

Міністерство освіти і науки України
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Кафедра математики та інформатики і методики навчання

ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

«Локалізація та відстеження активностей в приміщеннях за допомогою інерційних мобільних сенсорів»

Виконав:

студент 5 курсу, групи КНМ-21

Кравчук Н. М.

Керівник:

к.т.н., доц. Ровінський В. А.

Рецензент:

к.т.н., доц. Превисокова Н. В.

м. Івано-Франківськ – 2021 рік

Державний вищий навчальний заклад
«Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника»

Факультет математики й інформатики
Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавра
Спеціальність 122 Комп'ютерні науки

Затверджено на засіданні
кафедри _____
Протокол № _____ від _____
Завідувач кафедри
Петришин Л. Б. _____

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Кравчуку Назарію Михайловичу

1. Тема роботи: Локалізація та відстеження активностей в приміщеннях за допомогою інерційних мобільних сенсорів. Керівник роботи: к.т.н. доц. Ровінський В.А.
2. Перелік питань, які потрібно розробити: розробка програми для відстеження активностей в приміщеннях.
3. Дата видачі завдання: 23.09.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер і назва етапів дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
Обґрунтування актуальності, формулювання мети, завдання, предмету та об'єкту дослідження роботи	30.11.2020	Виконав
Опрацювання джерел з теми роботи	07.01.2021	Виконав
Поняття потреб в локалізації	23.01.2021	Виконав
Огляд видів та технологій	20.03.2021	Виконав
Знайомство та огляд iVeason	21.04.2021	Виконав
Дослідження роботи iVeason	10.06.2021	Виконав
Програмна реалізація	20.8.2021	Виконав
Виправлення зауважень попередніх звітів. Підготовка вступу і висновків	15.10.2021	Виконав
Оформлення роботи згідно вимог	16.11.2021	Виконав

Студент

Керівник проекту

	Кравчук Н.М.
(підпис)	(розшифровка підпису)
	Ровінський В.А.
(підпис)	(розшифровка підпису)

АНОТАЦІЯ

Систему глобального позиціонування (GPS) можна легко використовувати для локалізації на вулиці, але сигнали GPS погіршуються в приміщенні. Як розробити надійну та точну систему локалізації всередині приміщень є актуальним завданням. У даній дипломній роботі пропонується система локалізації та відстеження в приміщенні на основі інерційного датчика для смартфона з періодичними корекціями iBeacon. Досліджено деякі важливі питання підходу до обчислення на основі смартфона (PDR), тобто виявлення кроків, оцінка напрямку ходьби та оцінка початкової точки. Застосовується новітню технологію iBeacon, щоб час від часу калібрувати дрейф підходу PDR.

ABSTRACT

The Global Positioning System (GPS) can be easily used for localization on the street, but GPS signals are degraded indoors. How to develop a reliable and accurate system of localization indoors is an urgent task. This thesis proposes a system of localization and tracking in the room based on an inertial sensor for smartphones with periodic corrections iBeacon. Some important issues of the smartphone-based computing approach (PDR), ie step detection, walking direction estimation and starting point estimation, have been explored. The latest iBeacon technology is used to calibrate the drift of the PDR approach from time to time.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	5
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. Технології локалізації та відстеження: огляд потреб місії та обмеження	9
1.1. Ключові вимоги	11
1.2. Системи локалізації та відстеження для удосконалення оборонних систем	15
1.2.1. Локалізація та відстеження в містах	16
1.2.2. Навігація в небезпечних зонах	18
1.2.3. Навігація в тунелях або підземних бункерах	19
1.3. Локалізація та засоби відстеження в правоохоронних операціях	20
1.3.1. Локалізація та відстеження для рятувальних операцій в будівлях	21
1.3.2. Локалізація та відстеження в координації контролю натовпу	22
1.4. Технології локалізації та відстеження як засіб боротьби з пожежами у приміщенні	23
1.4.1. Навігація в житлових приміщеннях	24
1.4.2. Навігація в багатоповерхових житлових будинках	25
1.4.3. Навігація в комплексних будівлях	26
1.4.4. Навігація на суднах	27
1.4.5. Навігація в підземних спорудах	28
1.5. Технології локалізації для платформ масового ринку	29
1.5.1. Спостереження та навігація у виправних спорудах	30
1.5.2. Система локалізації та відстеження для охорони	31
1.5.3. Самонавігація з функцією сигналізації в надзвичайних ситуаціях	32
1.5.4. Персональні системи позиціонування для пацієнтів та дітей	33
Висновки	35
РОЗДІЛ 2. Відстеження в приміщенні: види та технології	35
2.1. Види вимірювань	36
2.1.1. Геометричні вимірювання	37
2.1.2. Вимірювання, пов'язані з позицією	40
2.1.3. Самовимірювання: інерціальні прилади	42
2.2. Технології для відстеження в приміщеннях	46
2.2.1. Бездротові технології ближнього радіусу дії	47
2.2.2. Мережі стільникового зв'язку	47
2.2.3. Технологія UWB	49
2.2.4. Технологія Near-Field	49
Висновки	50
РОЗДІЛ 3. Технологія iBeacon	52
3.1. Що таке iBeacon	54
3.2. Функціональний опис	55
3.3. Обмеження	58
Висновки	63

РОЗДІЛ 4. Локалізація в приміщенні та відстеження на основі інерційного датчика смартфона з корекціями iBeacon	65
4.1. Підхід та оцінка параметрів PDR, аналіз вимірювань iBeacon	65
4.1.2. Вимірювання iBeacon	72
4.1.2. Алгоритм злиття	74
4.1.3. Оцінка початкової позиції	76
4.2. Програмна реалізація	78
Висновки	99
ВИСНОВКИ	101
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	102

ВСТУП

Внутрішня локалізація та відстеження принесе користь різним програмам, таким як навігація всередині приміщень, послуги на основі місцезнаходження, рятувальні роботи тощо. Хоча GPS (глобальна система позиціонування) зазвичай використовується на вулиці, точність його локалізації погіршується в приміщенні. Через проблеми точності, надійності та специфічних вимог до існуючих методів локалізації та відстеження всередині приміщень, універсального рішення не знайдено. Таким чином, локалізація та відстеження в приміщенні все ще є активною темою дослідження. Одним з найпопулярніших методів локалізації в приміщенні є підхід WiFi. Однак це вимагає тривалого та трудомісткого процесу збору даних, що робить його непрактичним. Хоча підходи на основі краудсорсингу можуть подолати цей виснажливий процес, якість даних важко гарантувати, крім того, послуги локалізації та відстеження. Нещодавно Apple Inc. випустила нову технологію iBeacon. Вона заснована на Bluetooth Low Power (BLE), яка є набагато більш енергоефективною, ніж класичні Bluetooth і WiFi. Цю технологію можна використовувати в поєднанні з сучасними смартфонами для локалізації в приміщенні на основі потужності отриманого сигналу (RSS) сигналів Bluetooth. Різні датчики, вбудовані в сучасні смартфони, такі як акселерометр, гіроскоп, компас, барометри тощо, можуть забезпечити ефективні способи локалізації та відстеження. Дані твердження і визначають актуальність магістерської роботи.

Мета магістерської роботи: огляд сфер та їхніх потреб у навігації всередині приміщень, обмеження які можуть бути, аналіз всіх видів та технологій і в кінці реалізувати простий додаток який буде відстежувати дані активності.

Основні завдання:

- аналіз інформаційних джерел з поставленої проблеми;
- дослідження можливостей та обмежень навігації всередині приміщень;
- розгляд та аналіз видів та технологій;
- розгляд технології iBeacon;
- розробка простого додатку на платформі React Native;

Об'єкт дослідження – навігація всередині приміщень.

Предмет дослідження – навігація всередині приміщень за допомогою інерційних мобільних сенсорів iBeacon.

РОЗДІЛ 1. Технології локалізації та відстеження: огляд потреб місії та обмеження

Сучасні досягнення в області локалізації та технології відстеження можуть перетворитися на вкрай необхідні інструменти для порятунку життів під час аварійного реагування та рятувальних місій, а також для збереження життя під час військових операцій. Однак цивільні та військові користувачі стикаються з різними середовищами і, отже, мають різні вимоги до користувачів. Навіть у двох широких сферах цивільного та військового застосування різні типи персоналу та, дійсно, різні типи місій стикаються з різними потребами та обмеженнями. Наприклад, до пожежників, які займаються гасінням лісової пожежі, пред'являються інші вимоги, ніж до пожежників, які гасять пожежу у багатоповерхівці або пожежу у великому промисловому комплексі, наповненому небезпечними матеріалами. Військовослужбовці, які беруть участь у операціях по боротьбі з повстанцями, стикаються з вимогами, які відрізняються від тих, яким доручено рятувати заручників у закритому середовищі. Цей документ має на меті оглянути різні вимоги до технології локалізації та відстеження за типом місії, щоб користувачі могли легше визначити свої власні потреби в технології. Незважаючи на те, що вони в першу чергу спрямовані на опис вимог до військовослужбовців, офіцерів правоохоронних органів і пожежників, також охоплюються потреби та обмеження для кількох типів цивільних застосувань. Незважаючи на відмінності у вимогах, має сенс розробити технології, які будуть націлені на декілька з цих груп кінцевих користувачів.

Офіцери правоохоронних органів, пожежники та військовослужбовці були б добре обслуговані наявністю надійної системи позиціонування персоналу. Хоча інші цивільні користувачі також знайдуть таку систему

корисною, вимоги цих трьох груп будуть найсуворіші, з особливою увагою до точності позиціонування, надійності, доступності, а також ваги та обсягу використовуваної системи. Будь-яка тверезна оцінка поточної та виникаючої локалізації і Технології відстеження, призначені для використання в програмах безпеки життєдіяльності, були б доречними для початку та продовження огляду вимог цих трьох груп. Ця стаття має на меті закласти основу для подальшого детального вивчення кількох із цих технологій. Незважаючи на те, що розвиток глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS) є дуже багатообіцяючим, залишаються серйозні проблеми з отриманням даних про локалізацію від персоналу в густому міському середовищі. Ці середовища заважають супутниковим сигналам, фактично створюючи «міські каньйони» з поганим покриттям GNSS. Супутникові сигнали вразливі до перешкод, перешкод сигналу та середовищ багатопроменевого поширення, наприклад, у густих міських і внутрішніх умовах, а також у регіонах густого лісу. Крім того, сигнали GPS, зокрема, легко заглушаються. Хоча є способи інтегрувати результати інерційних та інших датчиків з даними GNSS, наразі немає доступного технічного рішення, яке забезпечує необхідну точність і доступність для успішної локалізації та відстеження людей під час операцій у приміщенні, в щільно забудованих районах, або в умовах електронного протидії (ECM). За цих умов буде потрібна мультисенсорна система з можливістю з'єднання датчиків.

Вважається, що система позиціонування в основному використовується в системі командування та управління (C2) для місії, яку слід керувати локально, в безпосередній близькості від операції. Це забезпечує ефективне командування та контроль над операцією, а також підзвітність персоналу. Крім того, це дозволить швидше витягти поранених солдатів або загиблих пожежників зсередини будівель.

Результати позиціонування спочатку знадобляться командирам (відділу, взводу та групі операції, а потім, як другорядна вимога, підрозділам, які беруть участь в операції. Іншими важливими потребами користувача є персональна функціональність сигналізації та засіб самонавігації. Військові та правоохоронні органи також потребують засобів для зменшення втрат від дружнього вогню та надійного та точного цілевказівки. Останнє також передбачає потребу в надійних.

Надійна комунікаційна система як для голосового, так і для цифрового потоку даних становить основу будь-якої системи локалізації персоналу. Голосовий зв'язок має бути зарезервований для керівництва операцією, а деталі позиціонування можуть передаватися у вигляді цифрових даних. Крім того, командно-контрольному компоненту оперативної групи часто полегшує свою роботу здатність швидко завантажувати важливу інформацію про ціль місцезнаходження, наприклад, плани будівництва, дані з детекторів тепла та диму, а також зображення з камер відеоспостереження у разі пожежогасіння, через мережу бездротового зв'язку. Будь-яка необхідна інформація може бути передана персоналу, залученому до операції.

1.1. Ключові вимоги

У той час як правоохоронці, пожежники та військовослужбовці мають різні вимоги до систем локалізації та відстеження, усі три групи мають певні ключові вимоги [1]:

1. Суворая точність розташування, в горизонтальній площині з похибкою не більше одного метра в будь-якому середовищі, щоб командир міг визначити конкретне приміщення в будівлі, яке займає особа.

2. Сувору точність розташування у вертикальній площині з похибкою не більше двох метрів, щоб можна було визначити конкретну поверхню будівлі, яку займає особа.

3. Постійна доступність для тих, кому потрібні дані про позиціонування.

4. Фізична міцність, завдяки чому система буде надійно працювати навіть у суворих умовах, включаючи екстремальні температури та вологість.

5. Зашифрований голосовий зв'язок і передача даних.

6. Моніторинг цілісності, з автоматичною оцінкою помилок локалізації (невизначеності) у поєднанні з виявленням та попередженням у разі електронної атаки.

7. Позиціонування даних, сумісних та інтегрованих з іншою інформацією, зокрема про стан особистого здоров'я (фізіологічний моніторинг).

8. Можливість побудови карти в реальному часі у вигляді одночасних підходів локалізації та картографування (SLAM) у невідомих будівлях, коли команда рухається крізь них; SLAM має бути автоматичним, без необхідності, щоб члени команди направляли камери чи інші датчики в різних напрямках.

9. Система не повинна залежати від громіздких антен; антена та кабелі повинні бути включені в уніформу особи.

10. Вага персонального обладнання локалізації та відстеження (включаючи процесор та інтерфейс візуалізації) бути менше 1 кг і не громіздким.

11. Система повинна бути енергоефективною, з акумулятором, який може працювати щонайменше 24 години, але бажано до тижня, залежно від типу місії.

12. Подання даних про позиціонування має бути інтуїтивно зрозумілим і зрозумілим, зокрема для персоналу, який фактично виконує операцію.

13. Модульна система була б найбільш корисною, оскільки навіть один і той самий користувач може стикатися з різними проблемами під час різних місій і іноді не матиме реальної потреби

14. Попередня установка системи локалізації не потрібна

15. Під час будь-якої збройної операції система візуалізації повинна відображати курс до власних військ і, зокрема, курс зброї. Також повинні бути представлені дані про відстань і напрямок до цілей і загроз.

16. Для досягнення високого проникнення на ринок ціна повної системи позиціонування має бути нижче 1000 євро. Отже, вартість кожного субдатчика обов'язково повинна бути низькою.

Операційні середовища, які зустрічаються, будуть дуже різноманітними. Можливо, найкращим прикладом цього є приклад пожежника з операціями, починаючи від гасіння пожежі в дерев'яному двоповерховому сімейному будинку до комерційних бетонних багатоповерхових будівель площею десятків тисяч квадратних метрів. Крім того, різні групи користувачів будуть мати різні суворі вимоги, а також різні компроміси, що стосуються, наприклад, вартості та точності. Це, у свою чергу, може бути мотивовано, якщо порівнювати з потребами операторів спеціальної зброї та тактики (SWAT), якщо міліціонерів

призначено до служби дорожнього руху, або реагувати на виклики щодо домашнього насильства.

Отже, бажана модульна система з різними компромісами між вартістю та продуктивністю. Однак вважають, що до пожежників, які займаються димом (або команд швидкого введення – RIT), військовослужбовців, які ведуть бойові дії в містах, або операторів команд SWAT пред'являються такі ж суворі вимоги.

Можливість схованості була б перевагою, але залишається менш важливою, оскільки можна очікувати, що під час операції також буде використовуватися голосове радіо. Вимогою для багатьох користувачів, які працюють у забудованих комерційних зонах, таких як великі універмаги та торгові центри, може бути сумісність із даними із систем, які встановлені або будуть встановлені для вимірювання того, що роздрібні продавці, які використовують такі системи з комерційних цілей, називають «потужністю». », тобто дані про кількість людей, які відвідують торговий комплекс і про те, як споживачі насправді пересуваються всередині нього. Наразі кількість відвідувачів в основному вимірюється за допомогою камер відеоспостереження, хоча тріангуляція GSM-сигналів від мобільних телефонів, які переносять клієнти, також буде працювати. Однак існують нові технології для цього, які можна зробити сумісними з іншими типами даних локалізації та відстеження, такими як, можливо, радіотомографічне зображення, яке буде покладатися на численні попередньо встановлені передавачі ZigBee, які транслюють радіохвилі, відбиті від об'єкта спостереження.

На додаток до суттєвих вимог користувача, які вже описані, будуть додаткові потреби та обмеження щодо локалізації та можливостей відстеження. Системні вимоги будуть відрізнятися залежно від

користувача та типу операції. Для виконання важливих операцій та операцій з порятунку життя деяким користувачам знадобляться критичні системи безпеки життя, в яких точність і доступність важливіші за вартість. До них входять військовослужбовці спецназу, поліцейські групи спеціального озброєння та тактики (SWAT), а також пожежники.

Інші користувачі, включаючи звичайних військових, офіцерів правоохоронних органів і приватних охоронців, знайдуть точність, доступність і вартість приблизно однаково важливими при вирішенні питання щодо локалізації та системи відстеження.

1.2. Системи локалізації та відстеження для удосконалення оборонних систем

Більшість країн визнали необхідність удосконалення солдатських систем і в даний час здійснюють програми модернізації солдатів. Кілька прикладів: FIST (Великобританія), Soldato Futuro (IT), IdZ (GE), FELIN (FR), Land Warrior і Future Force Warrior (США), MARKUS (SW) і Century Soldier System (Європейське агентство оборони) [2]. Багато з них зосереджені на С4І (командування, управління, комп'ютери, зв'язок та розвідка), летальність (зброя та приціли), мобільність (навігація, розмір і вага), живучість (шоломи, бронежилети, захисне спорядження NBC, уніформа) та стійкість (логістика, їжа/вода, електроенергія). Багато з цих систем вже використовують або планують використовувати GPS-приймачі в поєднанні з підходами, що рахують безслідно, для середовищ із забороною GPS. Усі ці програми включають ситуаційну обізнаність для солдатів.

1.2.1. Локалізація та відстеження в містах

Військові операції в містах, зокрема в контексті боротьби з повстанцями, створюють особливі проблеми. Локалізація та відстеження будуть ускладнені через забудоване середовище. Крім того, відрізнити мирних жителів і ворожих бійців буде важко, оскільки останні ховаються серед перших і використовують мирних жителів як прикриття або навіть як живий щит. Крім того, дистанції мають тенденцію бути короткими, а це також означає, що тактична ситуація може і буде змінюватися дуже швидко. Важко досягти хорошої ситуаційної обізнаності (SA) без технологічних засобів.

У міських операціях потрібно буде охороняти будівлі та шукати ворожі винищувачі, схованки зі зброєю або контрабанду. Ворожі снайпери можуть перешкоджати операціям. Планування будівель зазвичай невідоме до того, як в них увійдуть солдати. Підлоги та кімнати потрібно буде охороняти та обшукувати по черзі. В особливо небезпечних і складних ситуаціях солдатам може знадобитися пробити діри в існуючих стінах, щоб дістатися до недоступних місць.

Це означає, що ключове використання системи локалізації та відстеження полягатиме в тому, щоб дати можливість командирю, який відповідає за операцію, ефективно керувати, дозволяючи різним загонам і солдатам підтримувати один одного. Залишається вирішити, яку інформацію командирам загонів, взводів і рот надавати автоматично (докладну інформацію можна отримати за запитом). Крім того, інтерфейси візуалізації можуть відрізнитися, щоб краще підтримувати відповідні завдання. Ключовою вимогою є можливість дружнього вогню/відстеження синьої сили (відома як підзвітність про місцезнаходження перед службами швидкого реагування). Особливо важливо стежити за тим, щоб дві команди

не входили в одне приміщення або поверх одночасно, що легко може призвести до людських жертв внаслідок дружнього вогню. Ця потреба також стосується вогню підтримки на великі відстані. Потрібно буде відстежувати курс і позицію кожної окремої зброї. Було б також корисно, якщо б можна було оцінити власну позу солдата, наприклад, у який бік звернено його тіло або голова.

Якщо планування будівель відоме, це сприятиме швидкому та безпечному переміщенню військ через них. Однак плани будівель часто недоступні, і тоді вимогою буде можливість вимірювати відстані та географічне положення кута будівлі з відомого положення. Такі дані, якщо їх використовувати разом із системою локалізації та відстеження, допомогли б солдатам всередині комплексу визначити їхнє взаємне положення щодо точок входу та виходу та ідентифікованих позицій противника. Система повинна бути в змозі поступово для картування будівлі за допомогою SLAM на основі зібраних даних. Це також сприятиме швидкій медичній евакуації поранених бійців.

Якщо система локалізації та відстеження також дає змогу командирі зчитувати стан здоров'я (фізіологічний моніторинг) кожної особи, наприклад, у вигляді показань температури тіла, пульсу, артеріального тиску та індикатора неруху, він може адаптувати операція на фізичну працездатність воїнів (як група). Хоча психологічні фактори можуть бути настільки ж чи навіть більше важливими для боєготовності окремого солдата, система статусу може повідомити командира, і часто може бути достатньо простої перевірки голосу. Зокрема, тепловий стрес може викликати проблеми у бойовій обстановці, оскільки багато зон бойових дій розташовані в теплому кліматі, і використання бронежилетів та носіння важкого спорядження вплине на солдатів. Дані про стан здоров'я також можуть сприяти автоматичному тривожному сигналу у разі травм.

Хоча реальна цінність локалізації та відстеження в міській війні буде під час фактичних операцій, можливість зберігати дані та використовувати їх під час дебрифінгу може бути дуже корисною. Такі дані також можуть надати важливу розвідку про те, чи дійсно ворожі бійці були вбиті чи захоплені в полон. Збережені дані також будуть мати велике значення для оцінки ефективності під час вправ.

Іноді можуть виникати ситуації міської війни, коли можна попередньо встановити системи локалізації та відстеження. Приклади включають великі громадські будівлі, такі як парламенти або президентські резиденції в країні, якій загрожує повстанство, як-от Ірак та Афганістан. Це сприятиме підвищенню точності та доступності у разі ворожих рейдів або нападів смертників.

1.2.2. Навігація в небезпечних зонах

Іншим можливим використанням є забезпечення безпечнішої навігації в небезпечних зонах. Наприклад, якщо через мінне поле було виявлено безпечний прохід, засоби локалізації та стеження можуть дозволити солдатам безпечно пересуватися територією навіть у темряві та в тихих умовах, наприклад, під час підготовки до нападу або рейду. Однак у цій конкретній ситуації солдату необхідно бути готовим до бою в будь-який момент, тому він повинен бути спрямований вперед і на зброю, а не на екран. Відповідно, вимогою тут було б, щоб навігаційні команди подавались, наприклад, за допомогою тактильних ременів, коли вібрації вказують напрямом, у якому солдат повинен рухатися. Однак, використання тактильних ременів або інших неінтуїтивних типів інтерфейсів вимагає високого рівня підготовки в них, щоб інстинктивно реагувати на подразники (чого буде важко досягти, оскільки люди в умовах серйозного стресу, як правило, страждають від зниження сенсорної стимуляції) .

Більш інтуїтивно зрозумілі типи презентаційних інтерфейсів, такі як персональні цифрові помічники (PDA) тощо, вимагають взаємодії з користувачем, що не завжди може бути забезпечено в бойовій ситуації, погано працює при сонячному світлі та може розкривати положення користувача ворогу вночі.

Однак, на відміну від ситуацій міської війни, солдати в цих умовах зазвичай залишаються в середовищі в межах прямої видимості для кількох GNSS. Таким чином, технологічні проблеми, на перший погляд, менші, ніж в умовах міської війни, але під час цих сценаріїв GPS може бути заблокований. Інтерфейс презентації також стикається з різними проблемами. Незважаючи на це, більшість вимог пред'являються до міської війни може бути корисним і в цій ситуації, зокрема можливість відстеження blueforce у разі раптової перестрілки.

1.2.3. Навігація в тунелях або підземних бункерах

Військові сили можуть зіткнутися з ворожими військами, що заховалися в тунелях або підземних бункерах. Це створює проблеми, оскільки попередньо встановлені системи позиціонування точно не будуть на місці. Труднощі з пошуком і охороною великих печерних комплексів добре відомі з нещодавнього досвіду в Афганістані. Система локалізації з підзвітністю, картографуванням, самонавігацією, уникненням дружнього вогню та функціоналом тривоги збільшила б можливості збереження солдатів під час цих місій.

Існує ряд інших вимог, що стосуються C2, які мають ключове значення у військових операціях. Через характер ближнього бою тривимірні (3D) геопросторові дані повинні передаватися керівнику загону та солдатам, які безпосередньо беруть участь в операції. Саме їм найбільше потрібні дані про позиціонування, і швидкість є важливою, як і

ненав'язливий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс візуалізації. Дуже цікаво вивчити, яку інформацію слід передати окремим солдатам і як її можна візуалізувати.

Командирам вищого рівня, тобто командирам рот і батальйонів, зазвичай потрібні лише дані про розташування та статус загону, а не членів його команд. Однак існує вимога, щоб детальні тривимірні дані були доступні для представлення за запитом.

1.3. Локалізація та засоби відстеження в правоохоронних операціях

Локалізація та засоби відстеження можуть дати користувачеві переваги, необхідні для вирішення кризи із заручниками. Локалізація та відстеження також можуть допомогти в координації основних операцій, таких як контроль натовпу під час великих спортивних заходів, міських заворушень та після великих терористичних актів.

На додаток до звичайних вимог користувачів, які вже описані, існує ряд інших, які мають ключове значення в правоохоронних операціях. Такі операції, як правило, проводяться з місця проведення операцій. Таким чином, тривимірні дані про позиціонування повинні бути доступними як для командира місії, так і для тих, хто бере участь у місії. Крім того, операції в цивільному вимагатимуть прихованої локалізації та стеження, що не зашкодить офіцеру, який його використовує. Насправді, правоохоронні організації виконують велику кількість різних типів завдань, кожна з яких має різні вимоги, тому модульна система, яку можна адаптувати відповідно до місії, є додатковою вимогою.

1.3.1. Локалізація та відстеження для рятувальних операцій в будівлях

Корисність системи локалізації та відстеження зростає з розміром і складністю будівлі, в якій відбувається операція. У невеликій будівлі система може навіть не знадобитися. Однак навіть операція, яка спочатку обмежується лише однією невеликою будівлею, може, незважаючи на спроби навпаки, перерости в погоню за злочинцями і, можливо, одним або кількома їхніми заручниками. Якщо так, то система локалізації та відстеження цілком може стати вирішальним інструментом для порятунку заручників і затримання злочинців.

Особливі проблеми викликають операції з посадки на судно. Хоча плани суден часто доступні (можна отримати на етапі планування операції), багато суден є дуже великими, а також містять невеликі закриті зони, такі як каюти та складські приміщення. Крім того, перегородки перешкоджають ефективному використанню традиційного радіозв'язку і, таким чином, радіосистеми позиціонування під час перебування всередині корабля. На круїзних суднах кількість цивільного населення може бути дуже високою.

Засоби локалізації та стеження дозволять командирів місії ефективніше керувати операцією. Оскільки цим типом операції часто займатимуться спецназівці, нікого не здивує, що переваги локалізації та відстеження часто будуть дуже схожими на ті, які мають військові користувачі. Таке спорядження, наприклад, дозволить командирів місії та членам групи реєструвати місцезнаходження зловмисників, можливо, на основі звітів спостерігачів за межами будівлі. Це полегшить навігацію всередині будівлі, підтримає медичну евакуацію постраждалих і надасть тактичну можливість дозволити підкріпленню та медичним командам йти

тим самим шляхом, який уже використовувався («слитки равлика») і, таким чином, не був замінений.

Як і у військовій операції, збережені дані локалізації та відстеження можуть бути використані в післяопераційних дебрифінгах. Однак існує занепокоєння з приводу того, як таке використання даних може вплинути на подальший судовий процес.

1.3.2. Локалізація та відстеження в координації контролю натовпу

Локалізація та відстеження також можуть допомогти в координації контролю натовпу під час великих спортивних заходів, міських заворушень та після великих терористичних актів. Увімкнено ефективне командування та контроль персоналу, а також особиста сигналізація та підзвітність.

Система локалізації не покаже, чи залишаються в будівлі цивільні особи чи жертви, але її можна використовувати, щоб забезпечити обшук у кожній частині будівлі. Якщо система локалізації та відстеження може отримувати дані з будь-якої попередньо встановленої комерційної системи нагляду, це було б корисно як засіб відстеження переміщення цивільних осіб і співвіднесення того, що співробітники правоохоронних органів переміщуються туди, куди вони потрібні.

Під час заворушень виникла перешкода в поліцейському зв'язку, і система локалізації та відстеження повинна бути в змозі впоратися зі спробами навмисних перешкод.

1.4. Технології локалізації та відстеження як засіб боротьби з пожежами у приміщенні

Під час великих пожеж технологія локалізації та відстеження може бути ефективним засобом координації операцій з гасіння пожежі. Однак дуже бажаною є система підзвітності, яка давала б командирі інциденту інформацію про пожежників, які загубилися або почали вести себе нестабільно (наприклад, відійти від інших пожежників та/або пожежного рукава). Крім того, ситуація, коли пожежник загинув на місці пожежі, спричиняє численні жертви щороку лише в США. Потім відправляються бригади швидкого введення (RIT), щоб знайти та вилучити пожежника, і здатність швидко та рішуче направити їх до пожежника, який потребує, врятує життя.

У багатьох країнах сьогодні така тактика полягає в тому, що командир інциденту віддає накази та керує пожежниками по радіо. Інформацію про позиції всіх пожежників слід передати командирі події, але, можливо, не окремим пожежником. Проте можна передбачити кілька ситуацій, коли пожежники на місці події отримують вигоду від прямого доступу до інформації про місцезнаходження, наприклад, у випадках проблем із радіопокриттям. Вимірювання відстані між RIT-командою та зниклим пожежником також має збільшити швидкість рятування. Однак це делікатне завдання – вирішити, як інформація повинна бути відображена для пожежного під час надзвичайно стресових і фізично виснажливих ситуацій, які зазвичай трапляються.

На додаток до звичайних вимог користувачів, які вже описані, багато з яких будуть однаковими для користувачів військових і правоохоронних органів, слід підкреслити, що фізіологічний моніторинг з функцією автоматичної сигналізації, а також можливість створення карти в

реальному часі (SLAM). воля має найбільше значення для пожежників. Пошук кімнат, що виконується RIT, може бути дуже повільним через обмежену видимість. Поверхові плани збільшили б швидкість. Також використання тепловізійних камер допомагає прискорити пошук. Дані повинні бути доступні командирі інциденту, а також будь-якому підкріпленню або групам медичної евакуації, які входять у приміщення після початкової групи пожежників. також, під час великих пожежних операцій зазвичай відбувається підкріплення з інших пожежних підрозділів, і особа, призначена як командир інциденту, може змінюватися кілька разів під час інциденту. Таким чином, автоматична система усвідомлення ситуації є дуже цінною.

1.4.1. Навігація в житлових приміщеннях

Обговорення зі шведськими пожежниками показало, що під час звичайних пожеж у житлових приміщеннях зазвичай немає потреби в локалізації та спорядженні для відстеження. Натомість, пожежники в США стверджують, що пожежа в житлових приміщеннях є найпоширенішою в усіх пожежних підрозділах, і що цей тип пожежі щороку спричиняє багато жертв на території пожежі. Таким чином, існує серйозна невідповідність початкових вимог залежно від того, де буде розгорнута система. Конфліктні потреби, заявлені кінцевими користувачами для подібних сценаріїв, представляють інтерес для дещо прояснення. Хоча ми не маємо необхідних навичок в протипожежних операцій, щоб прямо викласти причини як факти, ми пропонуємо кілька мотивів, які можна було б додатково розглянути у співпраці з кінцевими користувачами з обох країн.

Швеція має суворі будівельні норми, і ми вважаємо, що стандарт житла вищий, що стосується ізоляції будівель, пожежної безпеки та електропроводки та обладнання. Таким чином, вважається, що ці житлові

пожежі більш інтенсивні в США, і вони трапляються частіше. Крім того, традиційно американські пожежники, ймовірно, частіше заходили в будівлі, які горять, для гасіння пожежі, а також для пошуку людей. Таким чином, усередині будинків частіше працюють пожежники, і це в поєднанні з можливо більш інтенсивними пожежами з можливим руйнуванням конструкції в результаті може пояснити більшу кількість загиблих у житлових пожежах у США. Щорічно в США в таких пожежах гине кілька пожежників. В порівнянні, один шведський пожежний загинув за останні п'ять років при подібних обставинах. Це обговорення має на меті дати мотивацію щодо розбіжностей у потребах, заявлених пожежниками для пожеж у житлових приміщеннях. У той час як американським пожежникам, можливо, доведеться зайти і, ризикуючи власним життям, знайти загублених товаришів у палаючих будівлях, шведські пожежники можуть вважати, що їхньої підготовки достатньо для поводження з типовими сценаріями пожежі з обмеженим поширенням вогню (наприклад, нещасні випадки з палінням).

Цілком імовірно, що відмінності в тактиці та сценаріях призведуть до різних вимог між кінцевими користувачами в різних країнах, а також між пожежними підрозділами (хоча й не настільки вираженими).

1.4.2. Навігація в багатоповерхових житлових будинках

У порівнянні з житловими пожежами, ускладнення можуть легко виникнути, коли необхідно евакуювати задимлений багатоповерховий житловий будинок. Система локалізації не покаже, чи залишаються жертви в будівлі, але її можна використовувати, щоб гарантувати, що кожна частину будівлі обшукали.

Пожежа у великому багатоквартирному будинку може швидко загостритися. Якщо раптово виникає ризик обвалення будівлі, необхідно

якомога швидше вивести всіх пожежників. Якщо будівля раптово і без попередження руйнується, система локалізації (якщо системи локалізації та комунікацій достатньо міцні) може служити засобом для їх визначення. Однак, якщо пожежники виживають, але виявляють, що не можуть вийти з будівлі так, як увійшли, то система локалізації та відстеження може допомогти їм орієнтуватися на вихід, тобто знайти безпечний шлях виходу.

1.4.3. Навігація в комплексних будівлях

Хоча для деяких пожежних підрозділів система локалізації та відстеження може вважатися лише допоміжним використанням у звичайних житлових пожежах, ситуація змінюється, коли пожежа виникла в складній будівлі, наприклад, торговому центрі, нічному клубі, офісній будівлі чи промислового об'єкті. Для подібних ситуацій часто характерні будівлі значних розмірів, велика кількість цивільних осіб у приміщеннях, а також незвичайні й часто несподівані планування будівель із багатьма довгими коридорами, великими відкритими просторами та численними кімнатами різного розміру. Шляхи входу та виходу до самого пожежі можуть бути довгими та складними, а вогонь може швидко переміщатися в зовсім інші й досі неуразені ділянки. Крім того, навіть частини комплексу, які не горять, можуть сильно постраждати від диму, який може вивести з ладу та вбити цивільних там, а також може викликати паніку, що само по собі призводить до того, що мирні жителі, що втікають, потрапляють у пастку (а в нещасних випадках навіть гинуть) або блокують доступ маршрути. Система локалізації та відстеження може допомогти скласти карту будівлі та знайти безпечні шляхи входу та виходу для пожежників, а також цивільних осіб, які перебувають у пастці.

Теоретично плани забудови повинні бути доступними. Однак немає гарантії, що такі плани вдасться знайти вчасно, щоб пожежники могли ними скористатися. Можливість SLAM була б додатковим захистом.

На об'єктах з небезпечними матеріалами, таких як атомні електростанції та хімічна промисловість, можна буде попередньо встановити системи позиціонування. Така система може служити для локалізації та відстеження пожежних та іншого персоналу, а також постачання небезпечних матеріалів. Це також може допомогти в управлінні дистанційно керованими роботами рятувальниками. В якості додаткової переваги така система позиціонування може також допомогти в охороні об'єктів. Однак будь-яка попередньо встановлена система позиціонування ризикує бути вимкненою в разі нещасних випадків, тому також знадобиться альтернативна мобільна система.

1.4.4. Навігація на судах

Серйозні пожежі на судах, зокрема круїзних лайнерах та судах, що перевозять небезпечні матеріали, становлять дуже серйозні ризики. У той час як невеликі пожежі на кораблях будуть гаситися екіпажами, великі пожежі можуть спричинити використання наземних пожежників для реагування на надзвичайні ситуації. Хоча плани судна зазвичай доступні і їх можна вивчити на шляху до палаючого корабля, пожежники не зможуть принести все стандартне обладнання, але часто їм доведеться покладатися на ресурси, які вже є на борту судна. Оскільки компонування корабля може бути складним, система локалізації та стеження, безумовно, допоможе пожежникам, які беруть участь у такій рятувальній операції. Система зв'язку, як і будь-яке радіобладнання для визначення дальності, будуть мати дуже різні характеристики поширення під час операцій на кораблях.

1.4.5. Навігація в підземних спорудах

Підземні споруди, такі як тунелі, у тому числі ті, що використовуються для залізниць та інших видів громадського транспорту, становлять серйозні проблеми для персоналу, що реагує на надзвичайні ситуації, оскільки шлях доступу у разі пожежі чи іншого лиха може бути дуже довгим, а в складних тунельних середовищах важкодоступним. навігація. Навколишнє середовище також створює проблеми для багатьох систем позиціонування та зв'язку на базі радіо. Попередньо встановлені системи позиціонування в поєднанні з сенсорними системами, що носяться на тілі здавалося б, найкращий вибір; Проте було б безглуздим припустити, що попередньо встановлені системи завжди будуть на місці або в роботі.

Рятувальні операції на комерційних підземних видобувних ділянках, таких як вугільні шахти, створюють дуже подібні проблеми і отримують користь від тих самих технологій. Ці середовища є одночасно жорсткими фізично, і можуть статися нещасні випадки, які також руйнують або пошкоджують попередньо встановлені системи [4]. Підземні шахти, як правило, складаються з дуже довгих і вузьких тунельних комплексів, іноді нестабільних, з важким обладнанням і персоналом у різних місцях. Ці сценарії зазвичай також включають кілька факторів, які покращують радіозв'язок і позиціонування важко, наприклад умови обмеженої прямої видимості, електромагнітні шуми, іонізоване повітря та потенційні газоподібні небезпеки.

У цих складних обставинах може знадобитися комбінація попередньо встановлених і мобільних датчиків, тим більше, що система локалізації та відстеження повинна функціонувати щонайменше один день. Така система також може бути використана для зменшення

дорожньо-транспортних пригод у великих шахтах, наприклад, видимість у шахтах з великої шахтної вантажівки досить обмежена.

1.5. Технології локалізації для платформ масового ринку

Окрім користувачів військових, правоохоронних органів та пожежників, системи локалізації та відстеження можна вигідно використовувати в багатьох інших сферах роботи. Ми в першу чергу зосереджуємось на обговоренні вимог до додатків безпеки та безпеки тут. Для цих груп, на відміну від перших, ймовірно, буде інший компроміс між точністю та вартістю, оскільки вимоги до більшості інших користувачів зазвичай менш суворі, особливо щодо точності.

Далі, поточний розвиток всередині послуги на основі розташування (LBS) є надзвичайно яскравим, як щодо досліджень і розробок технології локалізації для платформ масового ринку, таких як мобільні телефони високого класу, так і щодо розробки додатків, що використовують переваги існування систем позиціонування на цих платформах. Хоча ми в основному зосереджені на користувачах, яким через суворі вимоги буде потрібно розробка автономних систем локалізації та відстеження, ми також очікуємо, що деякі з додатків, які обговорюються в цій статті, можуть бути реалізовані, наприклад, за допомогою програми iPhone (або подібного обладнання). Цікаво стежити за цим розвитком і бачити, які можуть бути точність і доступність отримані за допомогою цих платформ. Прикладом успішної програми майбутнього, на наш погляд, є особиста програма тривоги на мобільному телефоні, яка передає позицію, а також голосові (і, можливо, зображення) сигнали в охоронну компанію або безпосередньо в поліцію. Подібні системи вже існують, з використанням GPS-приймачів і GSM-модулів, але безперебійної функціональності на відкритому повітрі і в приміщенні все ще бракує.

Крім того, у багатьох з обговорюваних програм є делікатні питання конфіденційності, які потребують ретельного розгляду. Дуже мало потенційних користувачів, які очікують використовувати (отримати користь) від системи, дуже рідко, наприклад, з огляду на функціональність тривоги, визнають, що інформація про місцезнаходження використовується для інших цілей (наприклад, керування роботою або огляд).

1.5.1. Спостереження та навігація у виправних спорудах

Співробітники виправних органів та інший персонал місць ув'язнення часто зазнають погроз і насильства з боку ув'язнених. Персональна функція тривоги про напад (по суті, бездротова кнопка лиха, яку несе на особі, яку можна вручну активувати під час загрози або неминучої атаки), яка після активації передасть позицію та тривожне повідомлення до командного центру буде додатковим захистом, як і передача даних про стан здоров'я. Оскільки більшість операцій відбувається в приміщенні, система локалізації та відстеження повинна бути достатньо надійною, щоб працювати в таких умовах. До певної міри можна було б використовувати попередньо встановлену систему позиціонування в поєднанні з плануванням будівлі, але мобільна резервна система була б вигідною для забезпечення роботи у важких умовах, наприклад, під час пожежі або бунту в тюрмі.

Для спостереження за ув'язненими також можна використовувати засоби локалізації та стеження. Це може підвищити безпеку, зменшити ризик втечі та, можливо, зменшити насильницькі злочини між ув'язненими. Після того, як злочин було скоєно на території, дані про позиціонування можуть бути використані для оцінки того, що сталося та хто був причетний. Природно, це призведе до вимоги, що пристрій

слідування може бути розміщено на ув'язнених, не маючи можливості зняти або підробити пристрій. Подібна система вже існує, у вигляді електронних кайданів. Однак ці системи часто не захищені від несанкціонованого доступу, а просто їх важко приховати.

1.5.2. Система локалізації та відстеження для охорони

Приватні охоронці часто працюють поодиноці. З цієї причини система локалізації та відстеження може служити простим засобом підвищення їх фізичної безпеки. Законодавство деяких країн, насамперед Європейського Союзу, можна інтерпретувати як таке, що приділяє більше уваги захисту працівників, що може переконати фірми інвестувати в додаткові заходи безпеки. Ключовою перевагою наявності системи локалізації та відстеження для охоронців буде постійний доступ до фізичного місцезнаходження охоронця і, якщо дозволяють витрати, також, можливо, до його стану здоров'я, щоб він міг отримати полегшення у разі нападу або стихійного лиха. Існує також можливість використання системи локалізації та відстеження для відстеження активів грошових депозитів, ювелірних виробів та транспортних засобів. Не тільки системи локалізації та відстеження, але й системи іммобілізації вже встановлені в багатьох розкішних автомобілях і вантажівках/причепках, щоб запобігти крадіжкам. Однак загроза навмисних інцидентів GPS-глушення є присутні не тільки у військових діях, повідомлялося про глушіння GPS-систем транспортних засобів [3].

Переваги систем локалізації та відстеження для охоронців ще більше підкреслюються, коли йдеться про захист чутливих об'єктів, таких як атомні електростанції, нафтопереробні заводи та термінали, а також хімічна промисловість. Використання таких систем не тільки підвищить здатність захищати об'єкти від атак, але й сприятиме евакуації персоналу у

разі серйозних надзвичайних ситуацій. Крім того, це дозволить персоналу та рятувальникам відстежувати наявність небезпечних матеріалів на території. В установках такого типу можна з великим ефектом використовувати попередньо встановлені системи позиціонування. Крім того, мають бути доступні макети будівель, які забезпечують ефективний засіб підвищення точності локалізації всередині приміщень при використанні методів розрахунку мертвих. В екстреному випадку, очікується, що основним передбачуваним використанням буде самонавігація, система підзвітності та сигналізації.

Соціальні працівники, державні службовці та багато інших, яким загрожує незадоволеній громадськість, а також злочинці, отримують користь від використання принаймні простої системи локалізації та відстеження, яка в разі небезпеки може бити тривогу для будь-якого місцевого законодавства. правоохоронна або охоронна функція. Вимоги до точності будуть нижчими, ніж для порівнянних систем швидкого реагування, а вага та об'єм персональної системи повинні бути знижені ще більше, щоб гарантувати, що вона не залишиться невикористаною в офісі. Повинна бути можливість інтегрувати цю функцію, наприклад, у КПК або мобільний телефон. Вартість також повинна бути низькою, щоб забезпечити сприйняття ринком. Попередньо встановлені системи підтримки та планування будівель можна використовувати для зниження витрат, але вони не завжди доступні (наприклад, під час візитів на дому). Функціонал сигналізації може стати основною програмою.

1.5.3. Самонавігація з функцією сигналізації в надзвичайних ситуаціях

Кризові зони, що вимагають міжнародної участі в операціях з реагування на надзвичайні ситуації (наприклад, через повені, цунамі або землетруси), часто розташовані у віддалених і важкодоступних місцях.

Крім того, злочинці, викрадачі та повстанці іноді становлять реальну загрозу для працівників допомоги. Таким чином, дані про фізичне місцезнаходження членів команди, бажано з даними про стан здоров'я, включаючи функціональність сигналізації у разі серйозної травми, повинні передаватися до оперативного штабу. Дані про локалізацію слід регулярно оновлювати. Необхідна швидкість оновлення до певної міри також залежить від можливостей рятувальної операції та очікуваного часу для неї. Оскільки місця, як правило, віддалені та не мають функціонуючої комунікаційної інфраструктури, супутниковий зв'язок часто буде єдиним практичним рішенням (ВЧ-радіостанції часто опускаються через міркування ваги). Однак пропускна здатність потоку даних не повинна бути великою. Точність у більшості випадків не повинна перевищувати приблизно 10 метрів (якщо тільки в умовах, які передбачають рух через мінні поля, до яких застосовуватимуться відповідні військові вимоги). Однак енергоефективність буде мати велике значення, оскільки батареї зазвичай вистачає щонайменше на тиждень. Основним передбачуваним використанням, по суті, буде самонавігація та система підзвітності з функцією сигналізації.

1.5.4. Персональні системи позиціонування для пацієнтів та дітей

Системи локалізації та відстеження також можуть використовуватися для моніторингу пацієнтів, які страждають на хворобу Альцгеймера, деменцію або пов'язані з ними розлади, якщо вони несподівано залишають свій будинок або місце лікування. Персональна система позиціонування допоможе відновити втрачених пацієнтів і, таким чином, зберегти життя, а також ресурси, обмежуючи область, яку потрібно обшукувати.

Така система відстеження повинна бути дешевою, невеликого розміру (відповідає наручному годиннику або мобільному телефону), не

вимагати взаємодії з користувачем і мало заряду акумулятора. Ключовою вимогою користувача буде доступність, оскільки точність не повинна перевищувати приблизно 100 метрів, якщо системі потрібно лише знайти пацієнта під час пошукової операції. Якщо він також повинен бити тривогу, коли пацієнт виходить з приміщення, точність повинна бути вищою. Однак у будь-якому випадку система відстеження повинна функціонувати як у приміщенні, так і на вулиці. Підзвітність, сигналізація та пошуково-рятувальна функціональність, ймовірно, є основними способами використання такої системи.

Подібні вимоги стосуються автоматичного моніторингу дітей у громадських приміщеннях, таких як дитячі садки. Це викликає занепокоєння в деяких країнах, наприклад у США. Тоді може бути доцільним запровадити систему з достатньою точністю, щоб бити тривогу, якщо дитина покине приміщення, випадково або внаслідок спроби викрадення.

Попередньо встановлену систему або використання макетів будівель можна використовувати для зниження витрат. Користувальні блоки мають бути дуже маленькими, малою вагою і не вимагати взаємодії з користувачем. По суті, його можна використовувати як автоматичну систему підзвітності з функцією сигналізації.

Таку автоматичну систему моніторингу не слід плутати з системою локалізації та відстеження, яка могла б перешкодити серйозній спробі викрадення. Такі системи існують, але покладаються на різні технології (часто пасивна радіочастотна ідентифікація, RFID, мітки), оскільки вони повинні бути невидимими для викрадачів.

Висновки

Військовослужбовці в операціях з підтримання миру/примусу, офіцери правоохоронних органів і пожежники стикаються з дуже подібними потребами, незважаючи на відмінності в оперативних сценаріях. Має сенс розробити технології локалізації та відстеження, які обслуговуватимуть не лише одну, а й декілька з цих груп кінцевих користувачів.

Для полегшення цього потрібно створити спільну базу для розробки вимог та оцінки існуючих та нових систем локалізації та відстеження у співпраці з цими групами користувачів. Для такого об'єкта була б корисна попередньо встановлена система високої точності, з якою можна порівнювати та оцінювати нові автономні технології. Дослідження компонента людсько-машинного інтерфейсу також буде сприяти; Питання про те, яку інформацію слід донести до окремого солдата чи пожежного та як її подати, справді є нетривіальним завданням, яке потребує значної уваги.

РОЗДІЛ 2. Відстеження в приміщенні: види та технології

Сучасна тенденція щодо відстеження в приміщеннях полягає у використанні стандартних, недорогих і вже розгорнутих технологій. Одним із драйверів цієї діяльності є включення систем позиціонування в приміщеннях, орієнтованих на смартфони (IPS) [6]. Загалом, очікується, що ринкові можливості для RTLS та IPS становитимуть близько 10 мільярдів доларів на рік у 2024 році [6]. Технології, що використовуються в цих системах, дуже різноманітні, охоплюючи Wi-Fi, UWB, радіочастотну ідентифікацію (RFID), Bluetooth, зв'язок ближнього поля (NFC), проект

партнерства третього покоління (3GPP)/ довгострокову еволюцію (LTE) , сигнали можливості та інерціальні одиниці вимірювання (IMU). Само собою зрозуміло, що останній виклик у відстеженні в приміщенні (а також локалізації) полягає не тільки в розробці спеціалізованих датчиків для цих завдань, але й у розробці та реалізації методів об'єднання даних, які можуть використовувати вже наявні технології. Злиття даних у відстеженні в приміщенні є ключовим елементом для подальших досягнень і представляє захоплюючі проблеми, особливо для практиків та дослідників з обробки сигналів. Завдяки великій різноманітності технологій і стандартів, повне розуміння теоретичних основ і добре володіння передовими статистичними інструментами є основоположними для створення сучасних систем відстеження. Запропоновані підходи в реальному часі в основному базуються на методології фільтрації Байєса, включаючи варіанти фільтра Калмана (KF) і набагато більш універсальну структуру, яку забезпечує фільтрація частинок (PF) [7]. Ці потужні статистичні інструменти дозволяють використовувати загальний спосіб роботи з неоднорідними моделями вимірювань, шуму та мобільності користувачів.

2.1. Види вимірювань

Тут представлені типи вимірювань, які використовуються для відстеження. Ми класифікуємо їх як 1) вимірювання, безпосередньо пов'язані з геометричними обмеженнями між вузлами, 2) вимірювання, які не пов'язані з геометричним співвідношенням між вузлами, і 3) самовимірювання з інформацією про прискорення та орієнтацію вузла. Ми також обговорюємо основні джерела помилок, які присутні у приміщеннях.

2.1.1. Геометричні вимірювання

Оптимальний підхід до керування вимірюваннями (наприклад, сигналом отриманого сигналу) полягає у використанні їх безпосередньо як вхідних даних у до оцінювача відстеження (пряма оцінка положення). Однак через складність і обмеження реалізації в практичних системах дотримуються більш прагматичного, але неоптимального двоетапного підходу. Він полягає в оцінці геометричних величин на основі ознак сигналу, таких як відстань між вузлами, а потім у подачі цих значень в оцінювач стеження (двоетапна оцінка положення).

Тут ми даємо огляд низки бездротових вимірювань, які передають геометричні обмеження між вузлами.

1) RSS: Оцінка відстані (або визначення дальності) на основі вимірювань потужності отриманого сигналу (RSS) ґрунтується на принципі, що чим більше відстань між двома вузлами, тим слабкіше їх відносні прийняті сигнали. Цей метод зазвичай використовується в недорогих системах, таких як бездротові сенсорні мережі (WSN) або Wi-Fi, через легку доступність цього типу вимірювань. Відображення між вимірним RSS і відстанню між вузлами передачі та прийому зазвичай виконується за допомогою теоретичних та/або емпіричних моделей втрат на шляху. Широко використовувана статистична модель для характеристики RSS представлена в [9]

$$Pr(d) = P_0 - 10 \gamma \log_{10} d + S$$

де $Pr(d)$ (дБм) – потужність прийнятого сигналу на відстані d від випромінювача, P_0 - потужність прийому (дБм) на опорній відстані 1 м (що залежить від характеристик радіо та антени, а також довжини хвилі сигналу), d (м) - відокремлення між вузлами, і S (дБ) являє собою великомасштабні варіації загасання (тобто затінення). Звичайна модель Сяк випадкова величина Гаусса з нульовим середнім і стандартним

відхиленням σ_C . Параметру відомий як показник втрат шляху, який у приміщеннях зазвичай приймає значення від 2 до 6 [9]. Можна також розглянути більш складні моделі RSS, наприклад, моделі, які вводять залежність від σ_C і γ на відстані [10].

Основною перевагою підходів на основі RSS порівняно з іншими методами є доступність вимірювань RSS практично у всіх бездротових системах і той факт, що вузли не повинні синхронізуватися за часом. Найважливішим недоліком діапазону RSS є те, що в засмічених середовищах явища поширення призводять до поганої кореляції ослаблення сигналу з відстанню, особливо в умовах каналу поза прямої видимості (NLOS), що призводить до неточних оцінок відстані, як обговорено в Розділі III-D.

2) Час прибуття (TOA): Інформація про відстань поділу d між парою вузлів можна отримати, використовуючи вимірювання затримки поширення сигналу або часу польоту (TOF) $t_c = d/c$, де c це швидкість електромагнітних хвиль у повітрі ($c = 3 \cdot 10^8$ PC). Зазвичай це досягається за допомогою двостороннього протоколу TOA (TW-TOA) або методів різниці в часі прибуття (TDOA).

У діапазоні TW-TOA вузол A передає пакет вузлу B, який відповідає, передаючи пакет підтвердження до A після відомої або вимірної затримки відповіді t_d [5]. Потім вузол A оцінює час обертання сигналут $RT = 2t_c + t_d$, з якого він може обчислити відстань без потреби загального відліку часу. Хоча зміщення синхронізації по суті усуваються двостороннім протоколом, відносний дрейф тактового сигналу все ще може впливати на точність визначення дальності.

3) TDOA: Системи, які використовують TDOA, не покладаються на абсолютні оцінки відстані між парами вузлів. Такі системи зазвичай використовують одну з двох схем. Згідно з першою схемою, кілька сигналів транслуються з синхронізованих вузлів прив'язки, і мобільний

вузол вимірює TDOA (ця методика схожа на прийняту в технологіях GNSS). Згідно з другою схемою, опорний сигнал транслюється мобільним вузлом, і він приймається кількома якорями. Якорі діляться своїми оцінками TOA і обчислюють TDOA. Кожна схема вимагає, щоб якоря були тісно синхронізовані через мережу. Для обчислення 2-D положення мобільного вузла, потрібні щонайменше три прив'язки та два вимірювання TDOA. В ідеалі кожне вимірювання TDOA можна геометрично інтерпретувати як гіперболу, утворену набором точок із постійними різницями діапазону (різниці в часі) від двох якорів [11].

4) AOA: Методи, засновані на куті, оцінюють положення мобільного вузла шляхом вимірювання кута прибуття (AOA) сигналів, що надходять до вимірювального вузла за допомогою антенних решіток. За допомогою ідеальних вимірювань проблему позиціонування можна геометрично вирішити, знайшовши перетин ряду прямих ліній, що представляють сигнал AOA (триангуляція). У 2-D сценаріях достатньо двох AOA. На практиці шум, скінченна кількість антен у решітці та багатопроменеве поширення можуть різко вплинути на точність остаточної оцінки положення [12].

5) PDOA: Методи фазової різниці прибуття (PDOA) спочатку були запроваджені для оцінки відстані в радіолокаційних системах, а нещодавно були знову відкриті для підвищення точності локалізації систем RFID і WSN [13]. Основна версія PDOA полягає в передачі пари безперервних хвильових сигналів на частотах f_1 і f_2 , відповідно, і вимірювання різниці фаз на приймачі, яка в результаті буде пропорційна відстані та обернено різниці $f_2 - f_1$. Через надзвичайно малу смугу пропускання сигналу похибки оцінки фази можуть бути дуже малими, а отже, оцінка відстані досить точна. На жаль, 2π періодичність фаз і наявність багатопроменевості можуть створити неминучі неясності в оцінці справжньої відстані.

б) Близькість: Найпростіший спосіб отримати інформативні вимірювання для позиціонування - це близькість, де двійкова зв'язність використовується для оцінки позиції вузлів у момент часу. Інформація про місцезнаходження надається з близькості мобільного вузла до деяких опорних вузлів у системі. Однією дуже простою моделлю для визначення близькості є т. зв. модель кругового радіопокриття або модель диска, де діапазон передачі моделюється колом із фіксованим радіусом r_0 . Ключовою перевагою методу близькості є те, що він не вимагає спеціального обладнання та синхронізації часу між вузлами. Це робить його особливо придатним для дуже недорогих бездротових пристроїв, таких як RFID-мітки, де розгортання великої кількості тегів не є проблемою [14]. Починаючи з інформації про підключення, можна запровадити більш складні підходи до позиціонування без дальності, щоб підвищити точність відстеження, такі як ті, на які посилаються в Розділі IV-F.

2.1.2. Вимірювання, пов'язані з позицією

Сигнали, які генеруються попередньо розгорнутими інфраструктурами, такими як Wi-Fi, радіостанції (телебачення, FM або AM-радіо), а також стільникові мережі, вже присутні в більшості внутрішніх приміщень і потенційно можуть використовуватися для позиціонування без необхідності розгортання спеціальної інфраструктури [15]. Такі радіосигнали можливостей призначені для інших цілей і не призначені для позиціонування. Дійсно, ці сигнали зазвичай приймаються в умовах каналу NLOS, і, отже, їхня залежність від відносних відстаней/кутів між вузлами є складною. Як наслідок, зробити висновок з таких вимірювань дуже складно. Однак це не заважає їх використанню для позиціонування, якщо розглядаються методи відбитків пальців, наприклад. Фактично, такі методи засновані на унікальності вимірювань (відбитків

пальців) у різних місцях, що використовується за допомогою підходів до картографування, описаних у розділі IV-C.

На додаток до радіосигналів можливостей, геомагнітне поле нещодавно було запропоновано як життєздатний альтернативний (або додатковий) сигнал можливості для позиціонування за допомогою недорогих магнітометрів, які також надають інформацію про орієнтацію. Фактично, аномалії в полі, викликані магнітними збуреннями, які зазвичай присутні в приміщеннях, можна використовувати як відбиток пальця [16]. Основною причиною цих порушень є сталеві оболонки більшості сучасних будівель. У роботі було експериментально показано, що магнітне поле стабільне протягом тривалого часу і що його характеристики суттєво змінюються в залежності від розташування, що робить його придатним для дактилоскопічних підходів. Хоча в деяких сценаріях досяжна точність може бути близько кількох сантиметрів, наявність лише трьох компонентів магнітного поля в X, Y, і Z напрямки (два, якщо магнітна північ невідома) робить унікальність вимірювань як функцію положення проблематичною. Крім того, перешкоди від рухомих об'єктів, що містять феромагнітні матеріали та електронні пристрої, можуть викликати труднощі в моделюванні наступних аномалій у виміряному магнітному полі. З цієї причини магнітометри зазвичай поєднуються з іншими видами вимірювань (наприклад, радіо та інерційними) за допомогою методів злиття даних, як пояснюється в Розділі IV-C.

Явною перевагою використання сигналів можливостей для позиціонування є те, що це економічно ефективні рішення, оскільки не потрібно додаткового розгортання інфраструктури. Для повноти згадаємо інші сигнали можливостей і датчики, які можна використовувати для відстеження, такі як навколишнє аудіо та світло, ультразвук та відеосигнали.

2.1.3. Самовимірювання: інерціальні прилади

Більшість портативних пристроїв включають невеликі та легкі ІМУ на основі технології мікроелектромеханічних систем (MEMS). Як правило, ІМУ складається з трьох ортогональних гіроскопів і трьох ортогональних акселерометрів. Ці тріади датчиків вимірюють відповідно кутову швидкість і питому силу. Питома сила є поєднанням гравітаційного та інерційного лінійного прискорення. Деякі ІМУ включають тривимірні магнітометри (що передають інформацію про курс і барометр/висотомір, таким чином забезпечуючи 10° свободи. Автономна інерційна навігація можлива, якщо відомі початкове положення, швидкість та орієнтація. Домінуючим типом інерційної навігаційної системи (INS) є так звані розстібні системи, де інерціальні датчики жорстко закріплені на пристрої, і, таким чином, вимірювання відносять до рами кузова. У цьому випадку гіроскопи використовуються для проектування спостережень акселерометра на глобальну систему кадрів, а також для надання інформації про орієнтацію. Потім, після поправки на силу тяжіння, можна було б інтегрувати подвійні прискорення і отримати оцінене положення INS.

Генерація положення, положення та швидкості включає, частково, інтеграцію вимірювань датчика. Таким чином, будь-яка помилка на виході датчиків призводить до корельованого ставлення, похибки положення та швидкості, які потенційно необмежені. Джерела помилок акселерометрів можна моделювати за допомогою постійного (детермінованого) зміщення та білого шуму (випадкового) члена, обидва апріорно невідомі. Інші джерела можна розглядати як тимчасові коливання цих двох. Аналогічно можна було б моделювати

помилки на гіроскопах. Ці причини не дозволяють розглядати автономну інерційну навігацію з відносно недорогим IMU, залишаючи цей підхід до високопродуктивних пристроїв тактичного класу.

IMU дуже популярні в навігаційних системах, особливо коли вони інтегровані з іншими технологіями [17]. Причиною є взаємодоповнюваність похибок між інерціальними датчиками та геометричними підходами для оцінки положення. Хоча INS забезпечує дуже точні вимірювання прискорення (і, отже, положення), він створює похибку, яка з часом збільшується через зміщення датчика. З іншого боку, геометричні вимірювання, які обговорюються в Розділі III-A, зазвичай є неупередженими, принаймні в умовах прямої видимості (LOS), але є більш шумними, ніж вимірювання INS. Таким чином, правильне злиття даних геометричних систем з IMU забезпечує найкраще з обох світів: зменшену дисперсію та неупередженість. Таке злиття даних можна оптимально обробити за допомогою байєсівської теорії та пов'язаних методологій.

2.1.4. Основні джерела помилок

Ефективність відстеження будь-якого методу сильно залежить від якості зібраних вимірювань. Як технологічні обмеження (наприклад, точність годинника пристрою), так і аномалії поширення радіо в приміщеннях можуть викликати джерела помилок, включаючи багатопроменевість, теплові шуми, надмірну затримку прямого шляху та умови каналу NLOS.

Багатошляхове поширення може бути серйозним у важких сценаріях. Коли використовуються вузькосмугові системи, наприклад, для вилучення значень RSS, компоненти сигналу, що надходять через різні шляхи поширення, зазвичай не можуть бути розв'язані. Це призводить до

деструктивної та конструктивної інтерференції компонентів, що спричиняє ефект загасання на невеликому рівні, що робить кореляцію RSS з відстанню надзвичайно слабкою. У широкосмугових або UWB системах багатопроменевість може бути частково дозволена, і можлива точна оцінка сигналу TOA. Однак наявність великої кількості багатопроменевих компонентів може зробити виявлення прямого шляху, що несе правильну інформацію про відстань, нетривіальним завданням.

На невеликих ділянках визначення діапазону на основі часу покладається на точні вимірювання часу, які виконуються шляхом оснащення вузлів осцилятором, з якого виводиться внутрішнє опорне значення годинника. Фізичні впливи можуть призвести до того, що осцилятори відчувають дрейф частоти, що може бути шкідливим у системах з недорогими осциляторами. Враховуючи, що для досягнення субметрової точності визначення діапазону потрібна оцінка TOF порядку кількох наносекунд, невизначеність оцінки прийнятого сигналу TOA та дрейфу тактової частоти пристрою може бути невеликою в умовах внутрішнього середовища, навіть за умови (ідеальної) відсутності багатопроменевості. Щоб отримати уявлення про основні параметри, що впливають на точність дальності, ми проілюструємо фундаментальну межу в оцінці TOA, тобто , загального унітарного енергетичного сигналу $s(t)$ зі спектром $S(f)$ і передається через добавку білого гаусса канал шуму. За відсутності інших джерел помилок найменша дисперсія неупередженої оцінки задається CRB, тобто

$$CRB_{TOA} = \frac{1}{8 \pi^2 \beta^2 SNR}$$

Відповідний CRB щодо визначення діапазону може легко отримати, помноживши на квадрат швидкості світла c . Зверніть увагу, що нижня межа в показує, що сигнали з великим відношенням сигнал/шум (SNR) і

широкою смугою пропускання є корисними для визначення дальності. Це виправдовує великий інтерес до технології UWB в RTLS в приміщенні. Для порівняння, CRB для оцінки відстані \hat{d} на основі RSS вимірювання за моделлю втрат на шляху дається

$$\text{CRB}_{\text{RSS}} = \left(\frac{\ln 10}{10} \frac{\sigma_s}{\gamma} d \right)^2$$

На відміну від методів, заснованих на часі, можливість визначення дальності за допомогою вимірювань RSS не залежить від форми переданого сигналу, але швидко збільшується з відстанню (з d^2). З іншого боку, для методів визначення дальності, заснованих на часі, форма сигналу, а отже, і пропускна здатність є додатковим ступенем свободи для покращення точності визначення дальності.

Нарешті, ми зазначимо, що найбільш складні проблеми для відстеження в приміщеннях викликані вимірюваннями NLOS. При вимірюванні значень RSS можна отримати дуже погану або майже нульову кореляцію між RSS та відстанню, і такі вимірювання можуть бути корисно використані лише за допомогою негеометричних підходів, таких як алгоритми відстеження відбитків пальців (див. Розділ IV-C). У підходах на основі TOA, якщо прямий шлях повністю перекритий, приймач спостерігатиме лише компоненти багатопроменевості NLOS, що призведе до оцінки відстані, більшої за справжню відстань (викиди). Тому важливо розробити методи відстеження так, щоб вони були менш чутливими до цих помилок (наприклад, схеми спільного відстеження, які обговорюються в Розділі IV-B) або запровадити схеми ідентифікації NLOS і компенсувати позитивне зміщення, наявне у вимірюваннях NLOS. У літературі було представлено кілька схем виявлення NLOS. Більшість із них покладаються на вилучення характеристик отриманого сигналу, на які в основному

впливає поширення NLOS, і приймають рішення на основі деяких апріорі статистичні знання або підхід до навчання. Варто зазначити, що навіть якщо прямий шлях не повністю перекритий перешкодою, вимірний ТОА може бути завищений через надмірну затримку, яку відчуває електромагнітна хвиля під час проходження через різні матеріали.

Іншими потенційними джерелами помилок є коканалні перешкоди, що викликано співіснуючими бездротовими системами, що поділяють один і той же радіодіапазон, і мінливістю середовища, що може зробити методи відстеження, засновані на відбитках пальців, менш надійними.

2.2. Технології для відстеження в приміщеннях

Кількість технологій відстеження в приміщенні велика; вони включають лазери, комп'ютерний зір, гідролокатор та інфрачервоний діапазон. Тут, належне у зв'язку з нестачею місця ми зосереджуємось на тих, що базуються на обміні радіосигналами.

Більшість бездротових стандартів були розроблені та оптимізовані з урахуванням послуг передачі даних та голосового зв'язку, але не позиціонування та відстеження. Лише нещодавно стандарти бездротового зв'язку почали враховувати підтримку виділених можливостей позиціонування та відстеження. Інтерес мобільної індустрії до прискорення прийняття рішень для розміщення в приміщеннях став основою Альянсу InLocation (ILA, inlocationliance.org). Мета альянсу – сприяти швидкому запровадженню RTLS на ринку, щоб відкривати нові бізнес-потоки за допомогою контекстно-залежних додатків у приміщеннях. ILA вибрала Wi-Fi і Bluetooth як перевагу технологій.

У таблиці I представлено якісне порівняння наявних технологій з коротким описом їх основних характеристик. Цифри є лише орієнтовними, оскільки вони сильно залежать від навколишнього середовища та його мінливості. Можна відзначити, що не існує жодної технології, здатної

забезпечити задовільну продуктивність з точки зору точності позиціонування, покриття та вартості інфраструктури в усіх середовищах. Як наслідок, принаймні в короткостроковій перспективі, ми, швидше за все, побачимо прийняття окремих технологій у нішевих додатках і поєднання технологій за допомогою методів синтезу в споживчих додатках.

2.2.1. Бездротові технології ближнього радіусу дії

Протягом останніх 20 років ми стали свідками поширення багатьох стандартів, які пропонують бездротове підключення на короткій відстані, кожен з яких націлений на інший сегмент додатків. Найбільш широко використовуються Wi-Fi для додатків бездротової локальної мережі, RFID та NFC для ідентифікації предметів/об'єктів, Bluetooth для бездротових персональних мереж та IEEE 802.15.4/ZigBee, що підтримує WSN. Ці стандарти не були задумані для цілей локалізації та відстеження, і тому служби локалізації/відстеження можуть використовувати лише інформацію про підключення або RSS та вимірювання фази, як показано в Розділі III. Отже, відповідна продуктивність позиціонування може бути досить поганою. Більше того, вузли часто розгортаються випадковим чином або з метою охоплення послугами зв'язку. Це породжує необхідність підтримки мережі відповідними алгоритмами відстеження, наприклад, використанням співпраці між вузлами або сигналами можливостей, як описано в розділі IV. У великих мережах (наприклад, WSN) надзвичайно важливо, щоб складність алгоритму позиціонування була масштабована залежно від кількості вузлів та/або рівня зв'язку мережі.

2.2.2. Мережі стільникового зв'язку

Стільникові мережі спираються на набір BS з радіусом покриття від кількох метрів до приблизно десятків кілометрів. Історично першим

прикладом служби визначення місцезнаходження, яку пропонують системи стільникового зв'язку, є E-911, представлений для екстрених викликів у Сполучених Штатах. Найпростіший, але дуже неточний спосіб отримати інформацію про місцезнаходження – це ідентифікатор стільника, з якого обслуговується обладнання користувача (тобто, близькість). Як наслідок, точність локалізації дорівнює порядку розміру комірки. Потенційно, стільниковий фізичний рівень 2G/3G (PHY) може надавати інформацію про діапазон за допомогою оцінки сигналу TOA точніше, спостережуваного TDOA (OTDOA), хоча відносно невелика пропускну здатність і структура сигналу обмежують досягнути тимчасову роздільну здатність ($1\mu\text{s}$ для глобальної системи мобільного зв'язку (GSM), близько 200 нс для систем 3G). Поточні алгоритми оцінки місцезнаходження намагаються використовувати будь-яку доступну інформацію про середовище (наприклад, умови загасання, частоту Доплера та топологію мережі) для досягнення більшої точності за допомогою методів злиття даних.

Протягом останнього десятиліття стандартні протоколи стільникової мережі виділили ресурси для передачі допоміжних даних GNSS на мобільні пристрої з підтримкою GNSS, для впровадження послуг з підтримкою GPS/ допоміжного GNSS як у мережах GSM, так і в мережах універсальної мобільної телекомунікаційної системи. 3GPP представив послуги визначення розташування в LTE Release 9, опублікованому в грудні 2009 року. Технологія LTE забезпечує щільну синхронізацію між BS і можливість використання широкосмугових сигналів з низьким рівнем перешкод. Цей стандарт визначає спеціальну підтримку для позиціонування. З ним значний показник очікується покращення в порівнянні з попередніми поколіннями стільникових мереж з точністю позиціонування вище 20 м для 50% випадків і 63 м для 95% випадків з використанням OTDOA. Очікується, що майбутній стандарт мобільного

зв'язку 5G вбудує можливості високого позиціонування завдяки застосуванню малих осередків і масивних антенних решіток на міліметрових хвилях [18].

2.2.3. Технологія UWB

Ця технологія викликала значний і зростаючий інтерес з лютого 2002 року, коли Федеральна комісія зв'язку відкрила 7,5 ГГц спектру (від 3,1 до 10,6 ГГц) для використання СШП-пристроями [19]. Традиційний підхід до проектування системи зв'язку UWB використовує вузькі імпульси часової області дуже короткої тривалості, як правило, порядку наносекунди, таким чином розширюючи спектр переданого сигналу в широкій смузі частот більше 500 МГц. Цей метод зазвичай називають імпульсне радіо UWB. Великою перевагою короткоімпульсної модуляції є можливість оцінити ТОА з високою роздільною здатністю, що означає оцінку діапазону з точністю до кількох сантиметрів [20]. Таким чином, UWB є перспективним для відстеження високої чіткості всередині приміщень, особливо після публікації першого стандарту IEEE 802.15.4a на базі UWB, спеціально призначеного для додатків WSN як недорогий і малопотужний замітник рівня PHY IEEE 802.15.4 PHY [5]. Перший комерційний набір мікросхем, сумісний зі стандартом IEEE 802.15.4, був доставлений у 2014 році. Паралельно кілька компаній, які пропонують власні продукти UWB для RTLS, брали активну участь у розробці нового стандарту IEEE 802.15.4f, який присвячений визначенню рішення для точне позиціонування в приміщенні та відстеження за допомогою тегів з низькою вартістю та низьким споживанням [21].

2.2.4. Технологія Near-Field

Тут ми коротко згадаємо технологію на основі електромагнітного діапазону ближнього поля (NFER), яка використовує низькі частоти

(зазвичай близько 1 МГц) і, отже, довгі хвилі (близько 300 м). Ключова ідея цього рішення полягає у використанні детермінованого співвідношення, яке існує (у вільному просторі) між кутом, утвореним електричним і магнітним полями прийнятого сигналу, і відстанню між передавачем і приймачем при роботі в умовах поширення ближнього поля. Цей низькочастотний підхід до визначення дальності забезпечує хороше проникнення через перешкоди та опір багатопроменевості. Основний недолік NFER пов'язаний з необхідними великими антенами та низькою енергоефективністю відповідних бездротових пристроїв.

Висновки

Описано проблеми внутрішнього бездротового відстеження та картографування. Надано математичне формулювання задач та показали їх розв'язання з точки зору обробки сигналів.

У найближчі роки побачимо подальше збільшення обсягів досліджень для відстеження в приміщеннях. Не буде дивно, якщо станемо свідками широкого використання технологій відстеження всередині приміщень для доповнення та розширення можливостей пішохідних і транспортних систем у сферах інтелектуальних транспортних систем, автоматизованих транспортних засобів, робототехніки та послуг на основі визначення місця розташування. Важливим напрямком роботи залишиться злиття інформації, яка надходить від існуючої інфраструктури, наприклад, сигналів про можливості та інформації, яка буде надходити з нещодавно розгорнутих систем або збиратися завдяки зростаючому поширенню смартфонів (зондування натовпу).

Деякі з описаних у цій роботі методів є інтенсивними обчисленнями. Причина цього полягає в тому, що вони за задумом амбітні у сенсі своєї здатності витягувати велику кількість інформації з доступних даних. Важливе завдання полягає в тому, щоб привести ці методи до дещо

зменшеної форми, що дозволило б їх практично використовувати в більш широкому діапазоні реальних застосувань.

Безсумнівно, що поява нових технологій і надалі стимулюватиме дослідження в області локалізації та відстеження. Одним з них є майбутній Інтернет речей стане дуже великою мережею пристроїв, датчиків та об'єктів, які будуть з'єднані за допомогою комунікацій, щоб надаватися нові послуги. Крім того, мережа буде динамічною і знайде багато застосувань у різних приміщеннях, включаючи розумні будинки та розумні будівлі. Само собою зрозуміло, що важливою інформацією в багатьох програмах буде відстеження «речей» у мережі. У рамках цього сценарію, Іншим важливим завданням є розробка мереж, здатних ідентифікувати та відстежувати недорогі та енергоефективні пристрої, прикріплені до об'єктів/ людей. Це вимагатиме розробки енергоефективних рішень або рішень з нульовою потужністю для повної інтеграції технологій RFID та RTLS [8]. Це, у свою чергу, прискорить розвиток локалізації та відстеження методами обробки сигналів у мережах.

РОЗДІЛ 3. Технологія iBeacon

Все більше людей користуються смартфонами, і всі вони спілкуються один з одним. Вони користуються послугами Інтернету та багатьма додатками. Крім того, з новою тенденцією носових пристроїв, вони використовують цей новий гаджет для відстеження активності, як-от біг. Однак немає зв'язку між звичайними речами, такими як сумки або двері, і смартфонами. iBeacon може змінити це. iBeacon — це невеликий пристрій з низьким енергоспоживанням Bluetooth (BTLE, Bluetooth 4.0), який може живитися від монети, батарейок або від зовнішнього джерела живлення [24]. На рис 1 показаний iBeacon від компанії Estimote.



Рис. 1. iBeacon з монетами від Estimote [22].

На лівій стороні зображення знаходиться зовнішня кришка, яка захищає друковану плату і надає iBeacon більш приємний вигляд. Поруч з ним розташована друкована плата з мікросхемою Bluetooth Low Energy. Праворуч від нього розташована батарейка типу «таблетка», яка надає

iBeacon потужність, а в крайньому правому куті розташована задня кришка iBeacon і має клейку поверхню, щоб приклеїти їх скрізь

Ці пристрої настільки малі, що ви можете носити їх у сумочці або в зв'язці ключів. Існує багато можливостей, і ця стаття пояснює одну ситуацію. Ми описуємо, що потрібно для відстеження багажу в аеропорту, як налаштувати iBeacon і як це реалізувати в додатку iOS. Крім того, ми провели тест, щоб побачити, як це працює в реальному місці, і оцінити можливі відстані та обмеження.

Крім того, з iBeacon ви можете робити більше, ніж просто відстежувати елементи. Наприклад, музей може використовувати iBeacon для створення інтерактивного досвіду. Починається з вітання біля входу з push-повідомленням. Відвідувач може вибрати один або кілька експонатів, і iBeacon переведе їх до них найкращим маршрутом. Крім того, кожен експонат може передати відвідувачам інтерактивний матеріал, наприклад відео, зображення чи головоломки. Діти можуть використовувати iBeacon на виставках, щоб грати в погоню за папером. На кожній виставці вони отримують новий напрямок і повинні знайти конкретний iBeacon, який є метою. Одночасно батьки можуть відстежувати своїх дітей, оскільки додаток знає, на яких виставках зараз знаходяться діти, тому вони не можуть заблукати. Як ще один приклад, Apple використовує iBeacons у своїх магазинах Apple Store, щоб надсилати інформацію про продукт, який ви переглядаєте. Вони також забезпечують спеціальну сторінку додатка в своєму додатку магазину, яка відображається лише тоді, коли ви перебуваєте в магазині. Ця сторінка дає вам можливість безпосередньо оплатити за допомогою програми або перевірити свою зустріч із співробітниками Apple [23].

iBeacon може змінити весь досвід покупок у торговому центрі. Починається від в'їзду на стоянки. iBeacon натисне сповіщення, коли ви перебуваєте перед паркувальним бар'єром, і ви можете відкрити шлагбаум

безпосередньо з програми. Ви можете увійти в магазини, які плануєте відвідати, і додаток направить вас до найближчої стоянки. Функція навігації використовує iBeacon для обчислення положення на автостоянці. Потім він направить вас до магазинів, які ви хочете відвідати, і навіть може надати вам купон на квітковий магазин, який вам так подобається. Коли ви закінчите покупку, додаток запам'ятає вашу парковку та наведе вас найшвидшим шляхом. На виході ви можете сплатити плату за паркування безпосередньо з програми, і ви готові виїхати [27].

Таким чином, iBeacon не тільки відстежує елементи, а й обчислює позиції або інформацію про push. Поєднуючи все це, це може змінити повний досвід і не тільки в торговому центрі. В аеропорту, в музеях, меріях або зробити свій будинок чи робочий простір розумнішим – є багато інших можливостей. У цій статті буде показано, як iBeacon може відстежувати ваш багаж в аеропорту.

3.1. Що таке iBeacon

iBeacon — це технологічний стандарт, розроблений Apple, який був представлений у 2013 році на Всесвітній конференції розробників (WWDC). Стандарт описує протокол і пристрої [25]. iBeacon використовує Bluetooth Low Energy для надсилання даних, і це може бути будь-який пристрій, який має чіп BTLE. iBeacon можуть бути такі пристрої, як BLE-USB-флешки або плати Arduino, і навіть iPhone. Однак, якщо ви хочете назвати свій пристрій iBeacon, вам потрібна ліцензія від Apple. iBeacon має лише одну мету — надіслати ідентифікаційний номер та виміряну потужність. Це як маяк, який посилає світлові сигнали кораблям і човнам, щоб вони знали, де знаходиться берег. На відміну від човнів, пристрої, які отримують сигнали iBeacon, точно знають, який це iBeacon і приблизну відстань. Немає зв'язку між iBeacon та іншими пристроями. Це означає, що ви не можете надіслати запит до iBeacon або відповісти на

вхідні сигнали iBeacon. Єдиний спосіб взаємодії з iBeacon — це налаштувати значення UUID, Major, Minor і Measured Power.

Більшість iBeacons використовують батарейки типу «таблетка» для живлення, але це може бути будь-який тип батареї або він може навіть живитися від зовнішнього джерела. Дуже важливий тип джерела живлення. Батарею типу «таблетка» можна використовувати до 2 років без її заміни, а більші батареї мають ще довший термін служби. Це, звичайно, залежить від потужності сигналу та рекламного інтервалу. IBeacon з монетами може прослужити рік при швидкості реклами 1000 мс, але при швидкості 100 мс — кілька місяців. Це означає, що якщо iBeacon надсилає сигнал кожні 100 мс, він надсилає 10 сигналів кожну секунду. iBeacon, який надсилає сигнал кожні 1000 мс, надсилає лише один сигнал кожну секунду. Таким чином, при швидкості 100 мс батареї в секунду потрібно в десять разів більше енергії, ніж при швидкості 1000 мс. Та ж проблема стосується і потужності сигналу. Якщо iBeacon вимагає більше енергії для надсилання сигналу, акумулятор розрядиться швидше. Тому для високої продуктивності вам слід використовувати iBeacon із зовнішнім джерелом живлення. Щоб скористатися перевагами iBeacon, вам потрібна операційна система, яка їх підтримує. Apple запустила підтримку iBeacon у iOS версії 7.0, а Google додала її в Android версії 4.3. Windows і Windows Phone наразі не підтримують iBeacons, а це означає, що наразі немає можливості створити додаток iBeacon для цих операційних систем.

3.2. Функціональний опис

Формат даних iBeacon має корисне навантаження 25 байт, як показано на рис 2.

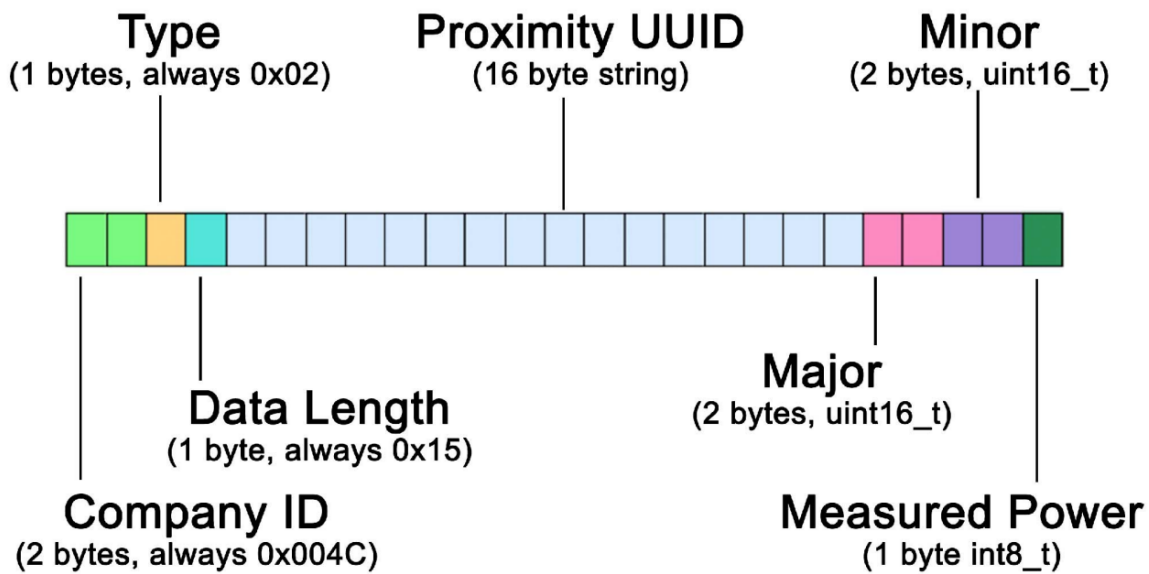


Рис. 2. Формат даних iBeacon.

Він починається з двох байтів для ідентифікатора компанії і слідує один байт для типу. Наступний байт призначений для довжини даних. Ці перші чотири байти є фіксованими і не можуть бути змінені. Наступні 16 байт призначені для Proximity UUID, який використовується для ідентифікації iBeacon. UUID можна створити за допомогою терміналу `commando uuidgen` і виглядає так: «9903EC64-D309-11E3-94A7-1A514932AC02» [26]. Після цього він має по два байти для великого та другорядного. Ці два значення можна використовувати для ідентифікації або групування. Останній байт призначений для вимірюваної потужності і використовується для обчислення близькості між iBeacon та пристроєм, який отримує дані. У наступній таблиці I показано приклад, щоб зрозуміти використання цих значень. Загальнонаціональний роздрібний магазин хоче розмістити iBeacons у своїх магазинах. Один додаток повинен розпізнавати кожен магазин і його відділи. Усі магазини мають однаковий UUID, щоб програма знала, що це магазин від цього продавця. Кожне місце

розташування має свою унікальну важливу цінність для визначення кожного конкретного місця.

Кожне місце розташування має однакові три відділи, і з незначним значенням програма може розрізнити ці три. Це лише одне з можливих рішень для встановлення цих значень. Немає обмежень у встановленні цих значень, тому це має підходити для всіх можливих завдань.

Існують дві функції для використання iBeacon. З одного боку, це функція моніторингу регіону. Це можна використовувати, щоб створити область навколо iBeacon і натиснути сповіщення, якщо пристрій входить або залишає цю область. Також можна виконати деякий код при введенні або виході з регіону. Велика перевага iOS полягає в тому, що додаток не має бути відкритим.

Операційна система iOS автоматично шукатиме iBeacons, якщо у користувача ввімкнено Bluetooth і службу визначення місцезнаходження. Якщо iOS виявляє iBeacon, вона сповіщає програму, і програма виконує код.

З іншого боку, це функція визначення діапазону. Функція визначення діапазону використовується для обчислення близькості між iBeacon та пристроєм, який шукає iBeacon.

Існує два способи використання цієї функції. По-перше, ми можемо використовувати наступні чотири стани близькості, які API прикидає. На рис 3 показано ці чотири стани: Негайний, Близький, Далекий і Невідомий. Ці стани використовують ідеальний стан без будь-якого відображення чи поглинання. Можливі обмеження для iBeacon будуть пояснені в розділі С. «Невідомо» означає, що відстань не може бути обчислена або користувач знаходиться на відстані більше 30 метрів. «Далеко» — це відстань від 2 до 30 метрів. Стан «Близький» становить від 2 до 0,5 метрів. Це може бути використано для виявлення таких об'єктів, як картини в музеї, і запуску дії. Останній стан — «Негайно» і знаходиться в межах 0,5 метра.

DISTANCE CALCULATIONS

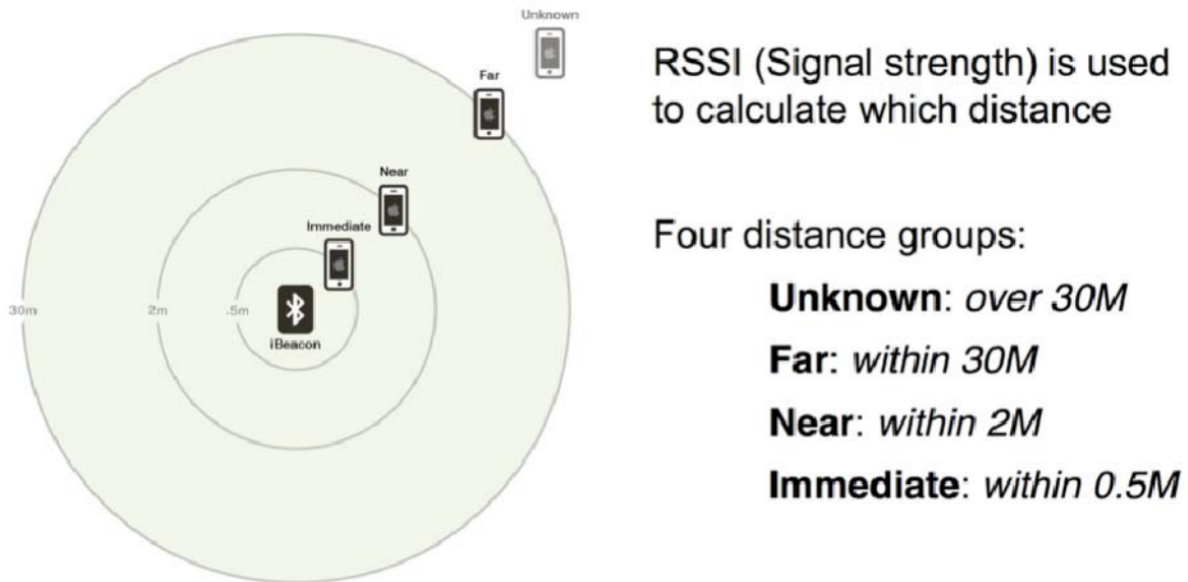


Рис. 3. Розрахунок відстані за допомогою iBeacon [29].

По-друге, ми можемо використовувати параметр точності, який надає API iOS. Це значення розраховується за силою сигналу (RSSI, або індикація сили отриманого сигналу) від iBeacon і надає відстань у метрах. Точність збільшується із силою сигналу.

Обидва способи мають свої переваги і недоліки. Державний підхід ідеально підходить, якщо вам потрібні регіони, але його не можна використовувати для певних відстаней. Точний підхід ідеально підходить для навігації в приміщенні або в інших ситуаціях, коли потрібно найточніше значення відстані.

3.3. Обмеження

Існують деякі обмеження при використанні iBeacon. Все починається з обмежень від Apple. Щоб використовувати функції iBeacon в iOS, потрібно використовувати формат даних, наданий Apple. Ви не можете

змінити цей формат даних. Єдиний спосіб покращити цей факт – запровадити власний формат даних Bluetooth. Деякі роздрібні продавці iBeacons зробили це і додали такі функції, як зчитування датчика температури.

Наступна проблема – глибока інтеграція в операційну систему iOS. iBeacons можна виявити, навіть коли програму закрито. Це величезне покращення для розробників iOS, але інші операційні системи, як-от Android, не підтримують цю функцію.

Термін служби акумулятора також є великою проблемою. iBeacons, які надсилають з високою силою сигналу або великим інтервалом реклами, потребують більшої потужності. Маленькі батарейки типу «таблетка» можуть прожити до двох років, але при високих настройках він скорочується лише до кількох місяців.

Вирішити цю проблему можна шляхом використання більших батарейок, таких як батарейки типу AA, або використання зовнішнього джерела живлення, такого як USBпорт. Є деякі iBeacons, які працюють як USB-флешки з Bluetooth. Їх можна встановити на найвищу силу сигналу та рекламний інтервал. Однак проблема з ними полягає в тому, що для них потрібні розетки, які не скрізь доступні або транспортабельні. iBeacons з батареєю можна розташувати скрізь, навіть у місцях без джерела живлення, але iBeacons, які використовують USBпорти, прив'язані до розеток у фіксованих місцях.

Bluetooth – це технологія, яка використовує сигнали з частотою 2,4 ГГц, і це викликає певні проблеми. Сигнали на частоті 2,4 ГГц мають проблеми з демпфуванням. Стіни або людські тіла є послабленнями цих сигналів. На рис 4 показано нормальне поширення сигналу.

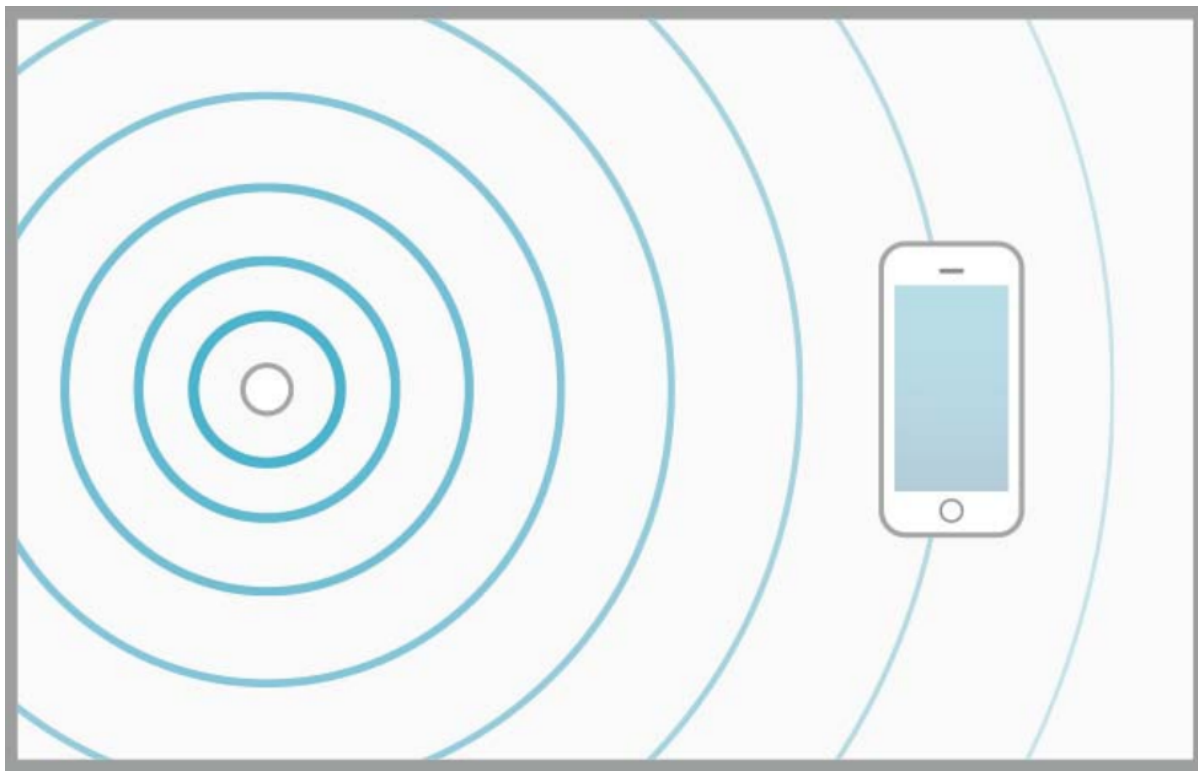


Рис. 4. Поширення сигналу без бар'єру [25].

Без будь-яких перешкод сигнали надходять прямо від iBeacon до приймального пристрою і забезпечують дуже хорошу точність. На рис 5 стіна гасить сигнал. Він показує, як зміниться сигнал і точність буде знижена

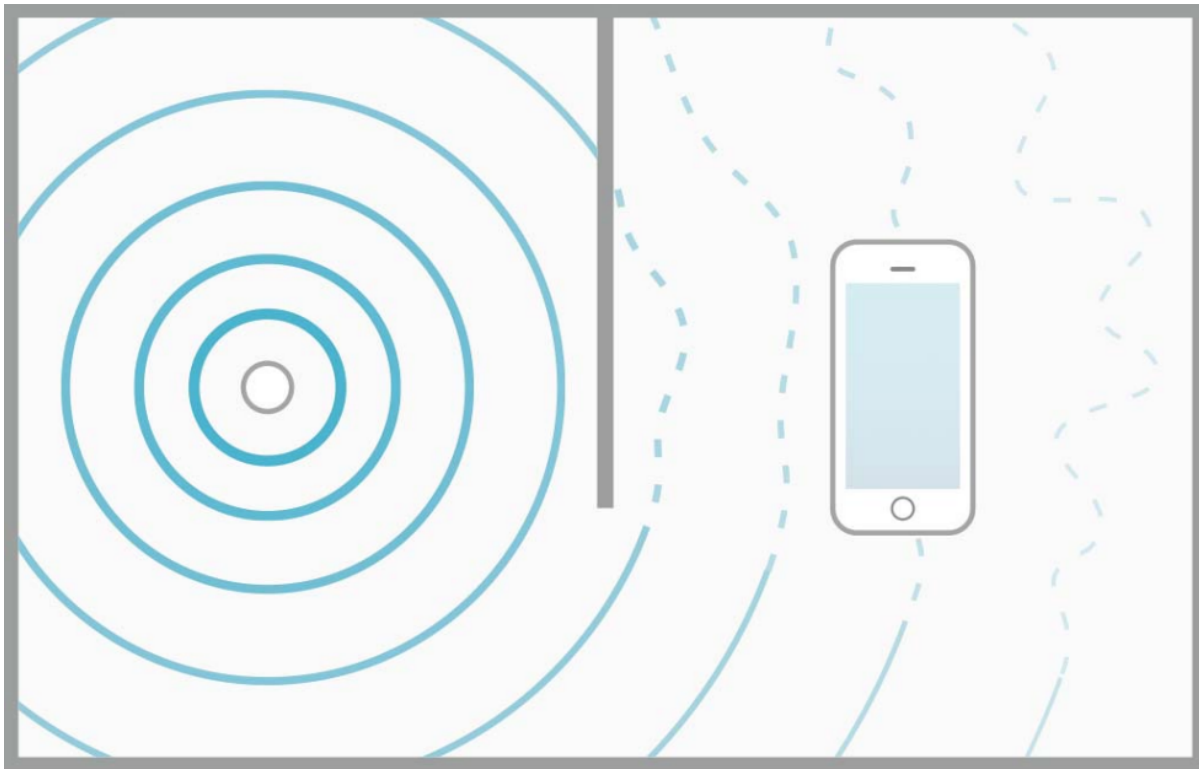


Рис. 5. Поширення сигналу за допомогою стінного бар'єру [25].

На рис 6 показано тіло людини з 80% води та його вплив на поширення сигналу. Навіть якщо ви просто тримаєте руку між iPhone і смартфоном, це має демпфуючий ефект.

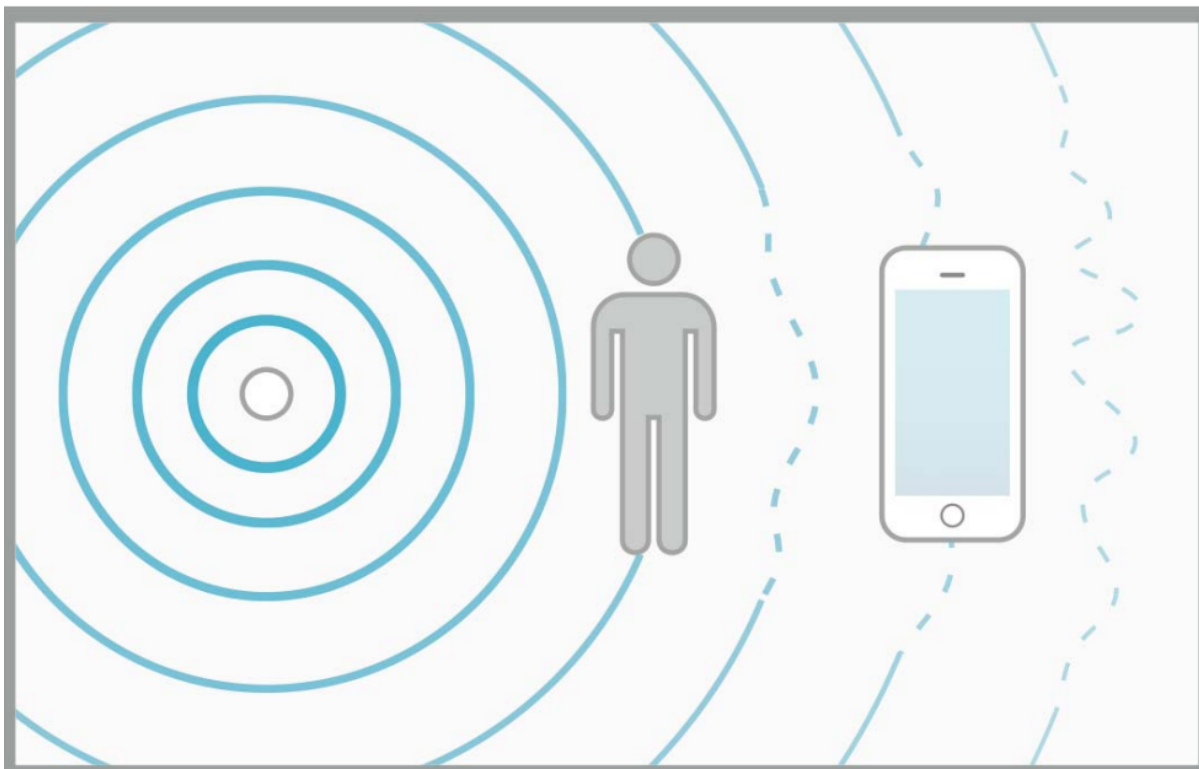


Рис. 6. Поширення сигналу з людським бар'єром [25].

Існує багато досліджень, присвячених демпфіруванню та поглинанню радіочастотних сигналів. Apple провела деякі дослідження щодо відбиття радіочастот і поглинання перешкод на частоті 2,4 ГГц. Результати показані на рис 7.

Type of Barrier	Interference Potential
Wood	Low
Synthetic material	Low
Glass	Low
Water	Medium
Bricks	Medium
Marble	Medium
Plaster	High
Concrete	High
Bulletproof glass	High
Metal	Very high

Рис. 7. Відбиття радіочастот і перешкоди, що поглинають [28].

Це показує, що метал має дуже високий потенціал перешкод, тоді як вода має середній потенціал. Щоб перевірити ці результати, ми використали iBeacon від Gimbal та iPhone 5. Відстань між iBeacon та iPhone становила 0,10 метра. Розрахована відстань без об'єкта між iBeacon та iPhone становила 0,10 метра. При шарі води 0,04 метра між обома розрахункові відстані становили 0,49 метра. Людська рука між обома веде до показання відстані в 1,50 метра, а шар металу 0,01 метра — до 2,21 метра. Результати дослідження Apple можуть бути підтверджені.

Висновки

iBeacons — це безпосередні пристрої, і для виявлення регіонів вони працюють дуже добре. Для обчислення відстаней потрібні кращі технології для підвищення їх точності. Наприклад, якщо мова йде про положення в приміщенні, то можна підвищити точність за допомогою

додавання іншої інформації, наприклад, від датчика руху для відстеження зроблених кроків.

РОЗДІЛ 4. Локалізація в приміщенні та відстеження на основі інерційного датчика смартфона з корекціями iBeacon

Серед усіх можливих рішень підхід на основі інерційного датчика для смартфона є легким і вимагає менше ресурсів. Однак без будь-яких виправлень він страждає від проблеми дрейфу. Крім того, цей підхід вимагає ручного визначення початкових точок, що робить його непрактичним, особливо коли користувачі переходять на нове місце. Для забезпечення надійної та точної системи локалізації та відстеження потрібно використати додаткові методи, поєднання PDR з GPS для підвищення точності локалізації та побудування моделі нейронної мережі для оцінки довжини кроку.

Портативні ультразвукові датчики діапазону вимірювали відстань між пішоходом і сусідніми стінами, що усуває недійсні частинки для підвищення точності локалізації підходу PDR. У даній системі користувачі повинні носити додаткові пристрої, тобто датчики ультразвукового діапазону. Портативні ультразвукові датчики діапазону вимірювали відстань між пішоходом і сусідніми стінами, що усуває недійсні частинки для підвищення точності локалізації підходу PDR. Експериментальні результати продемонстрували ефективність запропонованого підходу щодо зменшення дрейфу PDR. Однак потрібні додаткові передавачі та приймачі RFID.

4.1. Підхід та оцінка параметрів PDR, аналіз вимірювань iBeacon

У цьому розділі проаналізовано деякі важливі параметри підходу PDR. Потім буде представлено підхід до калібрування на основі iBeacon та нова стратегія ініціалізації.

У підході PDR поточне положення визначається попереднім положенням, поточною довжиною ходьби та напрямком ходьби і може бути виражено як

$$S_{k+1} = S_k + L_k \cos \theta_k$$

де S_k є 2D координата пішохода, L_k – довжина ходьби і θ_k – це напрямок ходьби за кроком часу k . Необхідно вирішити деякі критичні проблеми, такі як визначення кроку, оцінка довжини ходьби та оцінка напрямку ходьби. 1) Виявлення кроків: Оскільки під час ходьби ноги вдаряються об землю, сигнал вертикального прискорення буде містити періодичні шаблони, які можна застосувати для виявлення кроків. Щоб подолати ефект нахилу та отримати постійні значення вертикального прискорення, нам потрібно перенести вихідне прискорення з системи координат смартфона (SCS) у фіксовану опорну систему, тобто систему координат Землі (ECS). Ми використовуємо кватерніон, тобто чотириелементний вектор, щоб представити будь-який поворот у тривимірній системі координат. Згідно з програмним датчиком, тобто датчик вектора обертання, забезпечуватиме кватерніони в режимі реального часу, що посилаються на ECS. На основі матриця обертання, R , можна обчислити за допомогою кватерніона в реальному часі. Припустимо, що A_s і A_e є 3D прискорення в SCS і ECS відповідно, то маємо

$$A_e = R A_s$$

Таким чином ми можемо отримати узгоджений 3D прискорення в ECS незалежно від орієнтації пристрою. Оскільки отримане вертикальне прискорення містить силу тяжіння, нам потрібно її усунути. Завдяки стабільності сили тяжіння ми використовуємо фільтр низьких частот, щоб спочатку отримати силу тяжіння, а потім використовуємо вертикальне прискорення для віднімання сили тяжіння, яке можна виразити як

$$G = \alpha G + (1 - \alpha) A_e$$

$$L = A_e - G$$

де Γ це сила тяжіння, α – параметр фільтра нижніх частот, і L – необхідне лінійне прискорення. Через обмежену якість датчиків смартфона виходи датчиків дуже шумні. Виконуємо операцію згладжування, щоб зменшити ефект шуму. Припустимо, що $\{a_k, k = 1, 2, \dots, N\}$ – часовий ряд вертикального прискорення, і N – загальна довжина даних, m -го порядку згладжене прискорення, \hat{a}_k , можна виразити як

$$\hat{a}_k = \frac{\sum_{j=k}^{k+m-1} a_j}{M}$$

На рис. 1 показаний простий приклад згладжування вертикального прискорення, де ϵ частота дискретизації 20Гц. Після згладжування більшість високочастотного шуму видаляється, що зробить процес визначення кроків більш точним і надійним. Один з найпопулярніших методів виявлення кроків заснований на виявленні піків, але на нього легко вплине шум. У цій статті ми представляємо простий і ефективний на основі порогових значень

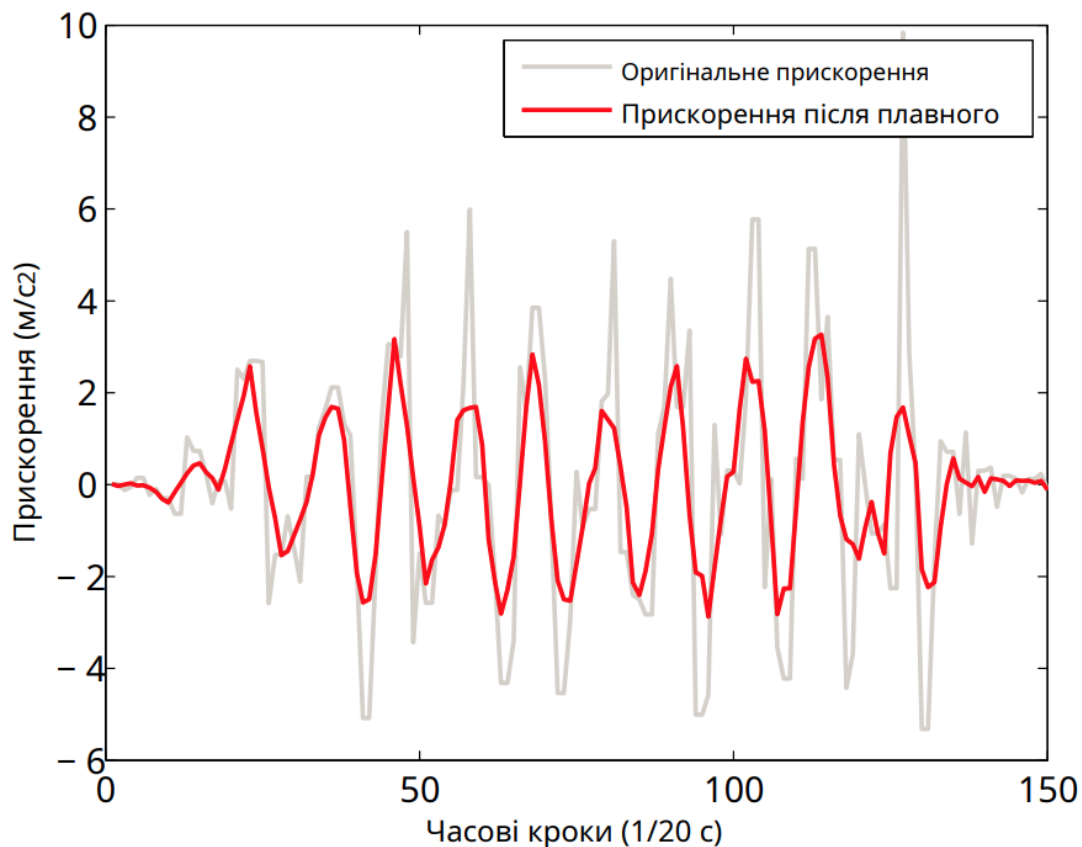
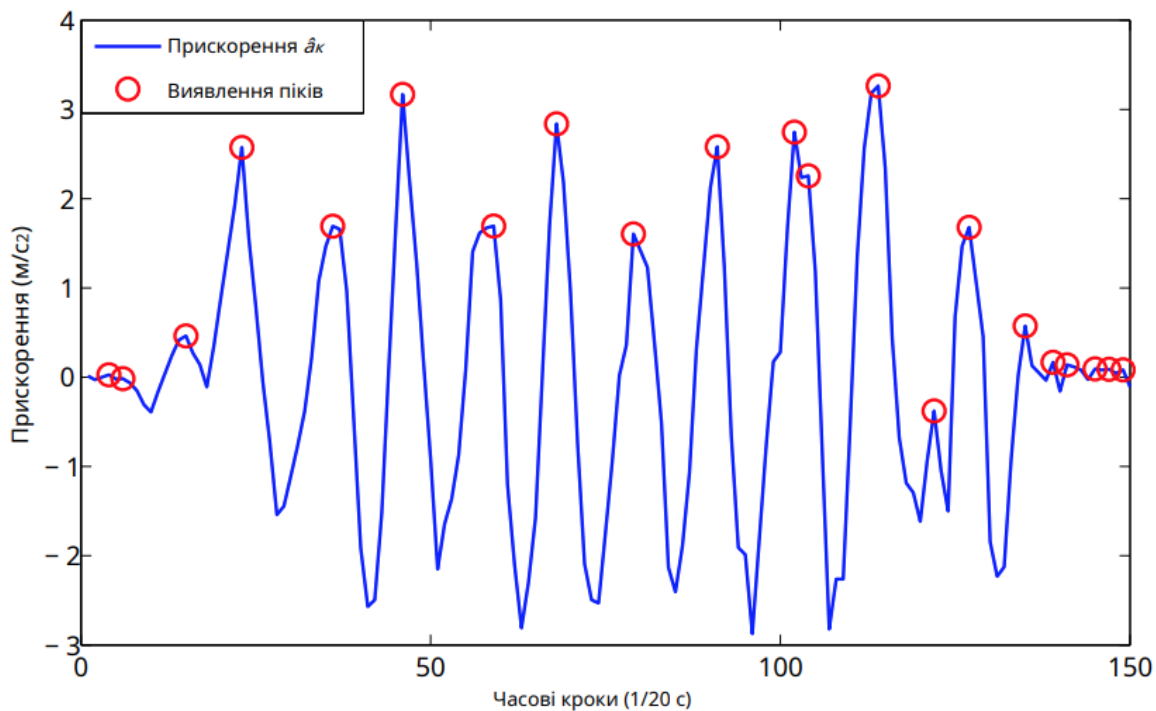


Рис. 1. Приклад згладжування прискорення.

алгоритм визначення кроків. Набір дійсних подій кроків для запропонованого підходу виглядає наступним чином:

$$\{\hat{a}_k > a^+, \hat{a}_{k+c} < a^-, 0 < p < p_{\text{макс}}\}$$

де a^+ і a^- – позитивний і негативний пороги відповідно, і $p_{\text{макс}}$ – це верхня межа тривалості одного кроку. У цій роботі ми встановили a^+ , a^- і $p_{\text{макс}}$ як $1.0PC^2$, $-0.8PC^2$ і 12 (відповідна $12 \cdot 1/20c = 0.6c$), відповідно. На рис. 2 порівнюється виявлення піків із запропонованими пороговими алгоритмами на прикладі з 10 кроків. Очевидно, що запропонований підхід є більш надійним.



(a) Алгоритм виявлення піків

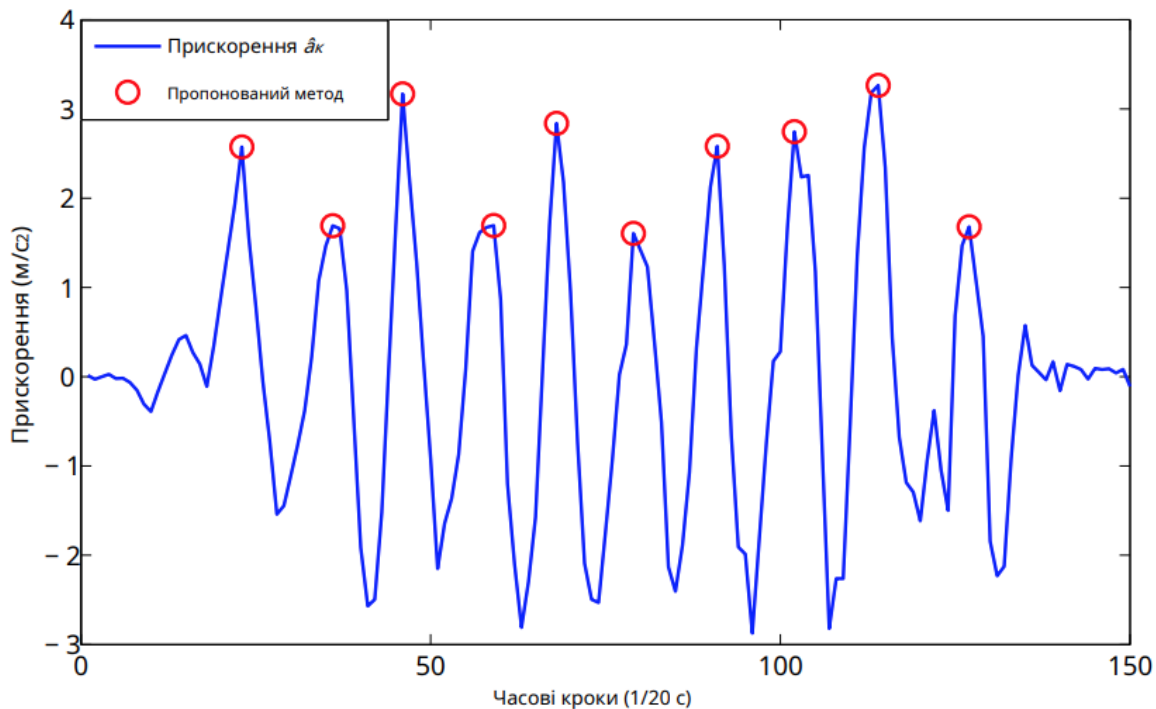


Рис. 2. Виявлення кроків на основі (а) алгоритму виявлення піків

2) Оцінка довжини ходьби: Одним з найбільш впливових параметрів підходу PDR є довжина ходьби. Він має великі розбіжності між різними предметами. Навіть для одного і того ж предмета вона значно різниться в різний час під час ходьби. Автори в представили постійну довжину ходьби для різних режимів діяльності, наприклад, ходьба чи біг. Інша робота в оцінювала довжину ходьби на основі зросту пішохода. Ці підходи не враховували варіації довжини ходьби під час ходьби. Один складний підхід можна знайти в, де автор побудував залежність між довжиною ходьби та вертикальним прискоренням, яка визначається як

$$L = \beta(\hat{a}_{\max} - \hat{a}_{\min})$$

де \hat{a}_{\max} і \hat{a}_{\min} – максимальне та мінімальне згладжене вертикальне прискорення за один крок відповідно, та β це параметр, який потрібно вказати для різних предметів. Ми використовуємо цей підхід у запропонованій нами системі для оцінки довжини ходьби. Зауважте, що, оскільки ми перенесли прискорення в ECS, нахил смартфонів під час ходьби не матиме впливу на цей алгоритм оцінки довжини ходьби. – 6 0 50

Часові кроки (1/20 с) 100 150 Рис. 1. Приклад згладжування прискорення. 4

Прискорення \hat{a}_k Виявлення піків 3 3) Оцінка напрямку ходьби: Найбільш прямий спосіб оцінити напрямок ходьби заснований на показаннях магнітометра. Однак вони можуть бути легко спотворені металевими та електронними пристроями в приміщенні. Альтернативний спосіб оцінки напрямку ходьби заснований на інтеграції показань гіроскопа, тобто кутових швидкостей. Через шум датчика в гіроскопі смартфона інтеграція буде повільно дрейфувати. У цій статті ми об'єднаємо ці два підходи разом за допомогою фільтра Калмана, який є обчислювально ефективним. Ми припускаємо, що користувачі будуть спрямовувати свої смартфони в напрямку руху в портативному режимі, але нахил смартфонів не матиме ефекту через перетворення координат. Відповідні функції переходу стану та спостереження виражаються як

$$\theta_t = \theta_{t-1} + \Delta t + \mu$$

$$M_t = \theta_t + \phi$$

де θ_t це напрямок ходьби, V_t – вертикальний гіроскоп в ECS після перетворення координат, M_t є вказівкою напрямок, отриманий з виходів магнітометра, Δt це інтервал часу, μ передбачається, що слідує за гаусовою помилкою з нульовим середнім значенням і дисперсією P , і ϕ_t передбачається, що слідує за помилкою Гаусса з нульовим середнім значенням і дисперсією Q .

Для оцінки ефективності цього підходу злиття було проведено кілька простих тестів. Ми закріпили маршрут трьома 90 градусні повороти. Експерименти повторювали 9 разів за допомогою смартфона Google Nexus 5. На рис. 3 показані результати експерименту. Оскільки попередні знання про початковий курс недоступні, ми вибираємо початкове показання магнітометра як початкове значення для інтеграції гіроскопа та підходів термоядерного синтезу. Тому на початку з низьким дрейфом інтеграції гіроскопа продуктивність трьох підходів дуже схожа. Після двох обертів підхід, заснований на гіроскопі, починає дрейфувати, і алгоритм з'єднання перевершує два окремі методи за надійністю та точністю. Зауважте, що точний час повороту різний для різних маршрутів, тому криві зміщуються вперед або назад випадковим чином. І час повороту основного шляху істини вибирається як середнє з усіх пробігів.

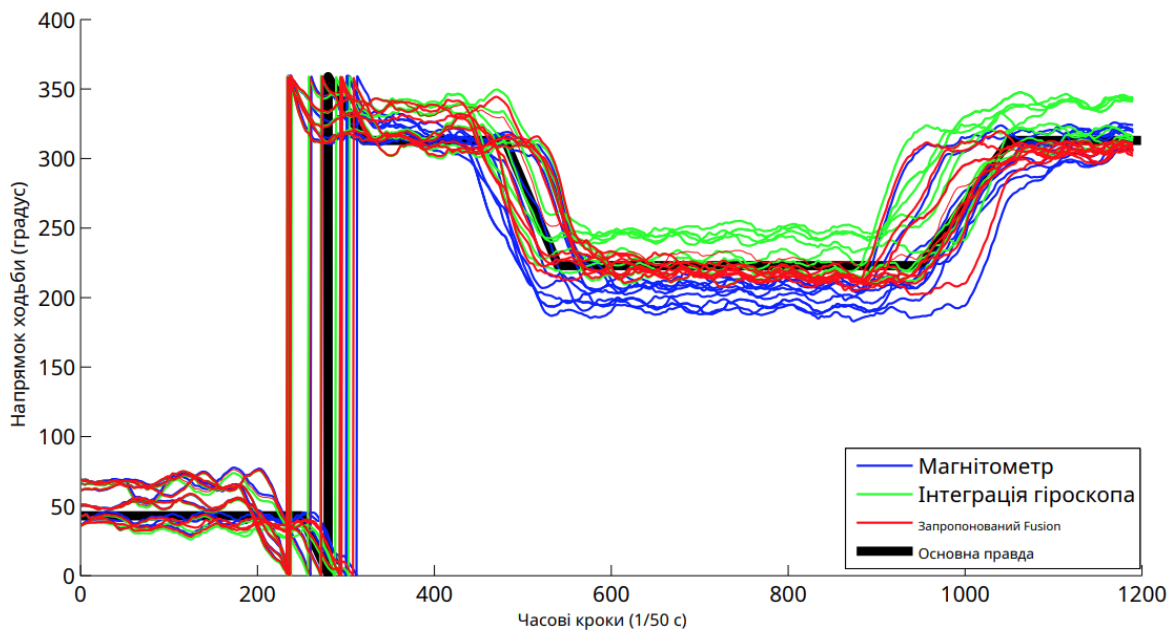


Рис. 3. Результати тесту оцінки напрямку ходьби.

4.1.2. Вимірювання iBeacon

Відповідно до рівняння (1), у підході PDR використовується лише відносна інформація. Тому будуть накопичуватися помилки, що призводять до заносу з пішохідною дистанцією. У цій статті ми застосовуємо нову технологію, тобто iBeacon, яка побудована на BLE. Порівняно з Wi-Fi, він набагато більш енергоефективний. Оскільки локалізація виконується на платформі портативного смартфона, споживання енергії викликає велике занепокоєння. Сканування пристроїв BLE вимагає набагато менше енергії, ніж сканування маршрутизаторів Wi-Fi, що робить iBeacon більш придатним для нашої програми. Завдяки низькому енергоспоживанню BLE кнопковий елемент може підтримувати iBeacon більше одного року. Таким чином, iBeacon може бути дуже малим і легким у розгортанні. Пакет iBeacon містить унікальний ідентифікатор, еталонний RSS на відстані одного метра та RSS між iBeacon і пристроєм. Різні підходи, такі як відбитки пальців, триангуляція та зважена втрата проходу, можуть бути

застосовані для локалізації на основі iBeacon, але потрібне щільне розгортання iBeacons. Тому вартість розгортання буде високою, що не підходить для промислового застосування. У цій статті ми намагаємося розробити недорогу та високоефективну систему локалізації та навігації. Таким чином, рекомендовано невелике розгортання iBeacons. Замість того, щоб використовувати iBeacons для точної локалізації, ми використовуємо їх для калібрування підходу PDR оскільки тільки з вимірюванням відстані. На основі поширення сигналу Bluetooth відстань між пристроєм і iBeacon може бути отримана за допомогою моделі втрат на шляху, яка може бути виражена як

$$P_{як} = P_0 - 10\gamma \log_{10}(d_{як}/d_0)$$

де $P_{як}$ значення на відстані одного метра, γ - показник втрати шляху, $d_{як}$ - відстань між пристроєм і я-й iBeacon, і d_0 т є RSS я-й iBeacon, P_0 є посиленням на RSS т дорівнює одному метру. Тоді відстань, $d_{як}$ т, можна отримати як

$$d_{як} = 10^{\frac{P_0 - P_i}{10\gamma}} \cdot d_0$$

Щоб визначити параметри, P_0 і γ , ми вибрали 14 орієнтири (0.1, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6 і 6.5 метрів) ай зібрано 500 значення RSS у кожній точці. Параметр P_0 дорівнює середньому значенню RSS на відстані одного метра. І параметр γ можна визначити за допомогою методу найменших квадратів. У нашому експерименті остаточні розрахункові значення P_0 і γ є -77.39 і 2.1529 , відповідно. На рис. 4 показані вимірювання RSS в опорних точках, відповідні середні значення RSS у кожній контрольній точці та крива моделі найменших квадратів. Ми можемо виявити, що модель найменших квадратів дуже добре відповідає даним. Інше спостереження полягає в тому, що відмінності значень RSS після 3 метрів незначні. Так як вимірювання RSS iBeacons

використовуються для калібрування дрейфу підходу PDR, необхідні точні вимірювання. Тдля цього, ми визначаємо, що калібрування за допомогою вимірювань iBeacon буде виконуватися лише тоді, коли оцінена відстань b між пристроєм і iBeacon дорівнює або менше ніж 3 метрів.

Рис. 4. Вимірювання RSS на 14 контрольні точки, середні значення RSS у кожній точці та крива найменших квадратів.

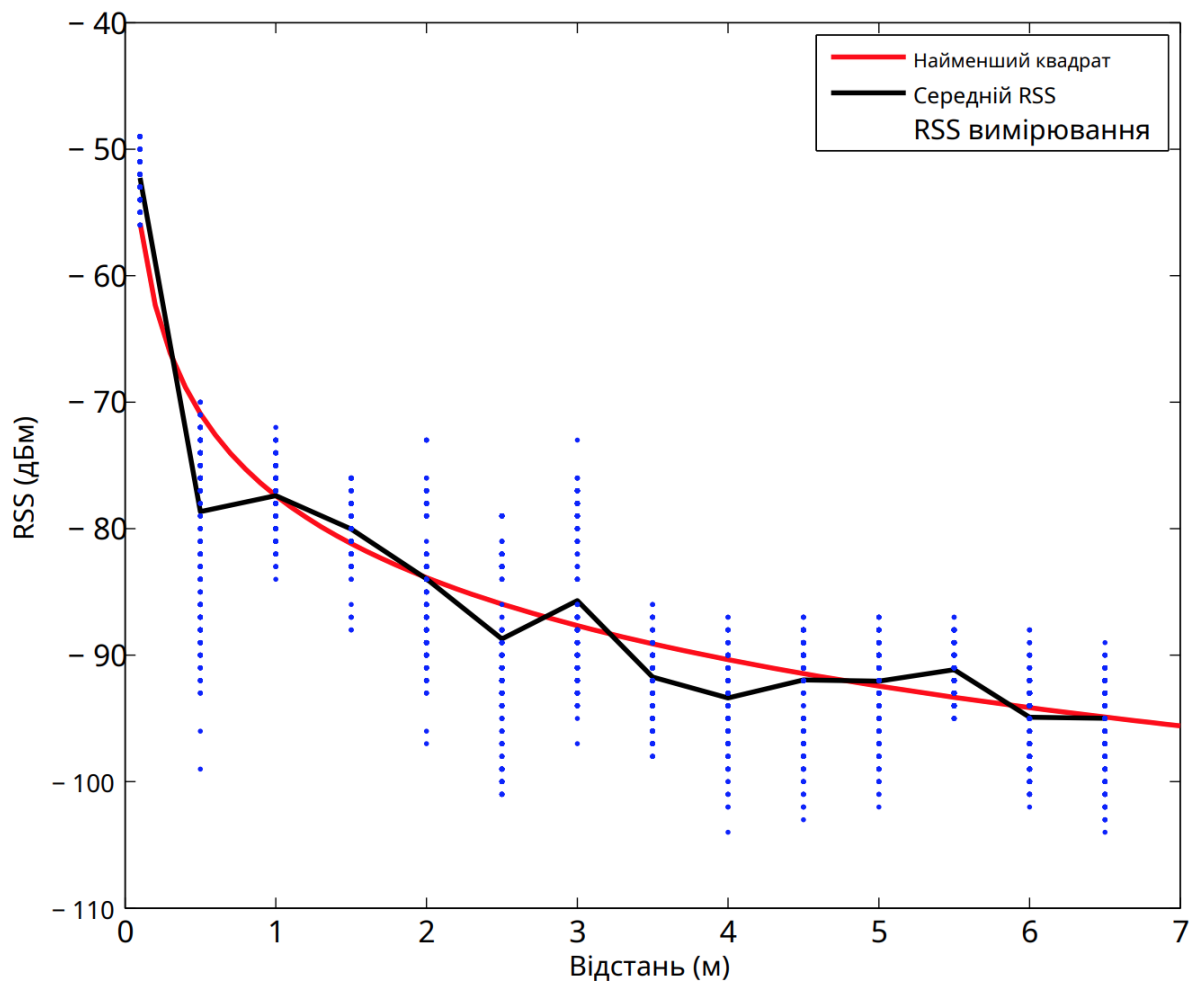


Рис. 4. Вимірювання RSS.

4.1.2. Алгоритм злиття

Підхід PDR простий та ефективний, але він буде дрейфувати з ходою ходьби. З рідкісним розгортанням iBeacon ми намагаємося час від часу

калібрувати підхід PDR за допомогою вимірювань iBeacon. На основі підходу PDR сформулюємо динаміку системи як

$$S_{k+1} = S_k + u_k + w$$

де $u_k = L_k \cos \theta_k$ гріх θ_k , і w слідує нормальному розподілу з нульовим середнім значенням і дисперсією P . На основі RSS між пристроєм і iBeacon відстань між ними можна визначити за допомогою рівняння (11). Тоді модель спостереження можна сформулювати так

$$z_{k+1} = \|S_{k+1} - S_j\| + v$$

де z_{k+1} – передбачувана відстань між пристроєм і iBeacon, S_j є місцем розташування j -ї iBeacon, $\|\cdot\|$ є евклідовою нормою, і v слідує нормальному розподілу з нульовим середнім значенням і дисперсією Γ . Оскільки функція спостереження нелінійна, традиційний фільтр Калмана не можна застосувати. Фільтр частинок є хорошим кандидатом, але через його високу комputatіпри завантаженні, він не підходить для смартфона з обмеженим ресурсом платформа. У цій статті ми використовуємо розширений фільтр Калмана, який набагато ефективніше обчислювального, ніж фільтр частинок. Оскільки функція спостереження нелінійна, нам потрібно обчислити її якобіан matrix. Припустимо, що

$$S_{k+1} - S_j // = f(S_{k+1} - S_j), S_{k+1} = x_{k+1} \quad u_{k+1} \text{ можна}$$

обчислити як

$$\mathbf{F}_{k+1} = \left. \frac{\partial f}{\partial \mathbf{S}} \right|_{\mathbf{S}_{k+1|k}} = \begin{bmatrix} \frac{x_{k+1|k} - x^i}{f(\mathbf{S}_{k+1|k} - \mathbf{S}^i)} & \frac{y_{k+1|k} - y^i}{f(\mathbf{S}_{k+1|k} - \mathbf{S}^i)} \end{bmatrix}$$

Розширений фільтр Калмана містить дві фази, показані нижче:

Прогнозування:

$$S_{k+1|k} = S_k + u_k$$

$$P_{k+1|k} = P_k + R$$

Оновлення:

$$\begin{aligned} \mathbf{K}_{k+1} &= \mathbf{P}_{k+1|k} \mathbf{F}_{k+1}^T (\mathbf{F}_{k+1} \mathbf{P}_{k+1|k} \mathbf{F}_{k+1}^T + G)^{-1} \\ \mathbf{S}_{k+1} &= \mathbf{S}_{k+1|k} + \mathbf{K}_{k+1} (z_{k+1} - f(\mathbf{S}_{k+1|k} - \mathbf{S}^i)) \\ \mathbf{P}_{k+1} &= (\mathbf{I} - \mathbf{K}_{k+1} \mathbf{F}_{k+1}) \mathbf{P}_{k+1|k} \end{aligned}$$

де P є коваріація оцінки, K є вираш Калмана, i я є тотожною матрицею.

У більшості випадків iBeacons кріпляться на стінах. У цій ситуації очікується, що сигнали iBeacon на іншій стороні стіни будуть дуже слабкими. Після того, як передбачувана відстань між iBeacon та пристроєм знаходиться в діапазоні калібрування (дорівнює або менше ніж 3м), ми можемо переконатися, що пішохід знаходиться з того боку, де прикріплений iBeacon. Ми можемо додати це просте обмеження в алгоритм злиття. Якщо вихідна позиція алгоритму злиття знаходиться на недійсній стороні iBeacon, ми можемо віддзеркалити позицію на дійсну сторону. Це схоже на операцію, яка вбиває частинки, що перетинають стінку у фільтрі часток

4.1.3. Оцінка початкової позиції

Непрактично вважати, що початкове положення відоме. Запропоновано різні методи оцінки початкового положення. Еррінгтон та ін. представили рішення методом найменших квадратів для оцінки початкового положення за допомогою RFID. Їхня система потребує додаткових пристроїв, тобто приймачів та зчитувачів RFID. Вудман та ін. представили на основі WiFi оцінку початкового положення для інерційного відстеження пішоходів. WiFi RSS надав попередні знання ваги часток в

алгоритмі фільтра часток. Це збільшить швидкість збіжності їхнього підходу зіставлення карт. Через слабе розгортання існуючих інфраструктур Wi-Fi у внутрішніх приміщеннях точність підходу на основі Wi-Fi обмежена. У цій статті ми представляємо схему початкової оцінки положення з використанням існуючих маршрутизаторів Wi-Fi та iBeacons. Одним із можливих підходів є відбиток пальців, який створює базу даних відбитків пальців, а потім виконує локалізацію відповідно до бази даних. Цей підхід вимагає трудомісткого процесу збору даних. Коли додається новий маршрутизатор Wi-Fi або iBeacon, або змінюються деякі засоби, підхід до відбитків пальців повинен повторно зібрати всі дані. Більш ефективним і практичним рішенням є алгоритм WPL на основі моделі. Оскільки механізми Wi-Fi і iBeacon відрізняються, RSS Wi-Fi та iBeacon не можна порівняти. Щоб вирішити цю гетерогенну проблему, ми переносимо RSS на відстані за допомогою рівняння з різними параметрами для Wi-Fi та iBeacon. Потім можна використовувати алгоритм WPL, використовуючи відстані. Деталі розробляються наступним чином: На основі рівняння відстань між пристроєм і j -th iBeacon на крок за часом k , для k , можна розрахувати

$$w_k^i = \frac{\frac{1}{d_k^i}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_k^i} + \sum_{j=1}^M \frac{1}{D_k^j}}$$

$$W_k^j = \frac{\frac{1}{D_k^j}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_k^i} + \sum_{j=1}^M \frac{1}{D_k^j}}$$

Потім місце розташування пристрою (a_k, b_k) можна розрахувати як

$$(a_k, b_k) = \sum_{i=1}^N w_k^i (a^i, b^i) + \sum_{j=1}^M W_k^j (A^j, B^j)$$

Враховуючи, що наша система працює на платформі смартфона з обмеженими ресурсами, алгоритм WPL є простішим та ефективнішим у порівнянні з підходом відбитків пальців. Оскільки існуючі інфраструктури WiFi та встановлені iBeacons розповсюджені рідко, підхід, який базується лише на WiFi або iBeacons, може не вирішити проблему локалізації або матиме низьку точність. Наша запропонована схема використовує всі ресурси середовища, включаючи маршрутизатори WiFi та iBeacons. Щоб вирішити неоднорідну проблему різних засобів, тобто маршрутизаторів WiFi та iBeacons, ми передаємо RSS на відстані, а потім виконуємо алгоритм WPL для визначення місцезнаходження пристрою.

4.2. Програмна реалізація

Після аналізу та вивчення даної теми, для практичної реалізації, була вибрана розробка мобільного додатку, який допомагає розблокувати двері в приміщенні за допомогою датчиків iBeacon, основні задачі додатку:

1. користувач повинен мати можливість розблокувати двері ззовні за допомогою програми
2. двері повинні мати можливість розблокувати, коли користувач перебуває в певному регіоні від iBeacon
3. двері повинні мати можливість відмикатися, коли користувач перебуває в певному регіоні на основі GPS
4. програма ініціює локальне сповіщення, коли користувач наближається до дверей, а програма працює у фоновому режимі

Сценарій використання цього додатку повинен бути таким:

Розблокувати двері – користувач підходить до замкнених дверей ззовні. Для iBeacon і GPS, якщо програма працює у фоновому режимі, запускається локальне сповіщення. У сповіщенні запитується, чи хоче користувач відімкнути двері, або переходить до програми, де надається

можливість розблокувати двері. Якщо програма активна, вибір розблокування дверей стає доступним у призначеному вікні для розблокування дверей. Для QR-коду сповіщення немає, оскільки немає можливості дізнатися, чи підходить користувач до дверей. Замість екрану з можливістю розблокування дверей є екран із QR-сканером, який дозволяє користувачеві сканувати QR-код. Коли код сканується, двері розблоковуються.

Мобільний додаток буде створено на базі React Native. Для прискорення процесу розробки та початкового налаштування буде використаний стартовий набір Ignite. Це популярний шаблон для створення програм за допомогою React Native. Він використовує багато поширених бібліотек, таких як Redux. Він містить передові методи та приклади компонентів і контейнерів. Ignite використовуватиметься для нової програми, щоб надати їй початкову структуру з найкращими практиками. Надлишковий код, який не використовується, буде видалено. Redux — це контейнер стану для програм JavaScript. Це популярна бібліотека для обробки стану в програмах React і React Native. Він буде використаний для цієї мети.

В даному додатку не буде реалізовано сам механізм розблокування дверей, але передбачається використання готових API інструментів які передбачають це на рис. 5 показано, як буде налаштована система.

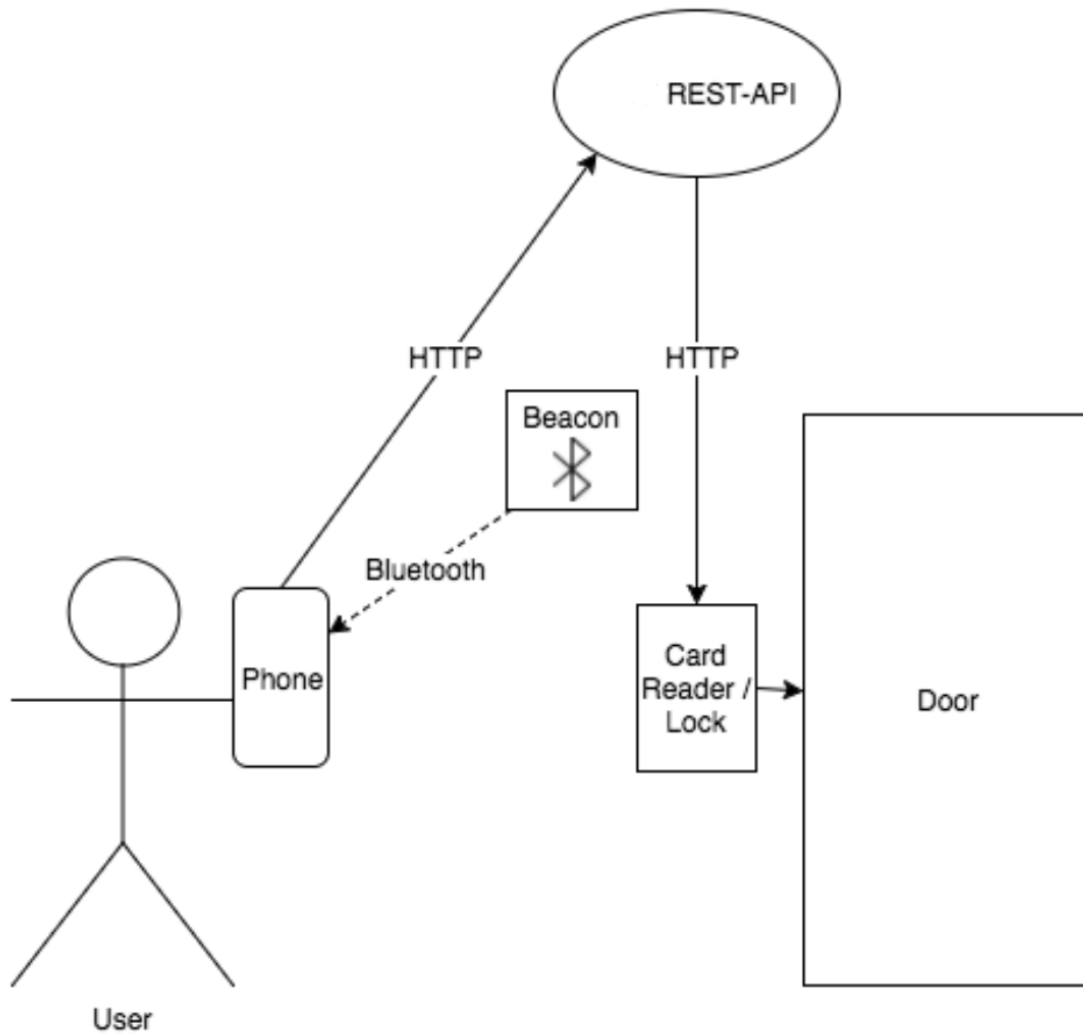


рис 5. Налаштування системи версії системи iBeacon

Користувач підходить до дверей з телефоном із запущеною програмою або у фоновому режимі. Коли телефон знаходиться в межах певної області маяка, двері можна розблокувати. Якщо програма працює у фоновому режимі, користувач отримує локальне сповіщення з дією, щоб розблокувати двері безпосередньо в програмі, або з можливістю відкрити програму. Коли користувач вирішує розблокувати двері, HTTP запит на публікацію надсилається до REST-API із проханням розблокувати двері. Звідти на відповідний пристрій зчитування карта/замок надсилається запит

на розблокування дверей. На рис. 6 блок-схема описує основний потік програми

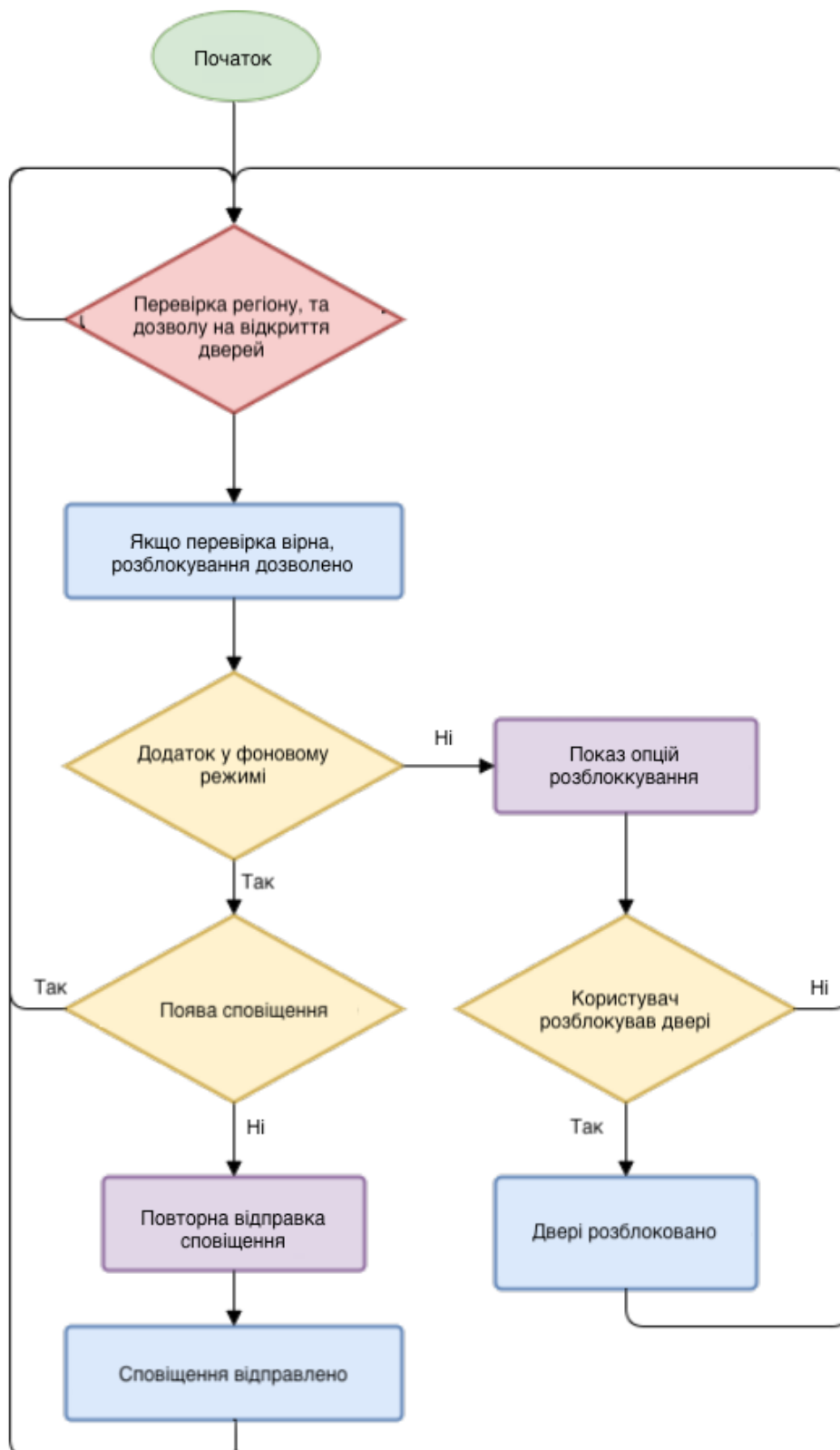


рис 6. Блок-схема, що описує програму

Спочатку перевіряється, чи перебуває користувач у потрібному регіоні, чи користувачеві дозволено відімкнути двері, а не всередині будівлі. Якщо так, то розблокувати ДверіДозволено для стану встановлено значення true, щоб користувач міг розблокувати двері. Для цього встановлено значення true з тайм-аутом. Це пов'язано з невизначеністю регіону, про який говорилося раніше. Якщо користувач перебуває в регіоні, а програма працює у фоновому режимі, сповіщення ініціюється. Він спрацює лише в тому випадку, якщо його ще не було запущено. Коли сповіщення ініціюється, стан, що називається triggeredNotification, має значення true для обробки цього. Він встановлюється з тайм-аутом, щоб дозволити сповіщення знову запускатися через певний час, як пояснювалося раніше. Якщо програма активна, буде показано варіант розблокування дверей. Якщо користувач вирішив розблокувати двері, для стану isInside встановлено значення true. Це не дозволить користувачеві відмикати двері протягом певного встановленого часу. Усі ці таймери та стани також потрібно буде скинути, коли користувач вирішить перейти до екрана, що стосується розблокування дверей. Таким чином ми можемо уникнути блокування користувача, якщо користувач не ввійде в будівлю під час першого відмикання дверей.

Користувач повинен мати можливість розблокувати двері, коли наближається до розміщеного пристрою iBeacon за дверима закладу. Якщо програма працює у фоновому режимі, потрібно натиснути локальне сповіщення, яке запитує, чи хоче користувач розблокувати двері.

Існує кілька різних виробників маяків. Деякі з них – Estimote, Kontakt або Sensoro. Маяки, що використовуються в цій дипломній роботі, є маяками близькості Estimote, які можна побачити на рис. 7.



рис 7. Маяк Estimote

Оцінки підтримують протокол iBeacon, мають радіус дії 70 метрів і термін служби батареї приблизно 2 роки. Маяк Estimote — це насправді невеликий комп'ютер із 32-розрядним процесором Arm Cortex. Він має вбудований акселерометр і датчик температури, а головне — радіоприймач 2,4 ГГц, який використовує низький рівень енергії Bluetooth. Маяки Estimote постачаються разом із доступом до їхньої хмарної служби, яка разом із програмою Estimote дає змогу налаштувати свої маяки. Маючи маяки в діапазоні, ви можете налаштувати свої маяки за допомогою програми. Це дозволяє змінюватися наприклад, ідентифікатори та потужність передачі. Ви також можете отримати інформацію, наприклад, про рівень заряду акумулятора.

Існують різні аспекти, які слід враховувати, вибираючи використання моніторингу або визначення дальності. Ці аспекти розглянуті в теоретичному розділі. Перевага використання моніторингу полягає в тому, що маяки можна виявити, навіть якщо програму призупинено або втрачено. Це дозволить нам натиснути сповіщення із запитом, чи хоче користувач розблокувати двері. Недоліком є те, що моніторинг не настільки чутливий, як визначення діапазону. Може бути затримка на кілька хвилин, і це не відповідає вимогам. Через цей недолік вибраний підхід є діапазоном. За допомогою визначення діапазону ви все одно можете натиснути сповіщення, коли програма працює у фоновому режимі. Ми також можемо припустити, що користувач буде активувати програму, коли наближається до дверей більшу частину часу. Дальність також набагато чуйніше, ніж моніторинг. Використання діапазону також є більш природним, оскільки це дозволяє нам взаємодіяти з окремими маяками. За допомогою моніторингу цільове використання полягає у визначенні регіону, що складається з кількох маяків.

На GitHub є кілька бібліотек з відкритим кодом, які можна використовувати для виявлення маяків. Для цього проекту обрано бібліотеку `react-native-beaconsmanager`. Ця бібліотека спрямована на підтримку визначення діапазону та моніторингу маяків для пристроїв Android і iOS. У цій реалізації ми розглядатимемо лише пристрої Android. Діапазон маяків реалізовано в окремому обробнику з назвою `BeaconHandler`. Файл конфігурації використовується для зберігання UUID маяка та радіусу області, де двері мають бути дозволені для розблокування. У бібліотеці є функція, яка може бути використана для початку визначення діапазону маяків. Нище наведено приклад цього коду.

```
export function startRangingBeacons() {  
  Beacons.detectEstimates();
```

```
Beacons.startRangingBeaconsInRegion('BRP_SYSTEMS_REGION', beaconUUID)
  .then(() => {
    console.log('Beacons ranging started');
  })
  .catch(error => {
    console.log(`Beacons ranging not started, error: ${error}`);
  });
}
```

Подія `beaconsDidRange` реєструється шляхом додавання слухача до `DeviceEventEmitter`. У цей прослуховувач ми додаємо логіку дозволу розблокувати двері, коли користувач перебуває в зоні дії маяка. Ми також додаємо логіку для `push` повідомлення, якщо програма працює у фоновому режимі.

```
export function addBeaconsListener() {
  this.beaconsDidRange = DeviceEventEmmitter.addListener(
    'beaconsDidRange',
    (data) => {
      let state = store.getState();
      if(data.beacons.length){
        let element = data.beacons[0];
        if(element.distance < beaconRegionDistance && !state.door.isInside) {
          setUnlockDoorAllowed(element.major);
          if(AppState.currentState === 'background' && !state.door.triggeredNotification) {
            PushNotification.localNotification({
              message: 'Open door?',
              actions: ["Yes", "No"]
            });
            store.dispatch(DoorActions.triggeredNotification(true));
          }
        } else if(state.door.unlockDoorAllowed.state === 2) {
```

```

        setUnlockDoorNotAllowed();
    }
} else if(state.door.unlockDoorAllowed.state === 2) {
    setUnlockDoorNotAllowed();
}
store.dispatch(BeaconsActions.beacons(data.beacons));
}
)
}

```

Звичайною практикою є встановлення однакових UUID всіх маяків у межах регіону, а потім визначення окремих маяків за їхніми основними та другорядними ідентифікаторами. У цьому випадку ми можемо бачити всі пристрої iBeacon в BRP Systems як регіон з однаковим UUID для всіх маяків. Щоб створити UUID і збільшити ймовірність того, що він дійсно унікальний, скористайтеся веб-сайтом openuuid.net¹ був використаний. При сильному генераторі випадкових UUID ймовірність створення унікального UUID близька до нуля. Перевага використання цього сайту полягає в тому, що він також уникає зіткнень з користувачами того самого генератора і що ви можете відстежувати згенеровані UUID:s. За допомогою основних і другорядних ідентифікаторів ми можемо ідентифікувати окремі маяки. Зазвичай вони вибираються унікальними для кожного окремого пристрою iBeacon. Рішення для цього може полягати в тому, щоб зберегти унікальний ідентифікатор для кожного пристрою iBeacon в базі даних і зв'язати його з дверима. Вибраний підхід — використовувати той самий ідентифікатор, що й пристрій зчитування карток. Таким чином ми можемо заощадити місце в базі даних і зменшити зв'язок між програмою та сервером. При такому підході вам потрібно буде налаштувати пристрій, щоб він мав той самий ідентифікатор, що й пристрій зчитування карт. В реалізацію ми починаємо визначати діапазон для всіх маяків у регіоні, і

коли один виявляється, ми аналізуємо основні частини, даючи нам ідентифікатор пристрою зчитування карт, щоб зробити проходження. Ми зберігаємо ідентифікатор кардрідера в основній частині, а другорядну частину залишаємо невизначеною. Оскільки більша частина може зберігати два байти, це дає нам можливість зберігати ідентифікатори від 0-65535, що знаходиться в межах діапазону кількості пристроїв зчитування карт. Зауважте, що Estimotes не дозволяє 0 як ідентифікатор. Двері відчинені від розблокувати DoorScreen. Якщо користувач знаходиться поза зоною дії маяка, його просять підійти ближче до дверей. Цю інформацію можна побачити на рис. 8.

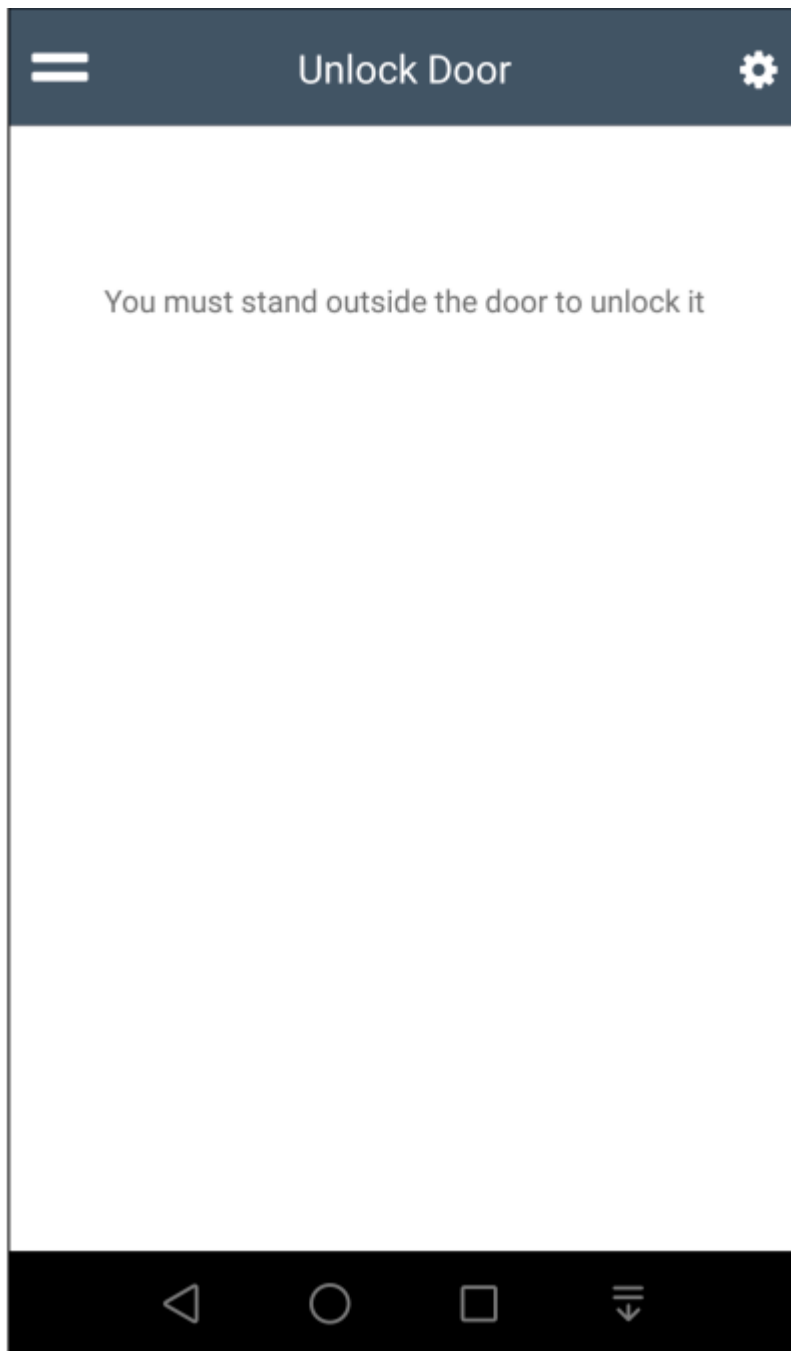


рис 8. Розблокування DoorScreen для iBeacon, коли користувач знаходиться поза зоною дії дверей

Якщо користувач знаходиться в межах досяжності, щоб відімкнути двері, з'явиться запитання та кнопка із запитанням, чи хоче користувач розблокувати двері. Це можна побачити на рис. 9

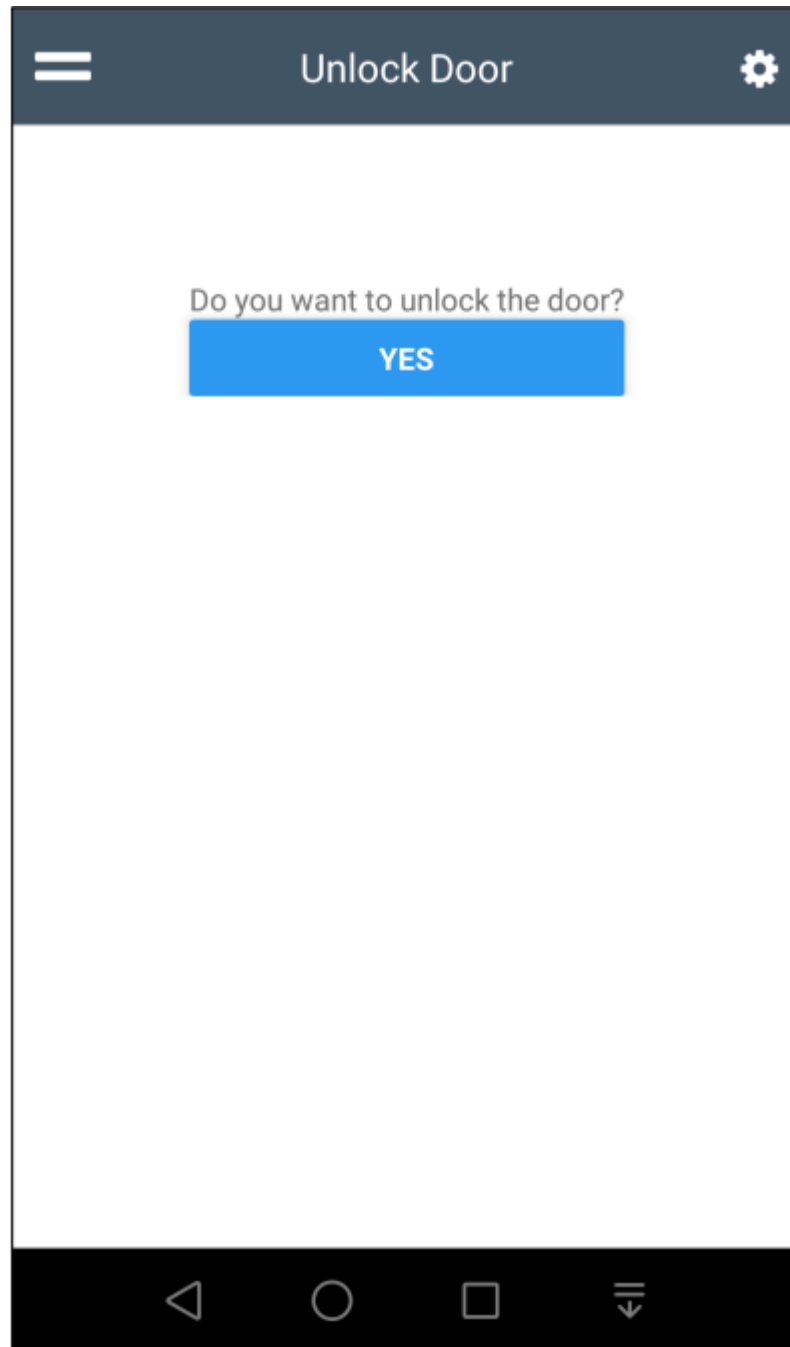


рис 9. UnlockDoorScreen, який видно, коли користувач знаходиться в межах досяжності для розблокування дверей

Двері відмикаються, зробивши а проходження для конкретного кардрідера. Ця функція реалізована вОбробник дверей. Цей обробник експортує функціюрозблокувати двері. Ця функція викликає АРІ з апроходження запит. Якщо дзвінок успішний, двері розблокуються, а стан

дверей встановлюється. Ми також встановлюємо тайм-аути для обробки станів, коли двері повинні бути в змозі бути розблоковані знову. Сповіщення також подається, коли двері відчинені. Ми також переходимо до myBookingsScreen де відображаються поточні бронювання користувача. На рис. 10 можна побачити сповіщення, яке відображається, коли двері успішно розблоковано.

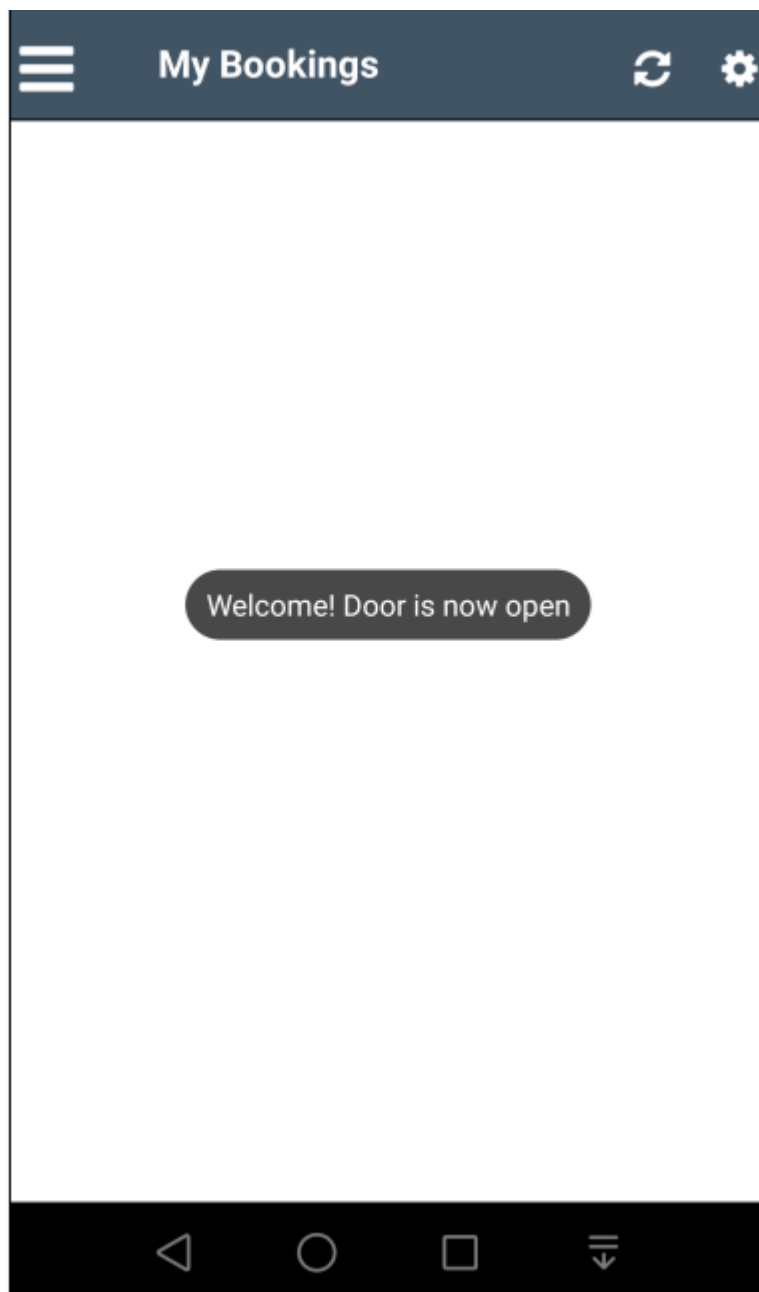


рис 10. Сповіщення, яке відображається, коли двері відчинені

Локальне сповіщення має запускатися, коли користувач наближається до дверей як для рішення iBeacon, так і для GPS. Це повідомлення реалізується за допомогою бібліотеки з відкритим кодом `react-native-push-notification`. Ця бібліотека призначена для підтримки локальних і віддалених сповіщень як для Android, так і для iOS. Усі функції обробки локальних сповіщень реалізовані в `NotificationHandler`. Дії сповіщень реєструються, коли `RootContainer` компонент змонтований. У цьому випадку ми реєструємо дії так абонемає для відмикання дверей. Повідомлення містить подію, яка реєструється шляхом додавання слухача до `DeviceEventEmitter`. Подія передає об'єкт, який містить дію. Якщо спрацьовує дія «Так», ми відмикаємо двері. Нище можна побачити функцію зареєструвати повідомлення який реєструє та обробляє дії сповіщення.

```
export function registerNotifications() {
  PushNotification.registerNotificationActions(['Yes','No']);

  this.notificationActionReceived = DeviceEventEmmitter.addListener(
    'notificationActionReceived',
    (action) => {
      const info = JSON.parse(action.dataJSON);
      if(info.action === 'Yes') {
        unlockDoor();
      }
    }
  )
}
```

Сповіщення спрацює лише тоді, коли програма працює у фоновому режимі. Це робиться шляхом імпорту `AppState` з `React Native`. На коді який нище можна побачити, як `AppState.currentState` використовується, щоб

визначити, чи працює програма у фоновому режимі. Зауважте, що сповіщення ініціює лише стан `triggeredNotification` `false` і цей стан встановлюється під час ініціювання сповіщення.

```
if(AppState.currentState === 'background' && !state.door.triggeredNotification) {
  triggeredNotification();
  store.dispatch(DoorActions.triggeredNotification(true));
}
```

Також, як можна було побачити в прикладах коду, який наведено вище, в додатку використовується `redux`, для організації внутрішньої логіки, тому для його ініціалізації потрібно прописати наступне:

```
import {createStore} from 'redux';
import rootReducer from '../reducers/index';

const store = createStore(rootReducer);
export default store;
```

Для роботи з даним `store` потрібні описати редюсери, які будуть викликатись в екшенах цього додатку, приклад такого редюсера:

```
import * as types from '../constants';
import {ReduceAction} from '../static/models/ReduceAction';

export interface Reducer {
  openDoor: boolean;
}

const initialState: Reducer = {
  openDoor: false,
};
```

```

export function reducer(state = initialState, action: ReduceAction) {
  switch (action.type) {
    case types.DOOR:
      return {openDoor: action.data};
    default:
      return state;
  }
}

```

Робота з API передбачена в екшенах, які можна буде викликати в будь якій частині апки, приклад одного із таких екшенів:

```

import {postData} from './helpers';
import {Dispatch} from 'redux';
import * as types from './constants';

```

```

export const setPeople = (data) => ({
  type: types.DOOR,
  data,
});

```

```

export const unlockDoorFetch = (dispatch: Dispatch) => {
  return new Promise(resolve => {
    postData('/unlock-door')
      .then(json => {
        resolve(json);
        dispatch(setPeople(json.data));
      })
      .catch(error => {
        console.error(error);
      });
  });
};

```

Передбачено два види реквестів post та get тому для цього було опесано невеликий хелпер, який вже використовувався у вище наведеному екшені

```
import env from '../../env';

export async function postData(url = "", data = {}) {
  const response = await fetch(env.API_HOST + url, {
    method: 'POST',
    mode: 'cors',
    headers: {
      'Content-Type': 'application/json',
      Accept: 'application/json',
    },
    body: JSON.stringify(data),
  });
  return response.json();
}

export async function getData(url = "", data = {}) {
  let params = [];

  for (let key in data) {
    params.push(key + '=' + data[key]);
  }

  const queryString = params.length ? '?' + params.join('&') : "";
  const response = await fetch(env.API_HOST + url + queryString, {
    method: 'GET',
    mode: 'cors',
    headers: {
      Accept: 'application/json',
      'Content-Type': 'application/json',
    },
  });
  return response.json();
}
```

```

    },
  });
  return response.json();
}

```

Для навігації між скрінами використовується `react-navigation/stack`

```

export default function defaultStack() {
  const style = {height: '100%'};
  return (
    <View style={style}>
      <Stack.Navigator headerMode="none">
        <Stack.Screen name="Screen1" component={Screen1} />
        <Stack.Screen name="Screen2" component={Screen2} />
        <Stack.Screen name="Screen3" component={Screen3} />
      </Stack.Navigator>
    </View>
  );
}

```

```

import React from 'react';
import {SafeAreaView, StatusBar} from 'react-native';
import store from './redux/store';
import Screens from './navigation/Screens';
import {Provider} from 'react-redux';
import {NavigationContainer} from '@react-navigation/native';
import styles from './assets/styles';

```

```

const App = () => {
  return (
    <Provider store={store}>
      <NavigationContainer>
        <SafeAreaView style={styles.safeAreaView}>

```

```

        <StatusBar barStyle="light-content" />
        <Screens />
    </SafeAreaView>
    </NavigationContainer>
  </Provider>
);
};

```

Візуалізація відбувалась окремо написаними компонентами, нище показано приклад таких компонентів, а саме Header та Button

```

import React, {FC, ReactElement, useCallback} from 'react';
import styles from '../assets/styles';
import {Image, Text, TouchableOpacity, View} from 'react-native';

```

```

interface Props {
  back?: boolean;
  title?: string;
  rightIcon?: ReactElement;
  navigation?: any;
  onPressTitle?: () => void;
}

```

```

const Header: FC<Props> = props => {
  const {
    navigation,
    onPressTitle,
  } = props;
  const renderHeaderContent = useCallback(
    (back, title, rightIcon) => (
      <>
        <View>
          {back && navigation && (

```



```

    <TouchableOpacity onPress={() => navigation.goBack()}>
      <Image source={backSource} />
    </TouchableOpacity>
  )}
</View>
<Text onPress={onPressTitle} style={styles.headerTitle}>
  {title}
</Text>
<View>{rightIcon}</View>
</>
),
[navigation, onPressTitle],
);
return (
  <
    <View style={styles.header}>
      {renderHeaderContent(props.back, props.title, props.rightIcon)}
    </View>
  </>
);
};

```

```

import React, {FC} from 'react';
import styles from '../assets/styles';
import {ViewStyle, TouchableOpacity} from 'react-native';

```

```

interface Props {
  onPress: () => void;
  style?: ViewStyle | ViewStyle[];
}

```

```

const Button: FC<Props> = props => {
  const {onPress, style, children} = props;

```

```

return (
  <TouchableOpacity style={[styles.button, style]} onPress={onPress}>
    {children}
  </TouchableOpacity>
);
};

export default Button;

```

Стилі були організовані поза межами компонентів, щоб підвищити якість та читабельність коду, один із таких файлів:

```

import {StyleSheet} from 'react-native';
import theme from '../theme';

export default StyleSheet.create({
  onboard: {
    justifyContent: 'flex-end',
  },
  onboardImage: {
    flex: 1,
    justifyContent: 'flex-end',
  },
  onboardImageGradient: {
    height: 178,
  },
  onboardContent: {
    padding: 15,
    width: '100%',
  },
  onboardDescription: {
    textAlign: 'center',
    marginBottom: 20,
  },
});

```

```

    },
    onboardEllipses: {
      marginBottom: 30,
      flexDirection: 'row',
      justifyContent: 'center',
    },
    ellipse: {
      width: 8,
      height: 8,
      borderRadius: 4,
      marginHorizontal: 4,
      backgroundColor: theme.COLORS.ELLIPSE,
    },
    activeEllipse: {
      backgroundColor: theme.COLORS.ACTIVE,
    },
  });

```

В самому кінці відбувається реєстрація даних компонентів

```

import {AppRegistry} from 'react-native';
import App from './src/App';
import {name as appName} from './app.json';

AppRegistry.registerComponent(appName, () => App);

```

Висновки

У результаті запропоновано систему локалізації в приміщенні з допомогою iBeacon з використанням вбудованих інерціальних датчиків смартфона. У підході підрахунку представлено перетворення координат та ефективну схему для виявлення кроків. Крім того, була запропонована

нова схема оцінки початкової точки шляхом поєднання існуючих маршрутизаторів WiFi та iBeacons. На основі розподілу вимірювань iBeacon визначили діапазон калібрування, де застосовується розширений фільтр Калмана. Крім того, представили зважену модель втрати проходу для визначення початкової позиції за допомогою існуючих маршрутизаторів WiFi та встановлених iBeacons. Завдяки рідкому розгортанню iBeacons, можемо значно підвищити точність локалізації. Також оцінили ефективність локалізації запропонованого підходу щодо кількості iBeacon і дійшли висновку, що оптимальну кількість iBeacon можна визначити залежно від необхідної точності локалізації.

ВИСНОВКИ

В даній дипломній роботі було досліджено та опрацьовано актуальність локалізації та відстеження активностей в приміщеннях. З результатів дослідження можна зробити висновки, що дана тема надзвичайно актуальна для суспільства, яка потрібна для різних сфер, та підходить для вирішення великої кількості задач.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Дж. Рантаккокко та ін., «Розміщення аварійного персоналу в рятувальних операціях – можливості та вразливі місця з існуючими методами та визначення потреб для майбутніх досліджень і розробок», Технічний звіт, Королівський технологічний інститут TRITA-EE 2007:036, липень 2007 р. .
- [2] <http://www.army-technology.com/projects/>
- [3] D. Last, «GPS: The Present Imperfect», InsideGNSS, С. 60-64, травень 2010 року.
- [4] П. Місра, С. Канхере, Д. Острі, С. Джа, «Системи зв'язку із забезпеченням безпеки та порятунку в умовах високого напруження: приклад з видобутку корисних копалин», Журнал IEEE Communications, квітень 2010 року.
- [5] З. Сахіноглу, С. Гезічі та І. Гувенц, Надширокопосмугові системи позиціонування: теоретичні межі, алгоритми визначення дальності та протоколи. Кембридж, Великобританія: Cambridge Univ. Преса, 2008.
- [6] П. Харроп і Р. Дас, «Системи внутрішнього розташування мобільних телефонів (IPS) та системи визначення місцезнаходження в реальному часі (RTLS) 2014-2
- [7] Д. Фокс, Дж. Хайтауер, Л. Ляо, Д. Шульц та Г. Борріелло, «Байєсівська фільтрація для оцінки розташування», IEEE Pervasive Comput., том 2, № 3, С. 24–33, лип./ вер. 2003 рік
- [8] Н. Декарлі, Ф. Гуїді та Д. Дардарі, «Нова спільна мережа RFID та радіолокаційних датчиків для пасивної локалізації: межі дизайну та

продуктивності», IEEE J. Sel. Теми Сигнальний процес., том 8, № 1. С. 80–95, лютий 2014 р.

[9] Т. С. Раппапорт, Бездротові комунікації, 1-е вид. Верхне Седдл-Рівер, Нью-Джерсі, США: Prentice Hall, Inc., 1996.

[10] Дж. М. Кастро-Арвізу, П. Клосас та Дж. А. Фернандес-Рубіо, «Нижня межа Крамера–Рао для оцінки відстані точки розриву в моделі втрат на шляху», в Proc. IEEE ICC Workshop Adv. Netw. Локалізація Navigat., Сідней, Австралія, червень 2014 р.

[11] ВТ Fang, «Прості рішення для гіперболічних та пов'язаних з ними виправлень положення», IEEE Trans. Аерокосмічний електрон. сист., том 26, № 5, с. 748–753, вересень 1990 р.

[12] П. Кулаковскі, Дж. Валес-Алонсо, Е. Егеа-Лопес, В. Людвін та Дж. Гарсія-Харо, «Локалізація кута прибуття на основі антенних решіток для бездротових сенсорних мереж», Обчис. Електр. інж., том 36, № 6. С. 1181–1186, 2010.

[13] М. Шергауфль та ін., «Внутрішня локалізація пасивних UHF RFID-міток на основі оцінки фази прибуття», IEEE Trans. Microw. Теорія Техн., том 61, № 12, стор. 4724–4729, грудень 2013 р.

[14] М. Болич, М. Ростамян та П. М. Юрич, «Виявлення близькості за допомогою RFID: крок до Інтернету речей», Поширений комп'ютер., 2015.

[15] Y. Chen, D. Lymberopoulos, J. Liu, and B. Priyantha, “Indoor localization using FM signals”, IEEE Trans. Мобільний комп'ютер., том 12, № 8, с. 1502–1517, серпень 2013 р.

- [16] Дж. Чунг та ін., «Зондування розташування в приміщенні за допомогою геомагнетизму», в Proc. 9-й міжнародний конф. Мобільна система, зап., послуги., ACM, 2011. С. 141–154.
- [17] Ф. Лі та ін., «Надійний та точний метод локалізації в приміщенні за допомогою інерціальних датчиків телефону», в Proc. ACM Conf. Всюдисущий комп'ютер., сер. UbiComp'12. ACM, Нью-Йорк, Нью-Йорк, США, 2012, с. 421–430.
- [18] Р. Д. Таранто, Р. Раулефс, Д. Слок, Т. Свенссон та Х. Ваймерш, «Зв'язок із визначенням місцезнаходження для мереж 5G», Процес сигналу IEEE. маг., том 31, № 6, с. 102–112, листопад 2014 р.
- [19] Фед. комун. Комт., «Перегляд частини 15 правил комісії щодо надширококутних систем передачі, перший звіт і порядок», Вашингтон, округ Колумбія, США, ET Docket 98-153, 14 лютого 2002 р., 22 квітня 2002 року.
- [20] MZ Win, D. Dardari, AF Molisch, W. Wiesbeck та Z. Jinyun, «Історія та застосування UWB [сканування питання]», Proc. IEEE, Спеціальний випуск UWB Technol. Виникаючий Appl., том 97, № 2, с. 198–204, лютий 2009 р.
- [21] Частина 15.4: Низькошвидкісні бездротові персональні мережі 4 (WPAN). Поправка: Активна радіочастотна ідентифікація. (RFID) Фізичний рівень системи (PHY), IEEE802.15.4f. IEEE Std., 2012.
- [22] Дж. Благдон, «The Verge», Vox Media Inc, 13 вересня 2013 р. [Онлайн]. Доступні:
<http://www.theverge.com/2013/9/11/4718082/ios-7-ibeaconsouldsolve-indoor-mapping-make-shopping-better>.

- [23] Д. Етерінгтон, «Techcrunch», 06 12 2013. [Онлайн]. Доступно: <http://techcrunch.com/2013/12/06/apple-ibeacons-us-retail-applestore/>.
- [24] Р. Хейдон, Bluetooth з низьким рівнем енергії: посібник розробника, НьюДжерсі: Pearson Education, Inc., 2013.
- [25] Apple, «Початок роботи з iBeacon», Купертіно, 2014.
- [26] А. Білке, Ortung und Navigation mit mobilen Geräeten in Gebaeuden, Berlin: HTW Berlin, 2012.
- [27] Ж.-Г. Ессбах, «Kontext- und Positions-basierte Dienste unter Nutzung der iBeacon-Technologie», HTW Berlin, Берлін, 2014.
- [28] Apple, „Wi-Fi та Bluetooth: Потенційні джерела бездротових перешкод“, Apple Inc, 08 09 2014. [В мережі]. Доступно: <http://support.apple.com/kb/HT1365>.
- [29] Дж. Салліван, „Nerdery,“ nerdery, 19 листопада 2013 р. [Онлайн]. Доступно: <http://blog.nerdery.com/2013/11/nerdery-labs-ibeaconexperiments/>.