської наукової роботи було надруковано у тезах XXII Всеукраїнської науково-методичної конференції «Могилянські читання – 2019» у секції Комп'ютерні науки та на конференції молодих вчених у ЧНУ ім. П.Могили.

Магістерська наукова робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, додатків. Загальний обсяг роботи складає 102 сторінки, 27 рисунків, 4 таблиць та 48 посилань на літературні джерела.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі магістерської наукової роботи обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено предмет та об'єкт дослідження.

У першому розділі наведено огляд предметної області та теоретичних засад поняття моніторингу та аналізу стану дорожнього покриття. Аналіз існуючих методів і підходів показав, що перспективним і бюджетним напрямом у вирішенні задачі моніторингу та класифікації відрізків дорожнього покриття є використання вбудованих у смартфони сенсорів. З урахуванням проведеного аналізу сформовано постановку задачі.

У другому розділі здійснено опис процес збору та попередньої обробки даних для аналізу стану дорожнього покриття. Описано способи розміщення смартфона у автомобілі для мінімізації «зашумлення» даних. Обґрунтована необхідність у фільтрації даних, додатковому співставленні даних геопозиції та збурень акселерометру. Було виокремлені та відібрані ознаки для вхідного шару майбутньої нейронної мережі.

Інтернет речей (з англ. –«*Internet of Things*», *IoT*) включає в себе відразу кілька явищ та компонент. Це пристрої, що об'єднались у мережу і взаємодіють між собою, і спосіб підключення - *M2M* - без участі людини, і *big data*, яку генерують пристрої. Дані, які можна збирати, аналізуються і надалі використовуються для підвищення комфорту або прийняття бізнес-рішень.

Дані часових рядів, які використовуються в цій роботі, збираються за допомогою програми, встановленої на смартфоні з ОС Android. Цей телефон має датчики руху, такі як акселерометр та гіроскоп, а також датчик GPS. Усі дані зібрані на авто з типом кузова «універсал» на різних дорожніх покриттях у м. Миколаїв, Україна. Під час збору даних телефон фіксується вертикально всередині автомобіля за допомогою телефонного тримача, а швидкість руху становить близько 40 км/год для міських доріг, 30 км/год для позашляхових і 80 км/год для автомобільних доріг. Частота відбору проб датчика руху становить близько 10Гц.

Після збору даних застосунок відсилає пачку даних до хмарного сховища. У файл записується така інформація:

- мітка часу в мілісекундах, починаючи з 01.01.1970 року, 00:00:00,0 UTC;
- вихідні дані акселерометра для X, Y, Z відповідно;
- перетворені дані акселерометра для X, Y, Z відповідно: необроблені дані акселерометра перетворюються відносно земної системи координат;
- значення гіроскопу;
- координати GPS для довготи та широти, що записуються кожну 1 секунду для розробки;
- мітка типу дорожнього покриття та аномалій: мітки встановлюються перед записом та записуються разом із записаною інформацією.

Щосекунди отримується велика кількість точок даних локацій для даних акселерометра, але в реалізації обмежимо кількість десятками точками. Координати GPS записуються спочатку, а 11-а точка даних також є початковою точкою для наступної секунди тощо. Наприклад, один графік зібраних даних датчика показаний на рисунку 1.1. Нарисунку вібрація розбита на 3 графіки, які вказують на лінійне прискорення від 3 осей акселерометру.

Одна з проблем полягає в тому, що розміщення акселерометрів всередині транспортного засобу може вплинути на якість сигналу. Щоб вирішити це завдання, смартфон було розміщено в трьох місцях всередині кабіни одного автомобіля. На рисунку 1.2 показаний сигнал акселерометра для конкретної ділянки дороги з трьох різних кріпильних положень: прикріплений до панелі приладів, прикріплений до правої сторони лобового скла та прикріплений до вбудованого ПК, який не був міцно прикріплений до транспортного засобу.

Була застосована остання позиція через легкість встановлення смартфона. Сигнали з панелі приладів та лобового скла досить схожі, тоді як акселерометр, прикріплений до комп'ютера, дав непередбачувані результати. Отже, смартфон був міцно прикріплений до панелі приладів, що є відносно легким місцем для встановлення датчиків, не дає сенсорам перешкоджати пасажирам у салоні, а також жорстка фіксація не спричиняє утворення зашумлених даних.

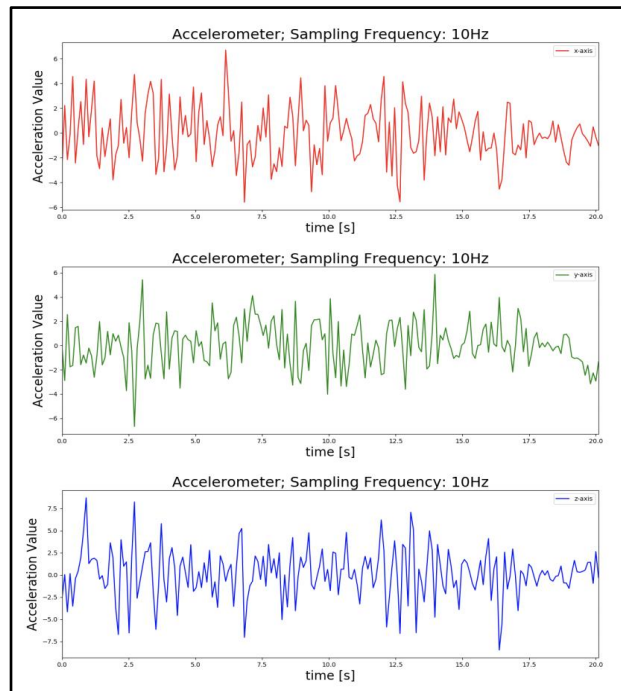


Рис. 1.1. Приклад даних, зібраних датчиком руху зі смартфона, де вісь Y перпендикулярна до землі, може визначати гладкість дорожнього покриття

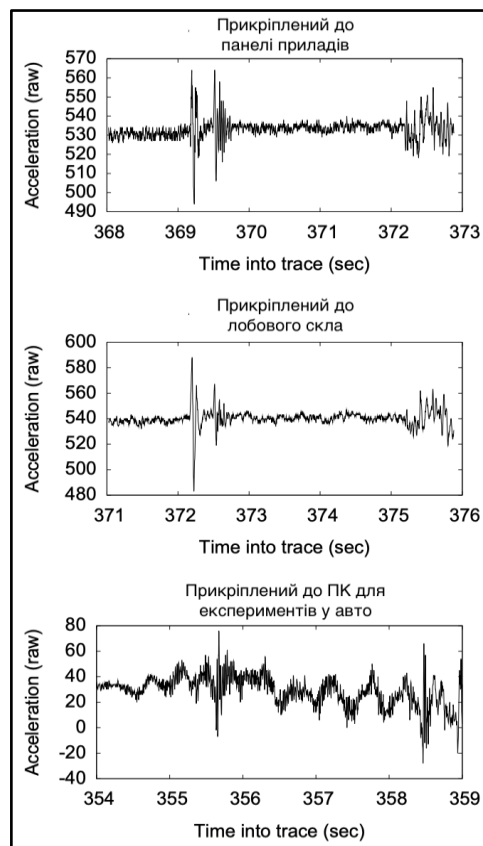


Рис. 1.2. Графіки зміни сигналу акселерометра (вісь Y) залежно від розміщення всередині автомобілю

Алгоритмові, який відповідає за співставлення даних розташування (включає в себе широту, довготу, а також час) і даних, які були отримані з акселерометра (вони включають в себе безпосередньо дані акселерометра і час), слід приділити велику увагу. Основна завдання цього алгоритму - поєднати два різних види даних в одну єдину структуру. Складність, з якою довелося зіткнутися, полягає в тому, що потік даних не є однорідним. Всі дані з датчиків приходять в довільні моменти часу, що значно ускладнює роботу по їх зведенню в єдину структуру. Для вирішення цього завдання був розроблений алгоритм із застосуванням інтерполяції. Вибір був зроблений на користь інтерполяції з кількох важливих причин:

1. Місцезнаходження з використанням датчиків супутникової навігації в мобільному пристрої само по собі вже має деяку похибку (від 5 метрів і більше, в залежності від погодних умов, кількості доступних супутників, відбивачів сигналу у вигляді високих будівель). Тому нехтування величиною, яка вже має в собі закладену деяку похибку, є кращим в порівнянні з точними даними акселерометра.

2. Якщо відстань між двома точками розташування невелика, то передбачити приблизні координати, розташовані між двома цими точками і знаходяться в певному часовому інтервалі, не складає труднощів. У той же час, інтерполяція значень показання акселерометра є практично нездійсненним завданням. Нехай є дві порції даних, отримані в моменти часу t_1 і t_2 відповідно. У момент часу t_1 показники акселерометра були $0,5 \text{ м/с}^2$, а в момент часу t_2 значення дорівнювало $4,5 \text{ м/с}^2$. На підставі цих даних неможливо передбачити значення, які були на інтервалі часу t_1-t_2 , можна припустити, що значення було $2,5 \text{ м/с}^2$, але воно могло бути рівним як $7,5 \text{ м/с}^2$, так і будь-якому іншому.

Так як система, що розробляється, орієнтована на клієнт-серверну взаємодію, вона має на увазі наявність відразу кількох активних клієнтів. В такому випадку є велика частка ймовірності того, що два клієнти проїдуть за такими маршрутами, які будуть частково мати спільні ділянки на маршруті. Більш того, така ситуація можлива і з одним єдиним клієнтом. Ситуації, які подібні до вищеописаних, необхідно обробляти особливим чином і приділити їм особливу увагу. Існує два шляхи вирішення цього завдання.

Перший полягає в повному ігноруванні вимірювань всіх інших треків, які проходять по одному і тому ж маршруту. Плюси цього підходу:

- простий, легкий у реалізації: беруться дані одного довільного треку і відображаються на потрібній ділянці.

Але у такого підходу є і суттєві мінуси:

- чим більше вибірка, тим більш високого рівня точності класифікації вдається досягти.

Таким чином, вибираючи і з огляду на свідчення тільки одного трека з декількох доступних, ми нехтуємо цінною інформацією, що міститься в інших записаних треках.

Другий можливий підхід полягає в тому, щоб враховувати і зіставляти всі треки і дані, які є в розпорядженні. Переваги і недоліки цього методу повністю протилежні першому.

Недоліки:

- при використанні цього методу в разі зростає складність реалізації, з'являється необхідність у використанні важких алгоритмів, зростають вимоги до обчислювальних потужностей.

Переваги:

- в результаті застосування другого методу, враховуються абсолютно всі наявні дані. Підсумкова інформація містить у собі об'єднання кожного з треків. Ми використовуємо більше даних, а значить разом зі зростанням даних збільшується і точність інформації на виході.

Після оцінки сильних і слабких сторін кожного з можливих методів, було прийнято рішення приступити до реалізації саме другого методу, оскільки в пріоритеті знаходиться точність даних, що відображаються, а не простота рішення.

Як видно з рисунку 1.3, обидва треки описують однакові маршрути, але точки, отримані системою навігації, знаходяться в різних місцях. Для вирішення цієї проблеми спочатку було прийнято рішення використовувати метод растеризації для зіставлення треків. Його суть полягає в деякому «огрубінні» координат треків. Цей

метод схожий на відрисовку прямих ліній, що мають точні координати, на піксельному екрані.

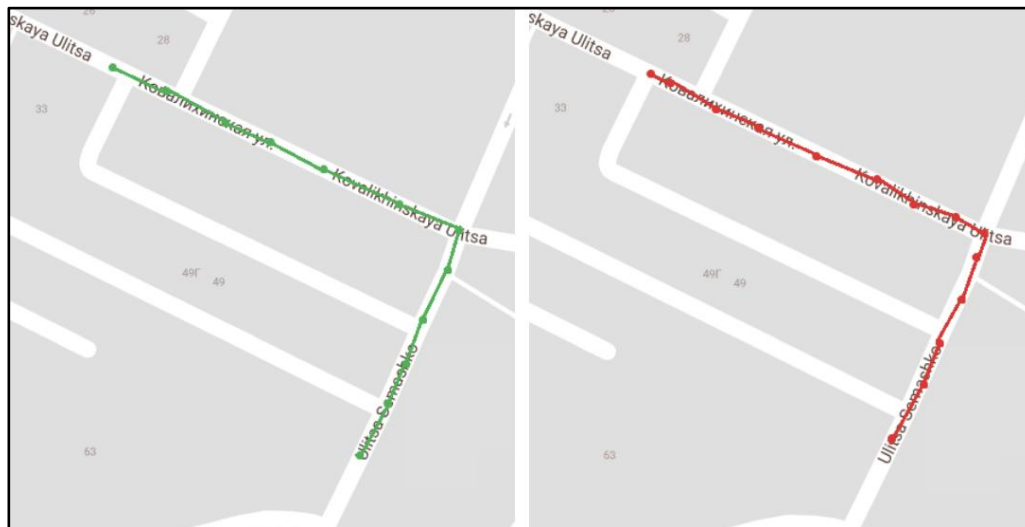


Рис. 1.3. Відображення неспівпадіння точок координат на одному маршруті

Таким чином, знаючи всі ключові вузли-точки дороги, ми можемо точно визначити, чи належить даний трек цій дорозі або якійсь її ділянці. Однак на цьому етапі з'являється ще одна перепона, яка знову ж таки пов'язана з точністю отримання координат місцеположення. В процесі руху транспортного засобу і запису треку, одержані координати місця розташування зовсім необов'язково будуть розташовуватися саме на відрізку, що з'єднує дві вузлові точки дороги на карті або потрапляти в них. Для вирішення цієї проблеми використовувалося загальнодоступний API сервісу «Open Source Routing Machine»(OSRM), в основі якого лежить взаємодія з OSM - некомерційним веб-картографічним проектом по створенню вільної та безкоштовної географічної карти світу. Одна з можливостей сервісу OSRM - це прив'язка отриманих координат до карти дорожньої мережі найбільш точним способом. Результат запиту до API цього сервісу представлений на рисунку 1.4.

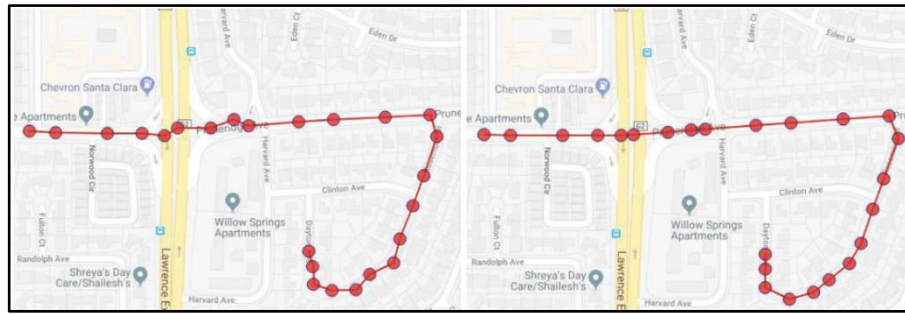


Рис. 1.4. Результат обробки точок треку та їх прив'язка до дороги

На рисунку 1.4 в лівій частині представлений набір координат, який був отриманий з клієнтського пристрою. Як видно, точки не завжди належать дорозі, деякі розташовані в стороні від неї. На правій частині зображенні в результаті перетворень всі крапки слідують рівно по дорозі. Крім того, сервер також повертає і список з колінами (legs) дороги, які характеризують відрізок шляху, по якому з'єднуються два сусідні точки. Даний список можна використовувати для того, щоб визначити, між якими вузлами-точками дороги розташована координата, що коригується.

Показання даних акселерометра зазвичай містять невідповідні дані - шуми. Тому слід застосувати етап попередньої обробки, щоб зменшити рівень шуму та покращити розпізнавання якості дороги. Через декілька факторів, таких як ривки або вібрації, повороти, гальмування, а також легкі зміни орієнтації датчика, до цих сигналів додається значна кількість шуму. Фільтр низьких частот може бути корисним для видалення сигналів високої частоти у вхідному сигналі, застосувавши відповідний поріг до зчитування вихідного сигналу фільтра.

Коли алгоритми машинного навчання виконуються, більш ефективним введенням є набір ознак, а не необроблені дані. Таким чином, необхідно витягнути ефективні особливості зі структури дорожнього руху. Щоб зменшити об'єм вхідних необроблених даних, отриманих від датчиків, вони спочатку сегментуються на кілька пакетів, а такі ознаки, як частота, витягуються з пакету зразків.

Після вибору функцій залишається багато зайвої інформації, і кожен вектор ознак має довжину більше 200 елементів, що є занадто багато. Деякі ознаки пов'язані між собою, такі як середні та медіанні значення. Таким чином, аналіз

основних компонент (*PCA* –«*Principal component analysis*») виконується після вибору ознак.

В третьому розділі запропоновано рішення завдання з класифікації часових рядів. Традиційно необхідно використовувати класифікатор для розпізнавання дорожніх покриттів на основі просіяних ознак. Для цього завдання існує безліч варіантів, таких як *SVM*, дерева рішень, *Random Forest* та *Naive Bayes*. Проте у цій роботі було вибрано використання нейронних мереж згорткового типу.

Штучні нейронні мережі (ШНМ) - це програмна імплементація нейронних структур нашого мозку. В залежності від електричних або хімічних сигналів нейрони змінюють тип сигналів, які в них передаються. Нейронна мережа у мозку людини - величезна система взаємопов'язаних нейронів, де сигнал, що переданий одним нейроном, може дійти до тисячі інших. Навчання відбувається через повторну активацію з'єднань нейронів. Через це збільшується ймовірність виведення потрібного результату при відповідних вхідних сигналах. Такий вид навчання використовує зворотний зв'язок.

Згорткова нейронна мережа (*CNN*) вимагає більш високої обчислювальної потужності, ніж звичайні методи. *CNN* широко використовується в областях візуальних зображень і має меншу складність та зв'язність порівняно з повнозв'язними мережами [29]. Яо та ін. [17] розробив уніфікований фреймворк згорткової нейронної мережі під назвою *DeepSense* для вирішення різних завдань мобільного «чуття» та обчислень. Для цього потрібні лише кілька кроків налаштування під конкретні завдання, і він може приймати дані із різних видів датчиків, такі як датчики руху, світла мікрофон, сигнал Wi-Fi та барометр. У цій роботі для розпізнавання дорожнього покриття створюється варіант *DeepSense*.

Як показано на рисунку 1.5, фреймворк *DeepSense* має в основному три компоненти, в них входять згорткові шари, рекурентні шари та вихідні шари. У згорткових шарах є дві підмережі, які називаються одиночна згорткова підмережа і об'єднуюча згорткова підмережа. Обидві підмережі мають тришарову структуру. Для кожного входу X від декількох датчиків існує 1 одиночна згорткова підмережа.

Вихід першої підмережі стане входом другої підмережі. Буде лише одна об'єднуюча згорткова підмережа для вихідних значень усіх підмереж усіх датчиків.

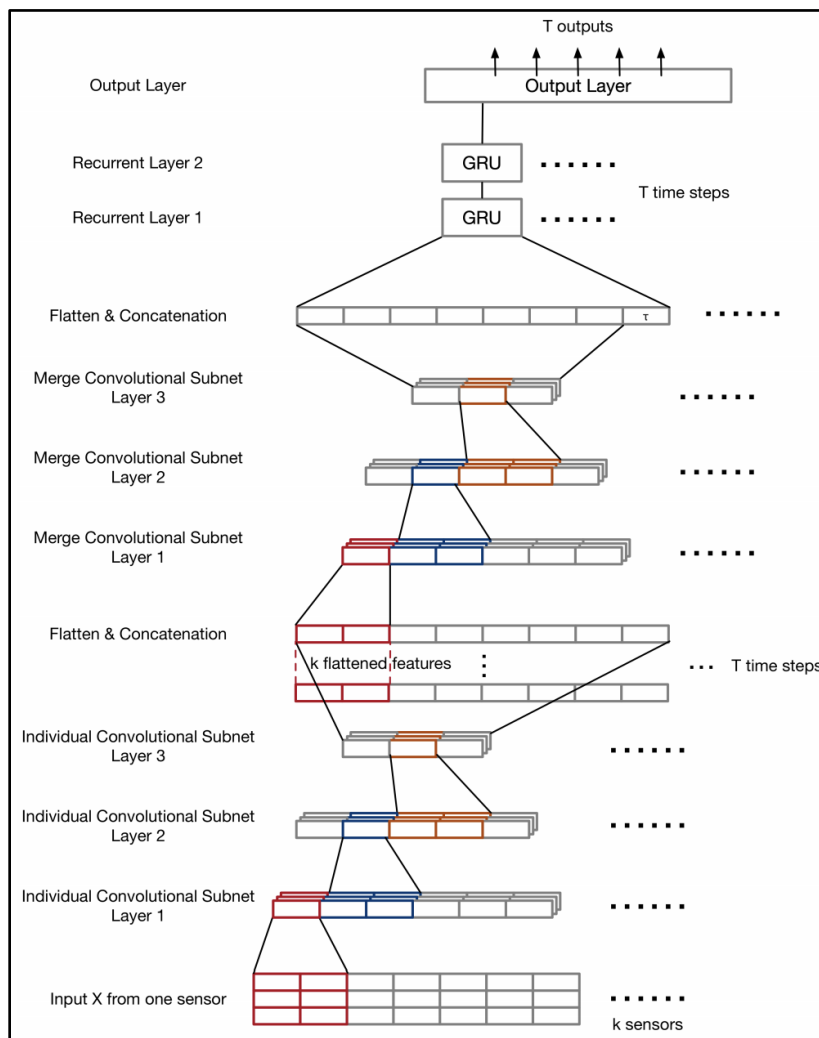


Рис. 1.5. Структура фреймворку *DeepSense*

Для порівняння результатів класифікації реалізовано декілька звичайних класифікаторів, такі як звичайна *CNN*, повнозв'язний 6-шаровий перцептрон, *SVM* та *RandomForest*.

Шляхом навчання згорткової нейронної мережі із застосуванням бібліотеки *DeepSense* після 10-кратної перехресної перевірки, було отримано результат прогнозування типу дорожнього покриття на основі даних датчика руху. Загальна точність у всіх трьох категоріях становить 84,81%, а стандартне відхилення становить +/- 4,14%, що означає, що запропонована методологія може працювати з точністю понад 80%. Продуктивність для кожної з 3-х категорій становить 94,36%, 73,14% та 86,92% відповідно. Це головним чином тому, що гладку дорожню

поверхню можна добре відрізнити порівняно з двома іншими типами доріг. Гладкий тип дороги має менше аномалій, які спричиняють менше стрибків авто, тому має невеликі значення датчика та невеликі відхилення. Такі типи доріг як «Задовільні» і «Незадовільні» набагато складніше відокремити, оскільки обидвоє містять багато аномалій, і в наявності лише дані тренувань від датчика руху, який забезпечує подібні схеми вібрації для обох типів доріг. Однак запропонована методологія все ще дає досить хороші результати для цих двох типів доріг зі стандартним відхиленням +/- 11,64% та +/- 9,82% для «Задовільних» та «Незадовільних» доріг. Методика точності класифікації, що використовується тут, базується на рівнянні:

$$Acc = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}, \text{ де}$$

TP - true positive,

TN - true negative,

FP - false positive,

FN - false negative.

З результатів роботи кожного класифікатора, зображені на рисунку 1.6, можна зрозуміти, що всі вони отримали найкращі результати, класифікуючи гладке дорожнє полотно. У порівнянні із основним, усі інші методи гірше справились із «задовільними» та «незадовільними» типами доріг. Хоча *SVM* мав ще кращий результат для «незадовільних» доріг з точністю 87,5%, однак точність на «задовільних» дорогах має при цьому найгірший результат.

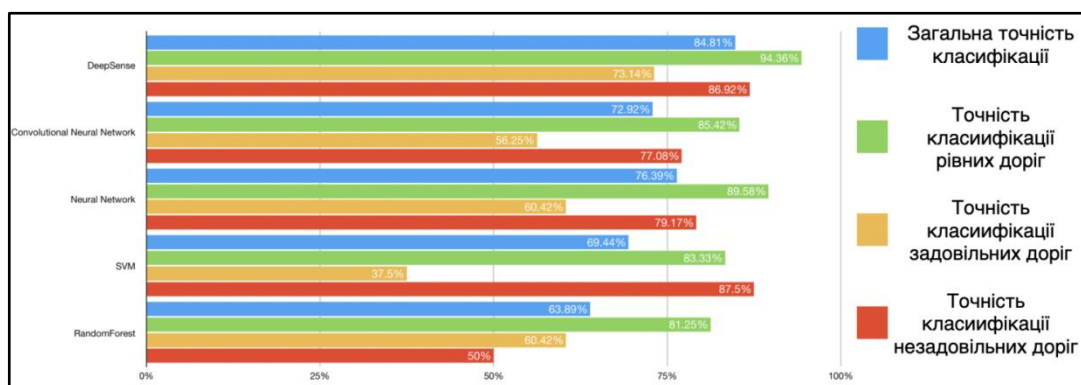


Рис. 1.6. Результати роботи класифікаторів за станом дорожніх полотен

У спеціальній частині магістерської наукової роботи з «Охорони праці та безпеки життєдіяльності» здійснено аналіз умов праці у офісі ФОП Фоменка І.В., що займається розробкою ПЗ для мобільних застосунків. Виконано перевірочний розрахунок природного освітлення та розраховано загальне рівномірне освітлення люмінесцентними лампами в розглянутому приміщенні. Розроблено інструктаж для дій працівників та керівництва компанії на випадок виникнення пожежі.

У методичній частині магістерської роботи розроблена практична робота на тему розпізнавання людських рухів використовуючи дані акселерометру та шляхом навчання нейронних мереж LSTM-типу на базі зібраних даних.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У галузі інтелектуальних транспортних систем, розпізнавання та моніторинг дорожнього покриття є важливою вимогою до автономних транспортних засобів, як не менш важливим і для організацій та відомств, що займаються ремонтом, реконструкцією та плануванням доріг. Рішення цього завдання забезпечує транспортним засобам добре розуміння дорожніх умов, що є вирішальним для питань безпеки. Запропонована методологія забезпечує спосіб розпізнавання типу якості дорожнього покриття за допомогою датчиків руху смартфона.

Під час дослідження суміжних робіт, було визначено, що до інших комплексів дані надходять від вібраційних датчиків, датчиків смартфонів, камер та лазерів. Ці джерела даних можуть бути застосовані разом для точного розпізнавання. Але знадобиться багато часу на дослідження даних, щоб зробити добре побудовану матрицю ознак для класифікації.

Фреймворк DeepSense використовується для вивчення інформації даних часових рядів. Було побудовано мережу та налаштовано 3 вихідних шари для розпізнавання категорії якості дорожнього покриття.

Результати запропонованої методології відповідають початковим вимогам та перевершують звичайні класифікатори. Для проведення експерименту не потрібна була складна установка на борту транспортного засобу. Було застосовано єдиний пристрій - смартфон з тримачем - для збору даних. Усі дані відправлялись у хмарне сховище для наступної обробки.

Успішно були виконані задачі, попередньо поставлені перед проектом, а саме:

- 1) огляд сучасних технологій та методик щодо моніторингу і аналізу якості дорожнього покриття, виявлення їх переваг та недоліків;
- 2) реалізації мобільного застосунку для вирішення поставленої задачі із застосуванням сучасних програмних бібліотек;
- 3) розробка поетапного алгоритму класифікації відрізків дорожнього покриття як композиції задач зі збору, попередньої та пост-обробки даних і навчання згорткових нейронних мереж;
- 4) оцінка якості дорожнього покриття, класифікація та візуалізація маркування ділянок доріг за якістю покриття;
- 5) тестування та аналіз результатів роботи розробленого програмно-апаратного комплексу.

У методичній частині магістерської роботи розроблена практична робота на тему розпізнавання людських рухів використовуючи дані акселерометру та шляхом навчання нейронних мереж LSTM-типу на базі зібраних даних.

У спеціальній частині магістерської роботи з «Охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях» здійснено аналіз умов праці у офісі ФОП Фоменка І.В., що займається розробкою ПЗ для мобільних застосунків. Виконано перевірочний розрахунок природного освітлення та розраховано загальне рівномірне освітлення люмінесцентними лампами в розглянутому приміщенні. Розроблено інструктаж для дій працівників та керівництва компанії на випадок виникнення пожежі.

АНОТАЦІЯ

до магістерської наукової роботи студента 601м групи

Лейзеровича Романа Олеговича

на тему: «IoT-комплекс моніторингу та аналізу стану автотранспортних магістралей на основі нейронних мереж»

В даній магістерській науковій роботі розглянуто завдання створення платформи для моніторингу та аналізу стану дорожнього полотна на основі даних, що надходять з сенсорів смартфонів, що передаються через розроблений мобільний застосунок, та попередньо обробляються для збереження цілісності інформації, що отримується.

У першому розділі магістерської роботи проводиться аналіз сучасного стану проблеми збору та агрегації даних з мобільних сенсорів, доцільність створення мобільного застосунку для реалізації цієї мети, оцінка обраних операційних систем, а також проаналізовані існуючі роботи із аналогічного напрямку діяльності. Було сформовано актуальність, завдання, мета, об'єкт та предмет дослідження.

У другому розділі описано проектування усього моніторингово-аналітичного IoT-комплексу, представлені візуальний прототип користувацького мобільного застосунку і веб-платформи для адміністрування даних; проведено аналіз нейронних мереж та підходів, що були використані для реалізації та взаємодії обидвох підсистем, а також представлено алгоритм процесу попередньої фільтрації деперсоналізованих даних із сенсорів мобільних телефонів користувачів.

Третій розділ присвячено опису етапів розробки та тестуванню інструментального засобу, представленню функціональних діаграм, а також описаний етап збору даних через застосунок на реальному авто по дорогам міста Миколаїв.

Четвертий розділ містить інформацію з охорони праці, у якому представлені рекомендації щодо покращення умов праці проєктанту та інструкції з поведінки під час пожежі на виробництві.

Робота містить 4 таблиці, 28 рисунків, 47 літературних джерела та 3 додатки.

Ключові слова: моніторинг стану дорожнього покриття, IoT, акселерометр, гіроскоп, штучні нейронні мережі.

ABSTRACT

to the master thesis by group 601m student

Roman Leizerovych

on the topic: “IoT-complex for motor-road surface monitoring and analysis with use of neural networks”

This master thesis deals with the task of creating a platform for monitoring and analyzing the condition of the roadway based on data coming from the sensors of smartphones transmitted through a specifically developed mobile application and pre-processed to preserve the integrity of the information received.

The first section of the master thesis analyzes the current state of the problem of collecting and aggregating data from mobile sensors, the feasibility of creating a mobile application for this purpose, evaluation of selected operating systems, and also the existing researches on the current topic have been analyzed. The relevance, tasks, purpose, object and subject of the research were formed.

The second section describes the design of the entire monitoring and analytical IoT-complex, presents a visual prototype of the custom mobile application and the web platform for data administration; the neural networks and the approaches used to implement and setup interaction between both subsystems are analyzed, as well as the algorithm of pre-filtering process of depersonalized data from the users' mobile phones sensors.

The third section is devoted to the description of the stages of development and testing of the tool, the presentation of functional diagrams, as well as the stage of data collection through the application on a real car on the roads of Mykolaiv.

The fourth chapter includes information on labor safety, which provides recommendations for improving the working conditions of the designer, and instructions for activities during a fire at work.

The thesis contains 4 tables, 28 images, 47 references and 3 appendices.

Keywords: *road surface state monitoring, IoT, accelerometer, gyroscope, artificial neural networks.*