УДК 004.735: 004.725

В. В. Пасічник[1], В. В. Савчук[1], О. І. Єгорова[2]
[1]Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра інформаційних систем та мереж,
[2]Мукачівський державний університет,
кафедра природничих дисциплін та інформаційних технологій

МОБІЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ НАВІГАЦІЇ КОРИСТУВАЧА В ПРИМІЩЕННЯХ

© Пасічник В. В., Савчук В. В., Єгорова О. І., 2016

Проаналізовано техніку та інформаційні технології позиціонування користувацького комп'ютерного пристрою в закритих приміщеннях. Проаналізовано можливості технологій позиціонування комп'ютерного пристрою в закритих приміщеннях під час навігації користувача по території таких туристичних об'єктів, якими є замки, музеї, галереї та пам'ятки архітектури. Популярна технологія визначення місцерозташування користувача, якою є GPS (англ. Global Positioning System), недостатньо якісно працює в умовах закритих приміщень та будівель. Найпопулярнішими альтернативними інформаційними технологіями позиціонування в замкненому просторі сьогодні є Wi-Fi, iGPS, RFID, NFC та технології, які ґрунтуються на опрацюванні відповідних візуальних зображень. Проаналізовано зазначені технології, особливостей їх функціонування, а також переваги та недоліки в контексті використання в умовах різнотипових закритих приміщень. У результаті дослідження було визначено прототипи технологій позиціонування та навігації туристів, які використовуватимуть автори статті при створенні інтелектуальної проблемно-орієнтованої системи "Мобільний інформаційний асистент туриста" (MIAT).

Ключові слова: туризм, техніки позиціонування, навігація в приміщенні, MIAT, Wi-Fi-позиціонування, Indoor GPS, мобільні технології, телекомунікації.

The article is devoted to the indoors positioning technology and user mobile positioning devices. The possibilities of computer technology of indoors positioning of the device when navigating the user through the territory of tourist sites, which are castles, museums, galleries and architectural monuments have been described. Popular positioning technology, which is a GPS (Global Positioning System) is not fully operating in indoor environment and buildings. The most popular alternative information technologies of positioning in confined spaces are now the Wi-Fi, iGPS, RFID, NFC and technology, based on the relevant processing of visual images. The article shows the analysis of these technologies, the characteristics of their operation, and the advantages and disadvantages in the context of use in different types of indoor environment. The defined prototype of technologies of positioning and navigation of tourists which the authors propose to use in the creation of intellectual problem-oriented system "Mobile information assistant of the tourist" (MIAT) has been described in the article.

Key words: tourism, positioning techniques, indoor navigation, MIAT, Wi-Fi positioning, Indoor GPS, mobile technology, telecommunication.

Вступ. Загальна постановка проблеми

Постійне поширення нових видів послуг і сервісних процесів, індустріалізація і системна реорганізація сфери надання послуг у глобальному масштабі наводять на думку, що послуги все більшою мірою позиціонуються як основа та базис нинішніх структурних змін у сучасній економіці. У цьому контексті показовим є сектор телекомунікацій, зокрема бездротових і мобільних мережевих технологій, трансформуються методи і засоби надання як традиційних, так і

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

інноваційних інформаційно-комунікаційних послуг та активізуються процеси розроблення відповідних проблемно-орієнтовних програмних застосунків [1].

Однією з основних принципових особливостей бездротових телекомунікаційних систем є фактор мобільності та можливість ідентифікації місцезнаходження відповідного комунікаційного пристрою користувача [1]. Методи та засоби бездротового позиціонування викликають значний інтерес та зацікавлення як у науковців, так і у широкого кола практиків і бізнесменів з моменту їх появи, оскільки вони забезпечують формування основи для безперервного зростання кількості та якості мобільних програмно-алгоритмічних застосунків, зокрема призначених і для галузі туризму. Прикладами таких застосунків є як звичайні навігаційні системи, так і спеціалізовані туристичні застосунки, створені з метою інформаційно-технологічної підтримки та супроводу туристичної подорожі. Значну увагу як дослідники, так і практики-програмісти звертають на розроблення мобільних програмно-алгоритмічних застосунків, що ґрунтуються на інформації про поточне місцезнаходження користувача на відкритому просторі (міста, дороги, поля, ліси, океани тощо), водночас, недостатньо уваги приділяють вирішенню проблем, що виникають у процесах позиціонування та навігації користувача в середині будівель [2].

Особливо відчутною є нестача зазначених мобільних інформаційних технологій, зорієнтованих на потреби галузі туризму, оскільки значна частина популярних туристичних об’єктів мають доволі складну структуру і без допомоги людини-гіда туристу доволі складно орієнтуватись в просторих приміщеннях музеїв, замків, палаців, театрів та галерей.

1. Аналітичний огляд інформаційних джерел

Комплексне та якісне вирішення науково-прикладної проблеми позиціонування та навігації в середині закритих будівель набуває все більшої актуальності. Слід зазначити, що більша частина відомих інформаційно-технологічних розроблень за означеним профілем спрямована на забезпечення підтримки і допомоги працівникам та відвідувачам в орієнтуванні в офісних будівлях складної, багаторівневої і розгалуженої структури (листоноші, кур’єри, відвідувачі, нові працівники тощо) [4]. Для побудови якісних програмних продуктів, що використовують інформацію про місцерозташування користувача всередині закритих будівель, застосовують широкий спектр взаємопов’язаних інформаційно-комунікаційних технологій.

У таблиці подано основні типи технологій позиціонування користувацького пристрою, що зазвичай використовуються в приміщеннях будівель [9].

Науковці Афінського університету економіки і бізнесу (Греція) провели глибокий аналіз та класифікацію доступних на ринку інформаційно-комунікаційних технологій визначення місцерозташування користувача в середині будівель в контексті мобільних програмно-алгоритмічних бізнес-застосунків [1, 2]. Проводять дослідження та розробляють нові методи навігації в приміщеннях на базі безпровідних мереж Wi-Fi в Університеті Калгари (Канада) та Університеті Вухан (Китай), провідних університетах Іспанії, Технологічному університеті Наньянгу (Сингапур) та ін. [3, 5, 6]. Розробляють засоби позиціонування на основі радіочастотної ідентифікації (РЧІД, RFID) серед інших науковці університету ІСІК (ISIK, Туреччина) та Національного технічного університету Афін (Греція) [4, 7]. Технологіями позиціонування та навігації користувача всередині закритих приміщень на базі GSM мереж займаються дослідники з університету імені П’єра та Марії Кюрі [8].

Класифікація мобільних технологій позиціонування всередині закритих приміщень

Категорія	Базові технології
Залежні від мережі	Технології на базі інфрачервоних сенсорів; Ультразвукові технології; Технології безпровідних мереж (Wi-Fi); Технології глобальної системи мобільного зв'язку (GSM); Технологія Bluetooth; Технологія ідентифікація радіочастот (RFID).
Залежні від пристрою	Технологія GPS/A-GPS; Технологія спеціалізованого GPS для закритих приміщень (Indoor GPS); Технології опрацювання візуальних зображень.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Одну з найпопулярніших технологій позиціонування та навігації користувача на відкритому просторі, якою є технологія GPS, не можна використовувати у закритих приміщеннях, оскільки рівень GPS-сигналу суттєво понижується при проходженні крізь стелю та стіни приміщень [9]. Проте дослідники активно працюють над вдосконаленням технології GPS з метою її застосування для якісної та точної навігації користувача всередині будівель [10–17].

Менш поширеними сьогодні є інформаційно-комунікаційні технології навігації користувачів у закритих приміщеннях, що ґрунтуються на опрацюванні візуальних зображень і відео [18, 20, 21], а також QR кодів [19].

1.1. Техніки позиціонування пристрою всередині закритих будівель

Спочатку розглянемо базові інформаційні технології позиціонування мобільного комп'ютерного пристрою всередині будівель, що суттєво залежать від технічних можливостей такого пристрою. В окремих англомовних інформаційних джерелах їх іноді трактують як техніки самостійного позиціонування (англ. self positioning techniques).

Суть зазначених інформаційних технологій полягає у використанні мобільним пристроєм сигналів із приймачів/антен (наземних, або супутникових) з метою визначення координат місцерозташування пристрою. Для цього пристрій або відповідна технологічна система мають реалізовувати методи та технології опрацювання отриманого сигналу і переведення його в географічні координати або в числові значення, необхідні для позиціонування пристрою та його подальшої навігації.

GPS / A-GPS / Indoor GPS. Найпопулярнішою супутниковою системою зазначеного типу є всесвітня радіонавігаційна система GPS та A-GPS, яка базується на даних з 24-х супутників, що знаходяться на шести орбітах на висоті 20200 км над Землею. Супутники надсилають два різні типи сигналів: для загального користування та "закриті" сигнали, доступні виключно окремим військовим установам. Основною перевагою GPS-технології є її надійність, а точність її позиціонування становить до 10 м. Але навіть за використання вдосконалених, так званих методик A-GPS, що призначені для суттєвого покращення якості, точність позиціонування стрімко знижується при появі таких перепон, якими є стіни та стеля, що, своєю чергою, генерує додаткові труднощі за використання цієї технології для позиціонування користувача всередині будівлі [1].

Приймач GPS-сигналу здійснює пошук вхідного сигналу у двох вимірах: доплерівські частоти і затримка коду. Процес пошуку залучає нижнє перетворення звичайного тимчасового значення Доплера і добуток отриманого значення на локально згенероване значення супутникового коду CDMA з врахуванням затримки [14]. Зазначений процес називається кореляцією, оскільки значення затримки є змінним. Зазначений пошук відбувається на певних невеликих масивах вхідних сигналів, що називаються ***"інтеграційними періодами"***. Для потужних GPS-сигналів інтеграційний період тривалістю 1мс є значним, оскільки значення кореляційного піка стає вищим за рівень шуму вхідних сигналів. Для слабких сигналів кореляційний період має бути збільшений з метою покращення відношення рівня вхідного сигналу до рівня шумів. Ефективно, якщо пропорція інтеграційного часу і ширини смуги шуму зменшена [17].

Відповідно до цього виникають такі проблеми при використанні технології GPS у закритих приміщеннях:

- значний час отримання (англ. acquision) GPS-сигналу – час, за який приймач GPS-сигналу отримує дані із відповідних супутників;
- зчитування відбитих GPS-сигналів;

Першою проблемою технології GPS в закритих приміщеннях є значний час отримання GPS сигналу із видимих супутників. Це суттєво впливає, своєю чергою, на "інтеграційний період" і зумовлено тим, що при проходженні крізь перешкоди сигнал із GPS-супутників надходить із суттєвим запізненням. Послідовне отримання стає менш значущим у разі використання потужного програмного та апаратного забезпечення, яке дає змогу шукати та отримувати сигнали GPS у запаралеленому режимі.

Наступною перепоною при використанні технології GPS у закритому просторі є довгий "інтеграційний період". Існує двадцять періодів збирання даних тривалістю 1мс. На кожен часовий

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

період виділено певний обсяг пам'яті. Якщо "інтеграційний період" перевищує певні межі, це несприятливо впливає на результат опрацювання отриманих даних [16]. Один із способів вирішення зазначеної проблеми є поділ отриманої інформації та використання ще одного приймача сигналів.

Проблема відбиття сигналу GPS є особливо значущою у разі використання пристрою в середині закритих приміщень. Відбитий сигнал суттєво слабне, що утруднює, а в деяких випадках унеможливлює його якісне зчитування приймачем.

З метою використання технології GPS у закритому просторі було розроблено спеціалізовану технологію *Indoor GPS (iGPS)*, яку часто називають Повторюючий лазерний автоматичний теодоліт (англ. Rotary-Laser Automatic Theodolites, R-LATs). Зазначена система ідентифікації місця розташування пристрою зосереджується на використанні переваг GPS в умовах закритих приміщень. Як вказувалось раніше, сигнал GPS не спрацьовує в приміщеннях, як правило, тому, що рівень сигналу занадто низький для того, щоб він міг проникнути до будівлі. Тим не менш, технології GPS можуть бути застосовні до тих об'єктів, де немає серйозних перешкод. У технології iGPS враховуються як обмежені можливості, так і високі вимоги до габаритів бездротових пристроїв, таких як мобільні телефони та планшети.

IGPS – це розподілена модульна система, і кількість компонент об'єднаної мережі може бути різною залежно від середовища та потрібної точності визначення місцерозташування мобільного пристрою [11]. Компонентами системи є лазерні передавачі, контрольний центр, сенсори і приймачі сигналів.

Навігаційний сигнал генерується певною кількістю лазерних передавачів – псевдосупутників (див. рис. 1). Це пристрої, які генерують сигнали, подібні до тих, що генеруються в системі GPS, для того, щоб псевдосумісні приймачі були побудовані з внесенням мінімальних конструктивних змін до існуючих GPS-приймачів [9].

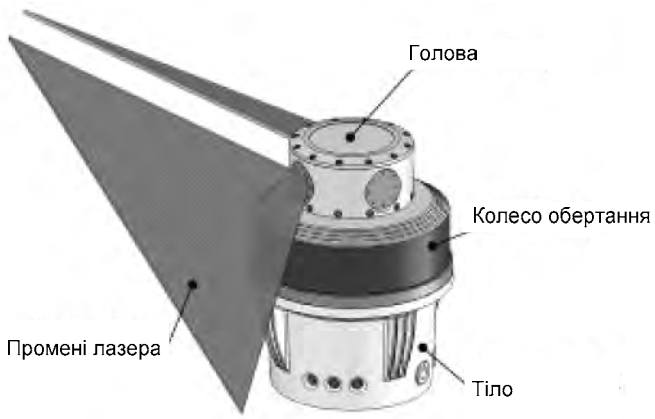


Рис. 1. Структура псевдосупутника [15]

Як і в системі GPS, принаймні чотири псевдосупутники повинні бути доступними для навігації за умови, що додаткові пристрої, наприклад, для визначення висоти, не використовуються. Сигнал, згенерований псевдосупутником, контролюється декількома опорними приймачами. Компактність в поєднанні з ультранизьким енергоспоживанням і низькою вартістю роблять можливим застосовувати "закриті" GPS-технології позиціонування в системах загального використання. Зазначена інформаційно-комунікаційна технологія є енергоощадною, а її компоненти мінімальними за габаритами.

Навігація на основі технології опрацювання візуальних зображень. Технологія навігації на основі опрацювання графічних зображень є поширеною для вирішення проблем позиціонування та навігації роботів всередині закритих приміщень. Проблеми, які проявляються під час позиціонування та навігації людини в приміщенні, є набагато складнішими, оскільки доволі складно передбачити її можливі кроки та дії [20].

Можливість розпізнавання зображень об'єктів при визначенні місцерозташування користувача суттєво підвищує точність обчислень та їх надійність, тому ідея щодо позиціонування та

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

навігації користувача всередині закритих приміщень за допомогою мобільних пристроїв, обладнаних камерами, є привабливою.

Класичний метод навігації пристрою на базі візуальних зображень у фахових колах називають методом “вивчити-та-повторити”. За цим методом використовують стереокамеру для побудови та розширення картографічних даних під час проходження робота за певним маршрутом [18]. Створена карта формується як реконструкція розмірів та пропорцій об’єктів навколишнього середовища. Оригінальний метод розв’язання задачі запропонували Крайнік, Чет і Бірчфілд [21, 22], за яким процеси навігації ґрунтуються на використанні зображення навколишнього середовища. Розроблений ними монокулярний алгоритм навігації не потребує побудови метрик навколишнього середовища, оскільки напрям руху робота прораховується в результаті порівняння зображень з бази даних з поточним зображенням, отриманим під час безпосереднього перебування пристрою на маршруті. Зазначені методи є основними в процедурах, що забезпечують навігацію технічного пристрою (робота), постійно вдосконалюються та модифікуються, що зумовлює, своєю чергою, створення нових навігаційних алгоритмів та методик.

Навігаційні техніки залежні від мережі (англ. network-depended), в інших інформаційних джерелах їх ще називають віддаленими техніками позиціонування (англ. remote positioning techniques), базуються на різних типах інформаційних мереж (мобільних, інфрачервоних, радіо тощо), що покривають територію навігації користувача.

Безпровідні мережі (Wi-Fi). Безпровідні мережі є одними з найпопулярніших технологій визначення місцерозташування, оскільки сучасна Wi-Fi-інфраструктура є доволі потужною та складною, а Wi-Fi-приймачі зазвичай є практично у всіх сучасних мобільних комп’ютерних пристроях.

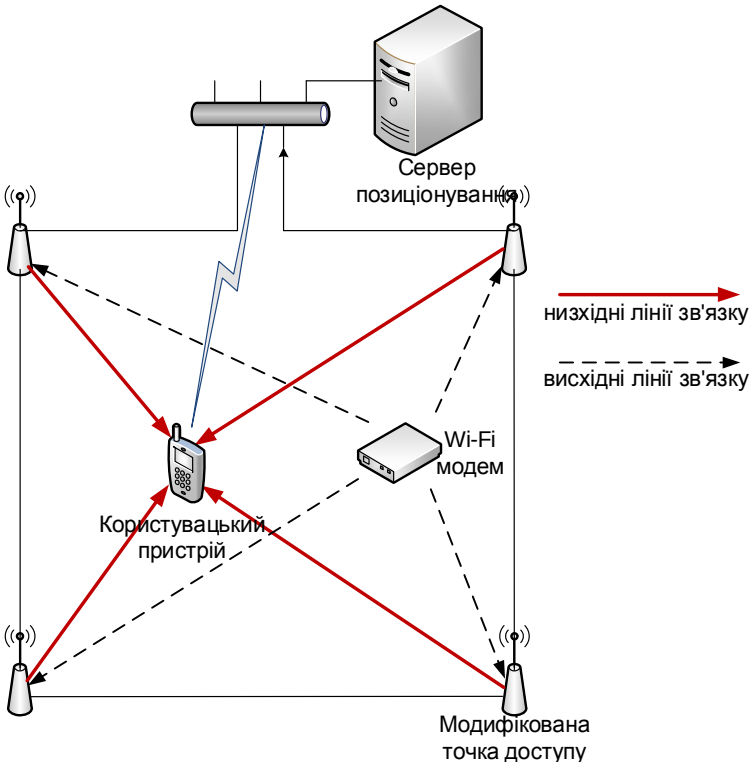


Рис. 2. Загальна структура системи WiFi-позиціонування

Метод навігації на базі Wi-Fi-відбитків – значень, що ґрунтуються на обчисленнях потужності прийнятого сигналу (англ. received signal strength, RSS) залежно від місцерозташування його джерела завоював широку популярність, оскільки з його використанням можна визначити місце перебування користувача, не використовуючи інформацію про розташування точки доступу або моделі пристрою поширення сигналу [3].

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Локалізація пристрою за допомогою відбитків мережевих сигналів складається з двох окремих фаз (див. рис. 3):

- фаза навчання;
- фаза локалізації.

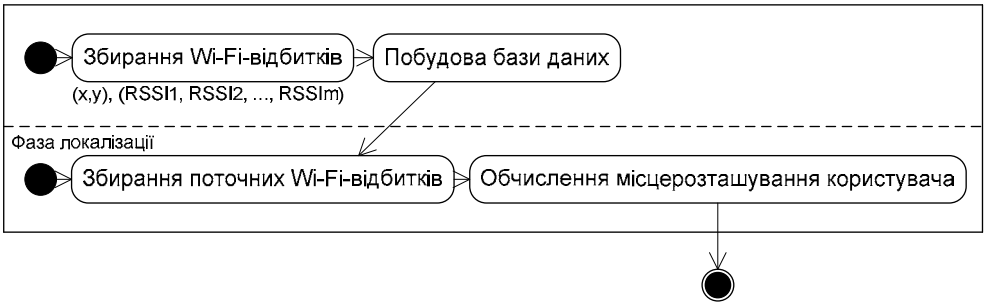


Рис. 3. UML-діаграма станів. Алгоритм позиціонування, що базується на відбитках сигналів Wi-Fi

Під час фази навчання, також відомої як фаза калібрування, відбувається запис значення RSS (received signal strength, з англ. сила вхідного сигналу) із позначеннями позицій, що надалі використовуються для створення моделі відношення RSS до позиції. Оскільки отримані значення є змінними та містять шум, необхідно здійснювати якомога більше вимірювань у кожній локації залежно від потреб точності визначення місцерозташування користувацького пристрою [8]. Якість та точність отриманих даних під час фази навчання суттєво впливає на функціонування системи надалі.

Під час фази локалізації система опрацьовує поточну RSS за допомогою моделей, створених під час фази навчання, що, своєю чергою, надає інформацію про місцерозташування пристрою.

Проте зазначена технологія має такі недоліки, що проявляються під час як створення, так і обслуговування мережі:

- потреба в потужних мережевих ресурсах;
- недостатня можливість адаптації до динаміки навколишнього середовища.

З метою досягти необхідної точності при визначенні місцерозташування користувацького пристрою відбитки Wi-Fi RSS з різних точок доступу необхідно вимірювати за допомогою відповідної кількості точок калібрування [6]. Тому створення та обслуговування зазначеної навігаційної системи вимагає значних затрат часу та людських ресурсів під час фази офлайн-калібрування.

Ще однією суттєвою проблемою, яка потребує вирішення при обслуговуванні зазначеної навігаційної системи, є підлаштовування під вимоги щодо змін навколишнього середовища. Це зумовлено тим, що база даних відбитків Wi-Fi RSS будується та наповнюється офлайн, тому наявні в системі дані карти Wi-Fi-сигналів можуть не відповідати інформації, отриманій на етапі функціонування системи [6]. Фактори навколишнього середовища, такі як наявність людей, двері, що відкриваються та закриваються та навіть зміна вологості повітря помітно впливають на RSS безпровідних мереж, що призводить до серйозних похибок при визначенні місцерозташування користувацького пристрою.

Мережі мобільного стільникового зв'язку (GSM). Подібними до методів навігації, що реалізовуються на базі мереж Wi-Fi, проте поки що менш використовуваними для позиціонування користувацьких пристроїв, є технології GSM.

Глобальна система мобільного зв'язку (англ. Global System for Mobile Communications, раніше нім. Groupe Spécial Mobile, GSM) – міжнародний стандарт для мобільного цифрового стільникового зв'язку з розподілом каналу за принципом TDMA (розподіл часу для багатопоточного доступу, англ. Time division multiple access) та високим рівнем безпеки внаслідок шифрування з відкритим ключем.

Як стверджують науковці Університету ім. П'єра і Марії Кюрі (Франція), на основі стандарту мобільних телекомунікаційних засобів GSM можна сформувати відносно просте недороге

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

технологічне рішення для навігації користувача всередині багатокімнатних закритих будівель [8]. У середині закритих будівель значно впливає на RSS ефект відбиття сигналу, що утруднює створення якісних математичних моделей обчислення місцерозташування користувача, а тому як альтернативу використовують класифікацію значень RSS відповідно до позиції. При цьому координати місця розташування мобільних терміналів обчислюють за допомогою класифікації масивів виміряних значень RSS, які називаються відбитками [8]. Отримані дані використовують для побудови моделі фази навчання системи.

Використання технології GSM для навігації користувача всередині будівель має низку суттєвих переваг порівняно з іншими мережевими техніками. GSM – це найпоширеніший у всьому світі телекомунікаційний стандарт, який доступний у понад 220 країнах [28]. Окрім того, потужність сигналу GSM має менше часових коливань порівняно з Wi-Fi сигналом частотою у 2,4 Ггц.

Ідентифікація радіочастот (англ. Radio Frequency Identification, RFID). Ще однією порівняно новою технологією ідентифікації та відстеження переміщення об’єктів у закритих приміщеннях з точністю до декількох метрів є метод ідентифікації радіочастот.

RFID – спосіб автоматичної ідентифікації об'єктів, за яким за допомогою радіосигналів зчитуються або записуються дані, що зберігаються в так званих транспондерах; у фаховій літературі їх ще називають RFID-мітками [29].

Будь-яка RFID-система складається з пристрою, що зчитує (зчитувач, рідер або інтеррогатор) і транспондера (він же RFID-мітка, іноді застосовується термін RFID-тег).

RFID-система інтегрує антену з електричною схемою, що і формує транспондери, які при отриманні даних з віддалених RFID-зчитувачів зворотньо передають ідентифікаційний номер [9].

Точність позиціонування при використанні зазначеної технології залежить від типу RFID-зчитувача, кількості та типу міток RFID та від того, чи вони є пасивними чи активними. Активні мітки є більш вартістними, оскільки додатково обладнані пристроями електроживлення [7].

Безпровідна система RFID має такі переваги:

- можливість ідентифікації на відстані;
- керування системою у форматі “вільні руки”;
- гнучкі вимоги до пам'яті та опрацювання даних.

Проте точність цієї технології позиціонування є меншою порівняно, наприклад, із технологіями Wi-Fi.

Near Field Communication. Near Field Communication, або NFC (“зв'язок на невеликих відстанях”) — технологія бездротового високочастотного зв'язку малого радіуса дії “в один дотик” [30]. Ця технологія основана на принципах, що притаманні RFID та забезпечує можливість обміну даними між пристроями, насамперед смартфонами та безконтактними платіжними терміналами, що знаходяться на відстані близько 10 см. Обмін даними відбувається з частотою 13,56 МГц та швидкістю до 424 Кбіт/с [31].

NFC-система складається, з одного боку, з мобільного телефону, а з іншого – з NFC-зчитувача та пасивної RFID-мітки або іншого телефону (див. рис. 4) [4].

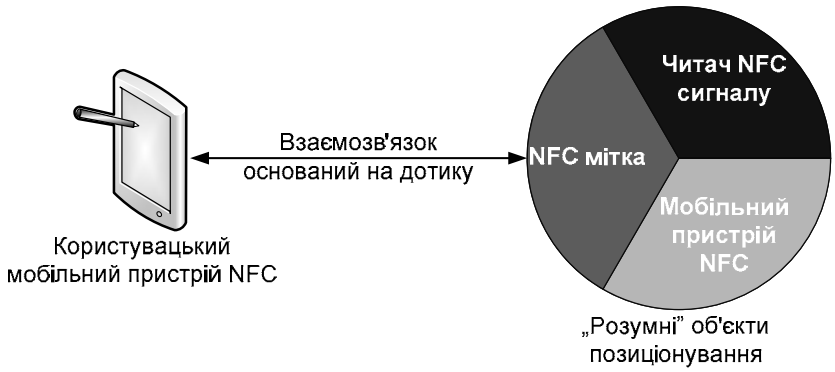


Рис. 4. Взаємодії NFC

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Беручи до уваги відносно малу відстань дії зазначеної системи для навігації користувача NFC, модуль може прикріплюватися до його взуття з метою налагодження якісної комунікації та отримання даних про локацію з пасивної RFID-мітки, розміщеної в підлозі [31].

Проте зазначена технологія має певні переваги:

- обмежена споживана потужність порівняно з іншими RFID-пристроями;
- низька вартість обладнання;
- висока точність обчислення координат.

Малопопулярні техніки позиціонування мобільних пристроїв всередині будівель

Інфрачервоні сенсори. Першу систему навігації користувача всередині закритих приміщень було створено із використанням інфрачервоних сенсорів. Такі системи складаються з декількох інфрачервоних трансмітерів, що розміщені в стінах, дверях, підлозі, та приймача сигналів. Трансмітери автоматично відправляють свої ідентифікаційні дані, а комп'ютерний пристрій, що виконує роль приймача, опрацьовує зазначені сигнали з метою визначення свого місцерозташування [9].

Сьогодні зазначена технологія є непопулярною у зв'язку з високою вартістю її розгортання та обслуговування.

Технологія Bluetooth. Зазначена технологія дає змогу об'єднувати в локальні мережі різнопланові технічні засоби, зокрема мобільні пристрої, якими є смартфони та планшети. При цьому одним з важливих параметрів зазначеної технології є низька вартість пристрою зв'язку – в межах 20 доларів, компактні розміри (адже йдеться про мобільні пристрої) і, що важливо, їх взаємна сумісність та простота вбудовування в різні пристрої [32].

На відміну від технології інфрачервоного зв'язку, що працює за принципом "точка-точка" в зоні прямої видимості, технологію Bluetooth розробляли для роботи як за принципом "точка-точка", так і як багатоточковий радіоканал, керованого багаторівневим протоколом , схожим на протокол мобільного зв'язку GSM. Деякі дослідники висловлюють припущення про те, що в майбутньому можливе використання Buetooth-засобів як основи функціонування систем визначення місцерозташування користувачів всередині будівель. Слід зазначити, що на разі декілька провідних компаній оголосили про розроблення ними таких систем і відповідних технологій позиціонування [9].

1.2. Практичне застосування технік позиціонування в закритому просторі

Проблематика позиціонування на навігації користувача в складно організованих закритих просторах (наприклад, офісні приміщення, супермаркети, музеї, замки тощо) набуває все більшої популярності як в середовищі науковців, так і серед провідних фахівців IT-компаній, що займаються розробленням мобільних програмних засобів та застосунків. Наведемо найяскравіші приклади таких досліджень та розроблень.

Методи та алгоритми функціонування систем позиціонування всередині будівель. Значну увагу звертають сучасні дослідники на питання розроблення та вдосконалення методів визначення місцерозташування користувача (динамічного об'єкта) в середині замкнутих просторів з максимальною точністю.

Науковці університету інформаційних та комунікаційних технологій з міста Сувон (Корея) розробили ультразвукову GPS-систему позиціонування та навігації мобільних роботів [10]. Зазначена система GPS складається з 2-ох приймачів сигналу і 1-го передавача (див. рис. 5). Обидва приймачі та передавач використовують радіочастотний сигнал для синхронізації та отримання даних про відстань від джерела ультразвукової хвилі. Проведені експерименти підтвердили, що робот може фіксувати своє місцерозташування з похибкою, яка не перевищує 2 см, а похибки розміщення "режиму зупинки" і "режиму руху" не перевищують ± 2 см [10]. Зазначена система є недорогою в експлуатації та може бути використана в умовах замкнутого приміщення, яким може бути окрема кімната.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

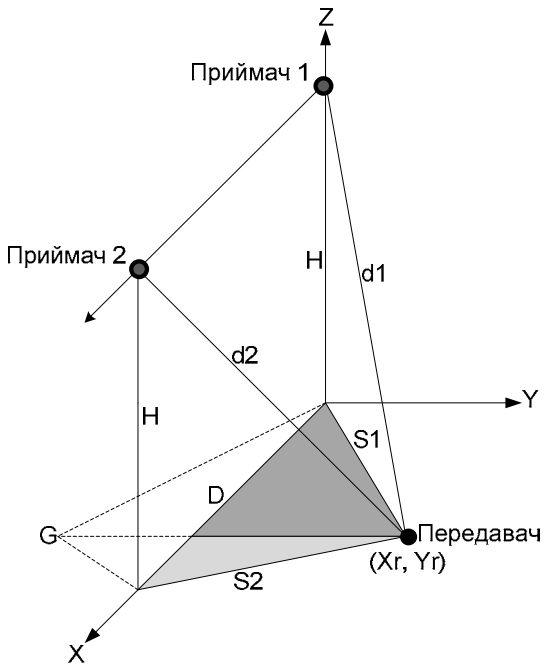


Рис. 5. Конфігурація системи

Відстані d1 і d2 вимірюють з використанням ультразвукових передавачів і відповідних радіоприймачів; H –значення висоти, на якій встановлено приймачі сигналу відносно місця (рівня) розташування передавача. Значення S1 та S2 обчислюють за формулою:

$$d^2 = H^2 + S^2. \quad (1)$$

Місцерозташування передавача користувача, а саме його координати Xr і Yr можна визначити як розв'язок системи рівнянь:

$$S1^2 = Xr^2 + Yr^2. \quad (2)$$

$$S2^2 = (D - Xr)^2 + Yr^2. \quad (3)$$

Як вже зазначалось, найбільше навігаційних комплексів для використання у замкненому просторі нині створюється для роботів або подібних систем.

Однією із розробок такого плану є інтегрована кімнатна навігаційна система для наземного транспорту (англ. Integrated Indoor Navigation System for Ground Vehicles, IINSGV), розроблена канадськими науковцями [13]. Архітектуру цієї системи подано на рис. 6.

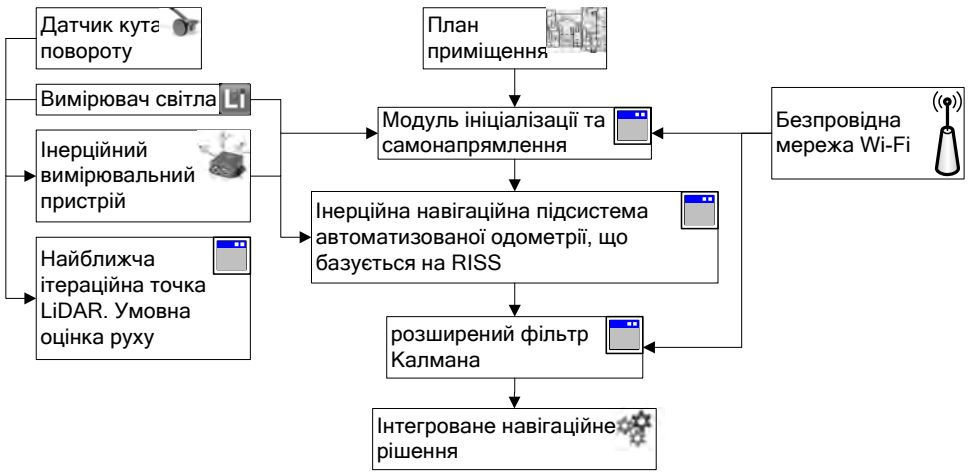


Рис. 6. Архітектура IINSGV

До складу апаратного забезпечення системи входять сенсори таких типів: RISS (зменшений набір інерційних давачів, англ. Redused Inertial Sensors Set,), LiDAR (давачі ідентифікації,

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

виявлення, та ранжування світла, англ. Light Identification Detection and Ranging), одометричні сенсори та інтерфейс Wi-Fi мережі [10]. Інтеграція одометрії з RISS складається з одного вертикального напрямленого гіроскопу і двох горизонтальних напрямлених акселерометрів. Наведена структура є відносно дешевою 3D-навігаційною системою для наземного транспорту [10]. LiDAR – технологія отримання та працювання інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища відображення світла та його розсіювання в прозорих і напівпрозорих середовищах [33]. Система IINSGV також передбачає використання карти приміщень території навігації.

Основне програмне забезпечення системи IINSGV складається з [10]:

- модуля ініціалізації та самонапрямлення;
- інерційного автоматизованого LiDAR модуля відносної оцінки руху;
- інерційної навігаційної системи автоматизованої одометрії, що базується на RISS;
- розширеного фільтра Калмана (англ. Extended Kalman Filter), який інтегрує всі доступні вимірювання, що надають 3D-оцінку навігаційного стану транспортного засобу.

Один з поширених методів навігації в закритому просторі – підхід магнітної сумісності (англ. magnetic matching approach, MM). Науковці Університету міста Калгари (Канада) та Університету Вухан (Китай) представили вдосконалений MM-алгоритм, який використовує вбудовані сенсори мобільних пристроїв користувачів та наявну Wi-Fi-інфраструктуру [3].

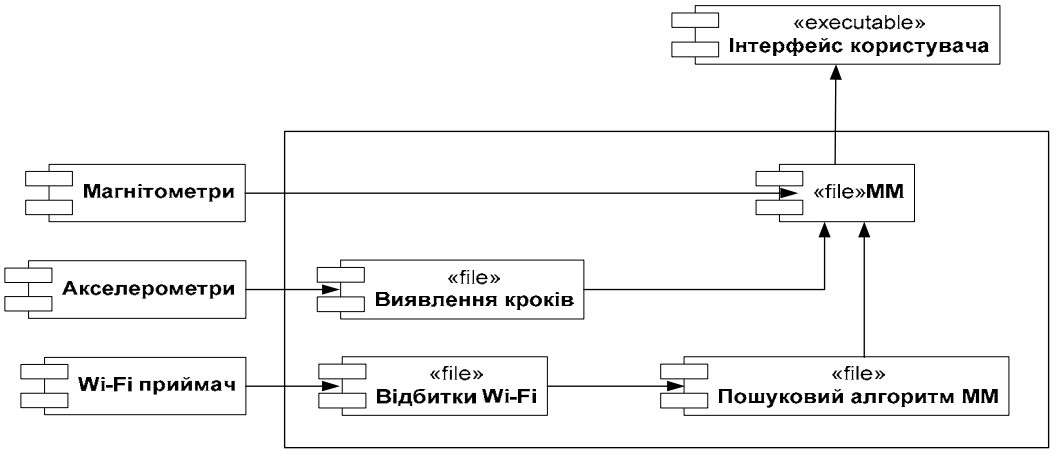


Рис. 7. Алгоритм MM з підтримкою технології Wi-Fi

Узагальнену структуру алгоритму подано на рис. 7. Вхідними даними алгоритму є інформація, що надходить з сенсорів мобільного пристрою користувача, а саме магнітометра, акселерометра та приймача Wi-Fi-сигналу. Основна ідея полягає у використанні Wi-Fi-відбитків з метою обмеження зони пошуку MM. Це, своєю чергою, зменшує рівень розбіжностей і навантаження на апаратне забезпечення, що виконує відповідні розрахунки. З метою зменшення затрат часу та коштів науковці використали метод виявлення кроків, що ґрунтується на даних функціонування акселерометра, мітках з відомими координатами, плану приміщень та даних про середню швидкість пересування користувача [3].

Методи MM та відбитків Wi-Fi спрямовані на досягнення однієї мети і складаються з фаз навчання та позиціонування. Фаза навчання зорієнтована на побудову та наповнення бази даних, що містить відношення локації до сили сигналу та бази даних, що містить відношення локації до магнітної інтенсивності; отримані дані надалі використовують під час фази позиціонування для визначення поточного розташування користувача.

Основна ідея алгоритму MM полягає в обчисленні різниці між поточним профілем і даними в базі даних системи з метою знаходження якомога точнішого збігу, який обчислюють за формулою:

$$MAD = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|S_i - M_i|, \qquad (4)$$

де *MAD* – середнє абсолютне розходження (англ. mean absolute difference); S_i – виміряний профіль; M_i – профіль із бази даних; N – довжина профілю.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Проблематикою точності та якості функціонування систем Wi-Fi-навігації займаються дослідники з відділення France Telecom, що розташоване в місті Мелан (Франція) [34]. Проаналізувавши великий масив інформаційних джерел, вони дійшли висновку, що для зменшення похибок при функціонуванні системи слід особливу увагу звертати на опрацювання графічних зображень карт навігаційної місцевості. Для досягнення зазначеної мети пропонується використовувати алгоритм фільтрування частинок (англ. Particle filter), що ґрунтується на довільно зважених частинках, які в сукупності є функцією щільності мобільного позиціонування [34]. Кожна частинка досліджує навколишнє середовище відповідно до моделі руху користувача та даних з карти приміщень. Ваги часток оновлюються після кожного вимірювання. Слід зазначити, що такий алгоритм дає змогу врахувати неможливість просування користувача крізь стіни приміщень, тому під час обчислень беруть до уваги попереднє місце розташування користувацького пристрою.

Алгоритм фільтрування частинок реалізується використанням такого математичного співвідношення:

$$\Pr[x_k \mid Z_{0:k}] = \sum_{i=1}^{N_s} w_k^i \delta(x_k - x_k^i), \tag{5}$$

де x_k – вектор станів пристрою в певний відрізок часу k; $Z_{0:k}$ – масив зібраних вимірювань до (k+1)-го відрізку часу; $\Pr[x_k \mid Z_{0:k}]$ –функція розподілу ймовірності; w_k^i – вагове значення станів.

Розробники потужної навігаційної системи GROPING (Geomagnetism and cROwdsensing Powered Indoor NaviGation, з англ. Будинкова навігаційна система з підтримкою геомагнетизму і відслідковування натовпу) також звернули увагу на важливість наявності в системі карт приміщень, а саме на їх точність та відповідність реальності. При створенні системи ними було обрано сервіс Google Maps Indoor (GMI) [35], що містить велику кількість планів найпопулярніших будівель світу та можливістю самостійного додавання необхідних планів до сервісу. Проте у них було виявлено ряд суттєвих недоліків [36]: недостатня точність, висока енергозатратність та наявність значних помилок.

З метою покращення якості функціонування системи GROPING її розробники реалізували низку вдосконалень, доповнивши її модулем формування планів навігаційних приміщень (див. рис. 8).

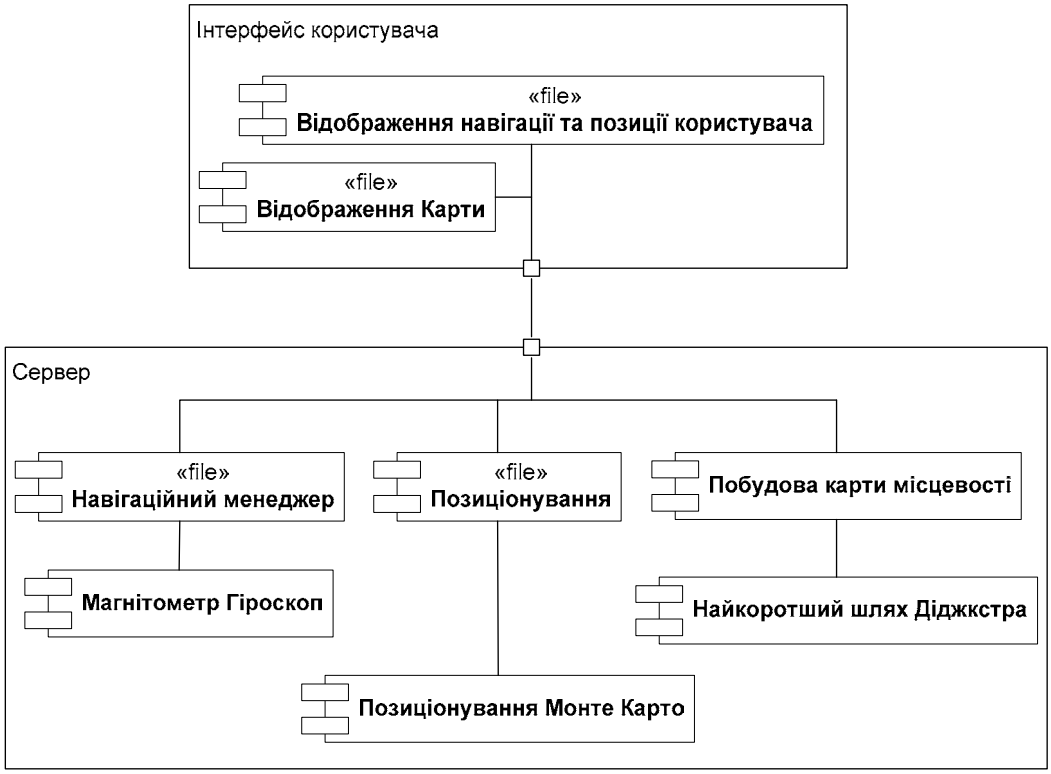


Рис. 8. Архітектура системи GROPING [36]

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Формується карта на основі інформації, що надійшла із сенсорів мобільних пристроїв користувачів. Дані постійно уточнюються з кожним новим проходженням по навігаційному маршруту.

Слід зазначити, що система GROPING використовує комбінацію популярних та доступних технік позиціонування: GPS, Wi-Fi та GSM.

Не менш популярною серед розробників технікою позиціонування є NFC. Науковці технічного університету Дрездена (Німеччина) розробили новий метод навігації в середині будівель на основі зазначеної технології [31]. Схему конструкції, покладеної в основу запропонованої методики, подано на рис. 9. Метод поєднує в собі технолоії Bluetooth, NFC та програмно-алгоритмічну компоненту, що забезпечує опрацювання результатів вимірювань.

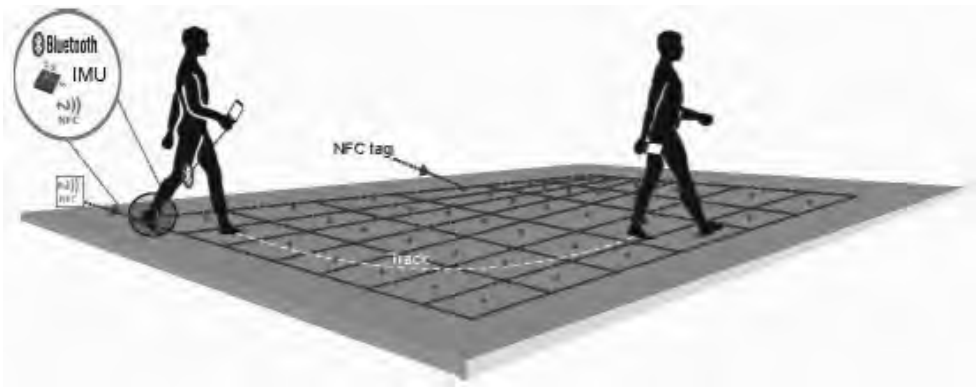


Рис. 9. Точне позиціонування користувача з використанням NFC міток встановлених у підлозі

Інноваційність зазначеного методу полягала у:

- автоматизації виправлення помилок під час навігації;
- використанні взаємодії сенсорів у мобільному комп'ютерному пристрої користувача та NFC-передавача на його взутті за допомогою технології Bluetooth.

Ще однією інформаційно-технологічною системою призначеною для навігації в середині будівель, що використовує радіочастоти, є система RADAR [37]. Зазначене розроблення виконали фахівці компанії Microsoft. Система використовує інформацію про силу сигналу, який збирають з багатьох приймачів для обчислення координати користувача, що називається тріангуляцією. Система використовує як емпірично детермінований, так і теоретично обчислений RSS.

Експеременти показали обнадійливі результати. З високою ймовірністю RADAR спроможний визначати місцерозташування користувача з точністю до декількох метрів [37].

Прогресивною технологією визначення місцерозташування користувача є позиціонування з використанням алгоритмів опрацювання графічних зображень. Одним із сучасних досягнень у цій галузі є розроблення нового гібридного навігаційного методу, що поєднує два різні за своєю суттю підходи до оброблення візуальних зображень, основані на функціях та на сегментації [18]. Обидва зазначені методи спрямовані на коригування курсу руху запрограмованого робота, проте жоден з методів не розробляли з метою позиціонування робота в просторі. Одометрію (спосіб оцінювання переміщення за допомогою даних, отриманих із сенсорів руху) використовують лише для приблизного визначення місцерозташування пристрою в певному сегменті – тому, щоб не виникало накопичення помилки, один з представлених методів періодично заміняє інший залежно від навколишнього середовища. Група науковців під керівництвом Томаса Крайніка виявили, що коригування курсу саме по собі може компенсувати помилки одометрії та утримувати місцерозташування робота в допустимих межах [18].

Технології позиціонування та навігації туриста в закритих приміщеннях. Туризм набуває все більшого значення у динамічному поступі світової економіки. Використовують сучасні інформаційні технології у галузі туризму переважно в туристичних фірмах, страхових та транспортних компаніях, екскурсійних бюро, готелях, кафе та ресторанах, а також при наданні широкого спектра послуг окремим туристам та туристичним групам [38]. Багато туристичних

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

об’єктів, таких, як музеї, галереї, замки, пам’ятки архітектури мають доволі складну та розгалужену просторово організовану структуру. З метою надання туристам якісних інформаційно-технологічних послуг для забезпечення їх надійної підтримки та супроводу під час екскурсій в середині складно просторово організованих закритих приміщень фахівці розробляють та активно впроваджують системи позиціонування та навігації, орієнтовані на потреби цієї доволі численної групи користувачів.

Особливими потребами щодо інформаційних технологій позиціонування та навігації відвідувачів характеризується такий клас туристичних об’єктів, як музеї та історичні замки. Крупні музеї та музейні комплекси складаються з численних просторів, заповнених різноманітними експонатами, які зазвичай неможливо оглянути впродовж одного екскурсійного відвідування. О. Оперман і М. Шехт розробили систему-гід з можливостями планування і супроводу екскурсій виставковими залами музею [41]. Користувачам надано можливість попередньо планувати екскурсію, вибираючи найцікавіші для них виставкові зали, використовуючи інформаційні ресурси мережі Інтернет. На вході в приміщення музею користувачу (туристу) надають пристрій, який за допомогою безпровідних мереж або технології Bluetooth під’єднаний до сервера музею. З використанням зазначених технологій користувацький пристрій отримує інформацію щодо місцеперебування користувача в приміщенні. В такий спосіб користувач отримує персонального туристичного комп’ютерного гіда, що надає тематичну екскурсійну та навігаційну інформацію у аудіо- та відеоформаті залежно від його місцерозташування.

2. Формулювання мети

Метою статті є аналіз можливостей мобільних інформаційних технологій позиціонування комп’ютерного пристрою (смартфона, планшета тощо) в закритих приміщеннях під час навігації користувача по території таких туристичних об’єктів, якими є замки, музеї, галереї та будівлі архітектурних пам’яток.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі завдання:

- аналіз популярних технік позиціонування в закритих приміщеннях;
- аналіз актуальних досліджень щодо розроблення нових методів опрацювання навігаційних даних та систем позиціонування користувача в закритих приміщеннях;
- вибір базових інформаційних технологій позиціонування та навігації туриста в інтелектуальній системі “MIAT” [40].

3. Виклад основного матеріалу

Науковці Національного університету “Львівська політехніка” розробляють інноваційну інтелектуальну систему “Мобільний інформаційний асистент туриста”. В межах проекту пропонується реалізувати підсистему навігації користувача в складно структурованих туристичних об’єктах, якими є замки, палаци, музеї та галереї.

Слід звернути увагу на те, що туристичний об’єкт типу “Замок” має такі специфічні особливості, які утруднюють навігацію користувача:

- поєднання відкритого та закритого просторів;
- конструкція стін, що сприяє відбиттю навігаційного сигналу та не пропускає сигнали ззовні.

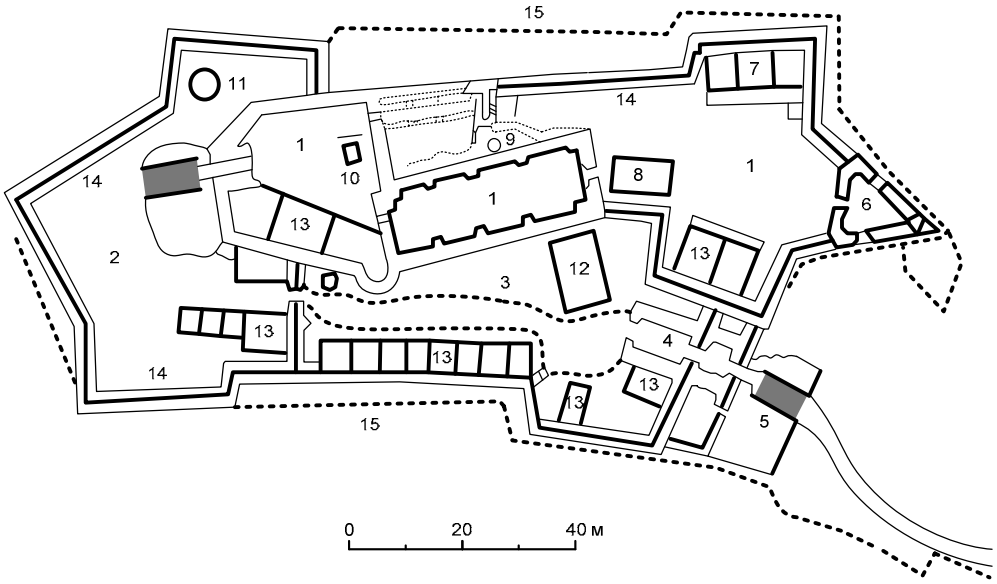
Для прикладу розглянемо навігацію користувача-туриста в замку м. Хуст (Закарпаття, Україна). Схему замкових приміщень подано на рис. 10.

Беручи до уваги особливості зазначеного об’єкта, автори статті пропонують використовувати комбіновану техніку позиціонування, що полягає у використанні Wi-Fi- та GPS-позиціонування в поєднанні з технологією опрацювання зображень з камери пристрою. Слід врахувати, що технології GPS-позиціонування можуть бути задіяні лише на відкритих просторах (див. рис. 11).

У закритих приміщеннях пропонується використовувати технологію позиціонування Wi-Fi. Місцерозташування користувача за Wi-Fi-технологією обчислюють за допомогою алгоритму тріангуляції, що полягає в побудові рядів або мереж з прилеглих один до одного трикутників та визначенні розташування їх вершин у вибраній системі координат. Цей метод вже кілька років використовує компанія Cisco, і полягає він у тому, щоб визначити силу сигналу від клієнта на

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

3–4-х точках доступу Wi-Fi, і в зоні перетину можливого розташування клієнта щодо кожної точки позиціонувати пристрій (див. рис. 12, *а*, *б*) [39]. Цей метод є доволі інформативним. За правильного розміщення точок доступу можна з високою ймовірністю визначити координату клієнта з точністю 5–7 м. Хороший сценарій – це точки доступу по периметру приміщення і в центрі таким чином, щоб кожну точку в просторі "чули" 3–4 точки доступу Wi-Fi [39]. Перешкоди на шляху радіосигналу зменшуватимуть точність визначення координати. Статичні перешкоди необхідно змоделювати, а рухомі неминуче чинитимуть негативний вплив на точність.



1. Верхня частина;
2. Внутрішня частина;
3. Нижня частина;
4. Замкові ворота;
5. Підйомний міст;
6. Бастіон „Фердінанад";
7. Спостережна вежа;
8. Зерносховище;
9. Цистерна;
10. Колодязь;
11. Порохова вежа;
12. Замкова каплиця;
13. Казарма;
14. Стрільниці і стіни бастіонів;
15. Рови.

Рис. 10. План замку в м. Хуст (Закарпаття)

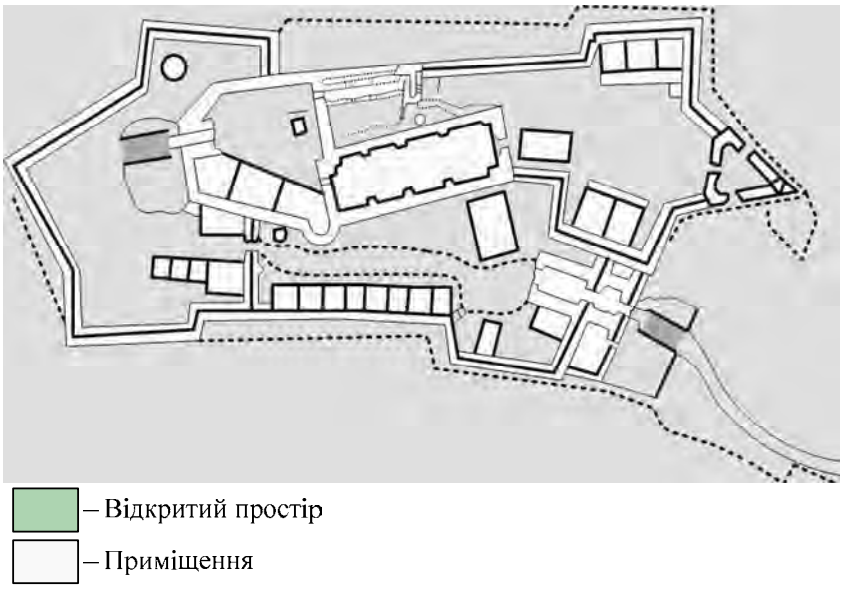


Рис. 11. Структура замку м. Хуст

Переважна більшість стін замкових приміщень завтовшки від 0,5 до 2 м, тому кожне окреме приміщення повинне мати свою підмережу Wi-Fi, що складається мінімум з трьох точок доступу.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

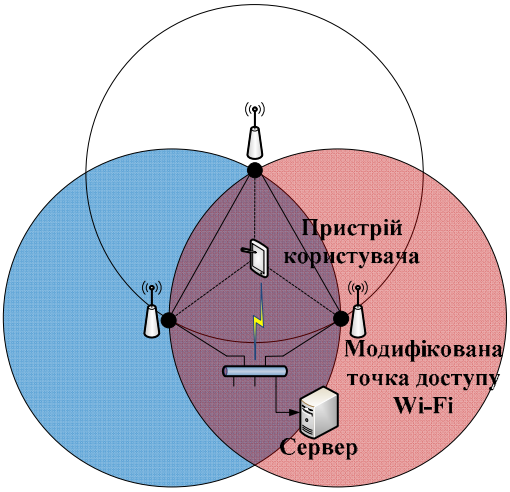


Рис. 12, а. Сегмент Wi-Fi-мережі

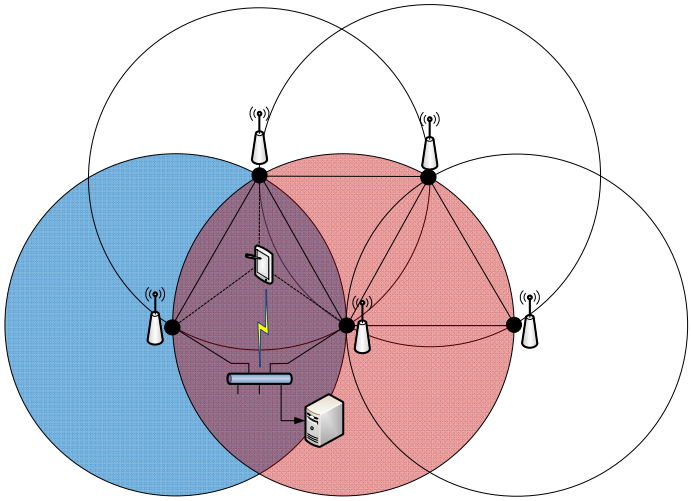


Рис. 12, б. Загальна структура мережі Wi-Fi

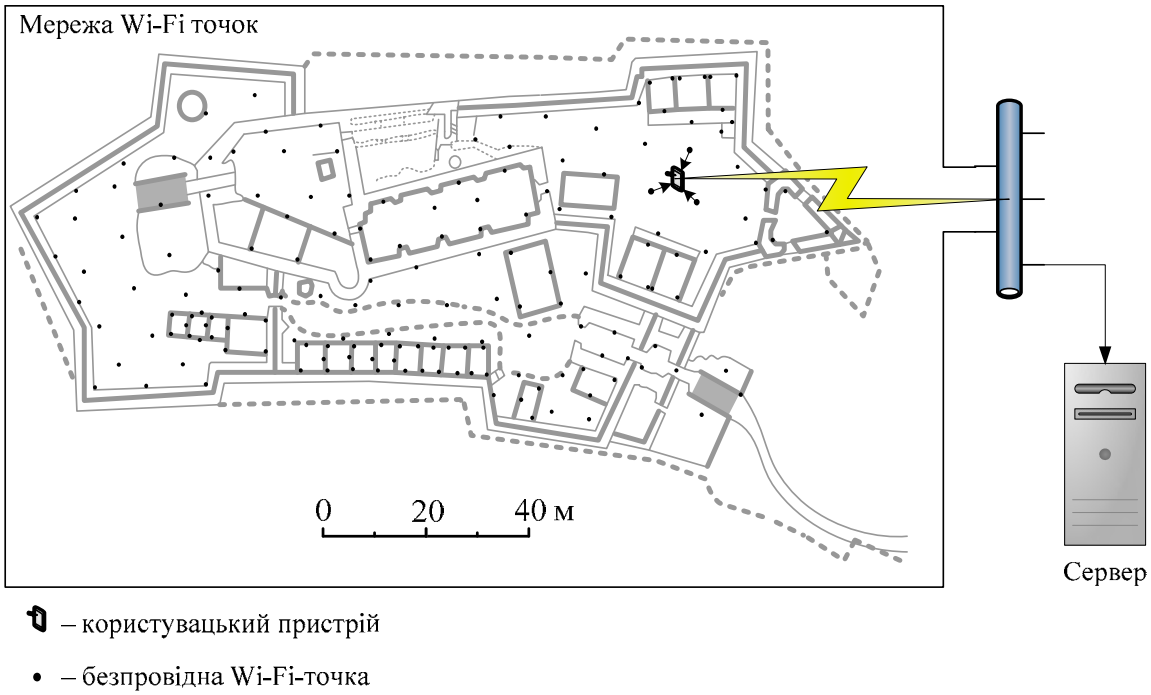


Рис. 13. Розміщення Wi-Fi-точок на території замку (м. Хуст)
(радіус дії точок доступу $r = 10$ м*)*

У результаті проведеного дослідження автори статті спроектували мережу Wi-Fi, що покриватиме як відкритий простір туристичного об'єкта, так і закритий (див. рис. 13). При побудові проекту мережі було враховано технічні особливості замкової будови, можливості розташування точок доступу в тих чи інших місцях тощо. Для підвищення точності позиціонування в мережі Wi-Fi точки доступу необхідно ставити частіше, тому що загасання сигналу і відстань від точки доступу знаходяться в експонентній залежності (див. рис. 13) [39]. Поруч з точкою доступу з віддаленням від неї зниження рівня сигналу значне, на віддалі – при віддаленні зниження рівня сигналу на одиницю відстані менше, і обчислити координату стає складніше [39]. Для найточнішого позиціонування було обрано безпровідні Wi-Fi-точки доступу радіусом дії $r = 10$ м.

Технологію позиціонування на основі опрацювання зображення з камери пристрою користувача заплановано використовувати для екскурсійного супроводу користувача по виставкових залах.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Загальну структуру запропонованого алгоритму позиціонування користувача зображено на рис. 14.

Процес визначення місцерозташування користувача складається з двох окремих фаз: навчання та позиціонування. Фаза навчання полягає в збиранні та тестуванні інформації із мережі Wi-Fi та збиранні візуальних даних об'єкта. Отриману інформацію записують у відповідні бази даних системи та надалі використовують для визначення місцерозташування конкретних користувачів.

Фаза позиціонування полягає в паралельному збиранні та опрацюванні даних мережі Wi-Fi, GPS та з камери користувацького пристрою. Потім результати функціонування окремих технологій позиціонування порівнюють та узагальнюють. Опрацьовують отримані дані з метою нівелювання похибки за алгоритмом ММ [3]: $MAD = \frac{1}{N}\sum_{s=1}^{N}\left|S_i - M_i\right|$, де, MAD – середнє абсолютне розходження (англ. mean absolute difference); S_i – виміряний профіль; M_i – профіль із бази даних; N – довжина профілю.

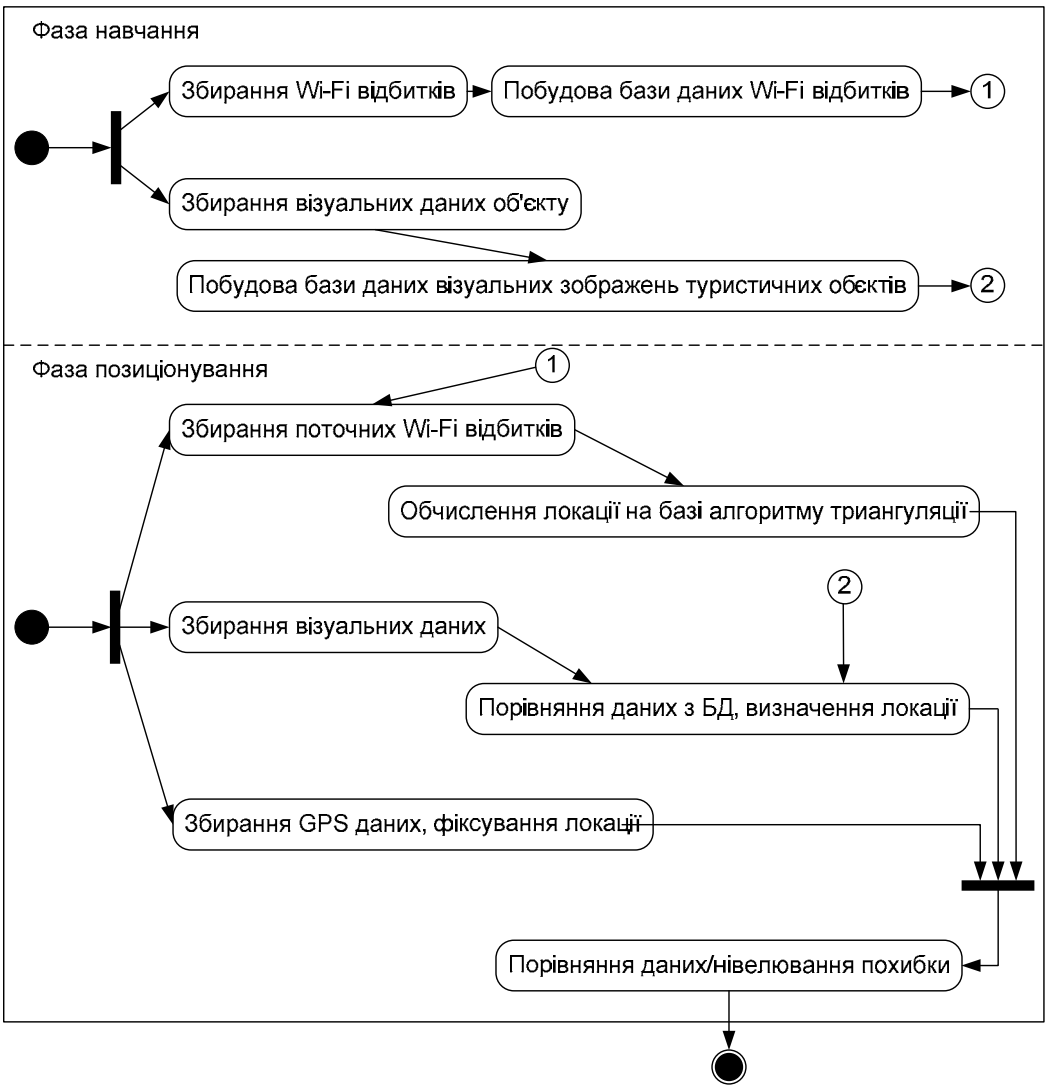


Рис. 14. Загальна схема алгоритму позиціонування системи MIAT

4. Аналіз отриманих наукових результатів

Аналіз обширного масиву інформаційних джерел засвідчив, що сфера розроблення нових інформаційних систем позиціонування та навігації в закритому складноорганізованому просторі,

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

орієнтованих на потреби конкретного користувача, сьогодні є слабко розвиненою і потребує подальших досліджень.

Особливими є потреби в технологіях позиціонування та навігації користувачів як на відкритому просторі, так і в середині закритих приміщень у галузі туризму. Автори статті дійшли висновку, що сьогодні на ринку технологій є недостатньо якісних повнофункціональних систем позиціонування та навігації туриста в закритих приміщеннях, таких як музеї, замки, галереї, готельні комплекси, архітектурні пам'ятки.

Особливу увагу слід при цьому звернути на оригінальні сучасні техніки та технології позиціонування динамічних об'єктів у закритому просторі, найпопулярнішими з яких є Wi-Fi, iGPS, RFID, NFC та технології опрацювання візуальних зображень. Кожна із зазначених технологій має свої переваги та недоліки залежно від сфери використання та специфіки навколишнього середовища.

Wi-Fi-технології мають вищу точність позиціонування порівняно з Bluetooth- чи RFID-технологіями. Хоча є обмеження щодо вартості: точки доступу типу Wi-Fi більш вартісні, аніж за інших технологій позиціонування. Bluetooth-технологія також не є доступною в зазначеній сфері застосування з погляду її високої вартості, проте має і суттєві переваги: вона є відносно простою в експлуатації, надійною та сумісною із стандартними мобільними пристроями, в яких її використовують, зазвичай незначних за розмірами. Точність і вартість технології RFID залежить від типу приймача сигналів та кількості RFID-міток. Стрімко набуває популярності технологія NFC, яка має доволі високу точність, а передавачі, що працюють за цією технологією, з'являються у більшості сучасних мобільних засобів. Проте через малий радіус дії зазначена технологія має обмеження на сфери її застосування.

Основні зусилля дослідників сьогодні зосереджено на розробленні ефективних алгоритмів опрацювання навігаційних даних з метою підвищення точності процедур позиціонування та покращення технологічної сумісності різних користувацьких пристроїв.

У результаті проведеного дослідження автори статті розробили алгоритм функціонування навігаційної компоненти системи "MIAT" в умовах складно структурованих туристичних об'єктів. Функціонування зазначеного алгоритму ґрунтується на методах збирання Wi-Fi-відбитків мережі, опрацюванні візуальних даних з пристрою та GPS-позиціонування.

Висновки і перспективи подальших наукових розвідок

У статті проаналізовано інформаційні технології та сучасні дослідження щодо позиціонування та навігації користувацького пристрою в замкнених приміщеннях. Сформовано висновок, що для реалізації процедур якісного позиціонування та навігації туриста в середині закритих приміщень, якими є зокрема замки, музеї, галереї та пам'ятки архітектури, слід використовувати комбінації таких відомих та популярних навігаційних технологій, якими є Wi-Fi, GSM, GPS та технологій опрацювання візуальних зображень, що можна використовувати почергово залежно від специфіки та особливостей навколишнього середовища з врахуванням персоніфікованих потреб того чи іншого користувача.

Надалі автори планують зосередитись на розробленні оригінальних програмно-алгоритмічних методів позиціонування та опрацювання навігаційних даних з метою забезпечення якісного функціонування навігаційної компоненти системи MIAT для використанні її в замкнутих складно просторово організованих приміщеннях [40].

1. Bekkelien A. Bluetooth Indoor Positioning / Bekkelien A. // Master of Computer Science / University of Geneva. – Geneva, 2012. – March 2. Indoor GPS: system functionality and initial performance evaluation / D. A. Malsano, F. Franceschini, P. G. Maropoulos, L. Mastroglacomo // International journal of manufacturing research. – 2008. – January. 3. WiFi-Aided Magnetic Matching for Indoor Navigation with Consumer Portable Devices / You Li, Yuan Zhuang, Haiyu Lan, Peng Zhang, Xiaoji Niu, Naser El-Sheimy // Micromachines. – 2015. – Vol. 6. – P. 747–764. 4. Ozdenizci B. NFC Internal: An Indoor Navigation System / Busra Ozdenizci, Vedat Coskun, Kerem Ok // Sensors. – 2015. – Vol. 15. – P. 7571–7595.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

5. Mobile Robot Positioning with 433-MHz Wireless Motes with Varying Transmission Powers and a Particle Filter / Adrian Canedo-Rodriguez, Jose Manuel Rodriguez, Victor Alvarez-Santos, Roberto Iglesias, Carlos V. Regueiro // Sensors. – 2015. – Vol. 15. – P. 10194–10220. 6. A Fast and Precise Indoor Localization Algorithm Based on an Online Sequential Extreme Learning Machine / Han Zou, Xiaoxuan Lu, Hao Jiang, Lihua Xie // Sensors. – 2015. – Vol. 15. – P. 1804–1824. 7. An indoor navigation system for visually impared and elderly people based on Radio Frequency Indentification (RFID) / Charalampos Tsirmpas, Alexander Rompas, Orsalia Fokou, Dimitris Koutsouris // Information Sciences. – 2015. – Vol. 320. – P. 286–305. 8. Robust indoor localization and tracking using GSM fingerprints / Ye Tian, Bruce Denby, Iness Ahriz, Pierre Roussel, Gerard Dreyfus // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. – 2015. – December. *– P. 12. 9. On the Potential Use of Mobile Positioning Technologies in Indoor Environments / George M. Giaglis, Ada Pateli, Kostas Fouskas, Panos Kourouthanassis, Argiris Tsamakos // 15th Bled Electronic Commerce Conference eReality: Constructing the eEconomy, June 17–19, Bled, Slovenia. – Bled, 2002. 10. A simple ultrasonic GSM system for indoor mobile robot system using Kalman filtering / Kyung-Hun Hwang, Do-Eun Kim, Dong-Hun Lee, Tae-Young Kue // SICE-ICASE International Joint Conference, Oct. 18–21, 2006, Busan, Korea. – Busan, 2006. – P. 2915–2918. 11. Experimental deployment of the indoor GPS large volume metrology system in a large scale production facility / Z. Wang, J. Jamshidi, P. Maropoulos, G. Owen, T. Mileham // Proceedings of the 3rd International Conference on Manufacturing Engineering, 1-3 October 2008, Chalkidiki, Greece. – Chalkidiki, 2008. 12. Indoor GPS: system functionality and initial performance evaluation / Domenico A. Maisano, Jafar Jamshidi, Fiorenzo Franceschini, Paul G. Maropoulos, Luca Mastrogiacomo, Antony R. Mileham, Geraint W. Owen // International Journal Manufacturing Research. – 2008. – Vol. 3. – No. 3. – P. 335–349. 13. Integrated Indoor Navigation System for Ground Vehicles with Automatic 3D Alignment and Positionin Initialisation / Mohamed M. Atia, Shifei Liu, Heba Nematallah, Tashfeen B. Karamat, Aboelmagd Noureldin // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2015. – Vol. 64, Issue 4, April . – P.* 1279 *- 1292. 14. Lopez-Risueno G. Measurement and processing of indoor GPS signals using a one-shot software receiver / Gustavo Lopez-Risuen, GonzaloSeco-Granados // Proc.of 2nd ESA Workshop on Satellite Navigation User Equipment Technologies (NAVITEC'2004), 2004. – Режим доступу: http://www.bibsonomy.org/bibtex/29d171299628271871335f0e580bd052b/bmuth. 15. Verification of the Indoor GPS system by comparison with points calibrated using a network of laser tracker measurements / J. E. Muelaner, J. Jamshidi, Z. Wang, P. G. Maropoulos //. Proceedings of the 6th CIRP-Sponsored International Conference on Digital Enterprise Technology, China, Hong Kong, 2009. –2009, Springer. – .Vol. 66. –P.* 607-619 *16. Vittorini L.D. Receiver Frequency Standarts. Optimising Indoor GPS performance / Larry D. Vittorini, Brent Robinson // GPS world. – 2003. – November, . – P. 40–48. 17. Dedes G. Indoor GPS positioning. Chalanges and opportunities / George Dedes, Andrew G. Dempster // Proceedings of Vehicular Technology Conference,* 25 Sep - 28 Sep 2005, Dallas, TX, USA. – Dallas, *2005. – P.412-415. 18. Hybrid vision-based navigation for mobile robots in mixed indoor/outdoor environments / Pablo De Cristoforis, Matias Nitsche, Tomas Krajnik, Taihu Pire, Marta Mejail // Pattern Pecognition Letters. – 2015. – Vol. 53. – P. 118–128. 19. Idrees A. An efficient indoor navigation technique to find optimal route for blinds using QR codes / Affan Idrees, Zahrid Iqbal, Maria Ishfaq // Proceedings of Industrial Electronics and Applications,* 15-17 June 2015, *Auckland, New Zealand. – Auckland, 2015. – P. 690–695. 20. Rivera-Rubio J. Appearance-based indoor localisation: A comparison of patch descriptor performance / Jose Rivera-Rubio, Ioannis Alexiou, Anil. A. Bharath // Pattern Recognition Letters. – 2015. – Vol. 66. – P. 109–117. 21. Simple yet stable bearing only navigation / T. Krajnik, J. Faigi, V. Vonasec, K. Kosnar, M. Kulich, L. Preucil // Field Robot. – 2010. – Vol. 27. – No. 5. – P. 511–533. 22. Chen Z. Qualitative vision-based path following / Z. Chen, S. Birchfield // Robots. – 2009. – Vol. 25. – No. 3. – P. 749–754. 23. Rajakaruna N. Efficient and adaptive generic object detection method for indoor navigation / Nimali Rajakaruna, Iain Murray // Proc. of International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, 28-–1 Oct 2013, France. – Thu, 2013. 24. A floor-Map-Aided WiFi/Pseudo-Odometry integration algorithm for an*

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

indoor positioning system / Jian Wang, Andong Hu, Chunyan Liu, Xin Li // Sensors. – 2015. – Vol. 15. – P. 7096–7124. 25. Du Y. A novel method for constructing a WIFI Positioning System with efficient manpower / Yuanfeng Du, Dongkai Yang, Chundi Xiu // Sensors. – 2015. – Vol. 15. – P. 8358–8381. 26. Ma R. An improved WiFi Indoor Positioning algorithm by weighted fusion / Rui Ma, Qiang Guo, Changzhen Hu, Jingfeng Xue / Sensors. – 2015. – Vol. 15. – P. 21824–21843. 27. Smartphone-based indoor integrated WiFi/MEMS positioning algorithm in a multi-floor environment / Zengshan Tian, Xin Fang, Mu Zhou, Lingxia Li // Micromachines. – 2015. – Vol. 6. – P. 347–363. 28. Page M. The mobile economy 2013 / M. Page, M. Molina, J. Gordon. – Available online at: https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwio1tTI3ePLAhUB73IKHYp2BDYQFggbMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.atkearney.com%2Fdocuments%2F10192%2F760890%2FThe_Mobile_Economy_2013.pdf&usg=AFQjCNGJZWf1hqWbvqTDvyWVG2NhPimL6g&sig2=RbasjvAZa9fCUfMEKZDjVg. 29. RFID. – Available online at: http://www.matriks-pres.com.ua/index.php/2/rfid1. 30. About Near Field Communication. – Available online at: http://www.nearfieldcommunication.org/about-nfc.html. 31. NFC/INS Integrated Navigation System: the promising combination for pedestrians' indoor navigation / Ezzaldeen Edwan, Mohamed Bourimi, Niko Joram, Belal Al-Qudsi, Frank Ellinger // Proc. of 2014 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering, 28 Nov – 29 Nov 2014, Bucharest, Romania. – Bucharest, 2014. – Available online at: https://www.researchgate.net/publication/270900985_NFCINS_Integrated_Navigation_System 32. Іващенко Н. Г. Технологія BlueTooth / Н. Г. Іващенко // UA-referat. – Режим доступу: http://ua-referat.com/ …_BlueTooth. 33. What is LIDAR // National oceanic and atmospheric administration. United States Department of Commerce. – Available online at: http://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html. 34. Evennou F. Advanced integration of WiFi and Internal Navigation System for indoor mobile positioning / Frederic Evennou, Francois Marx // EURASIP Journal on Applied Signal Processing. – 2006. –Vol. 2006. –. – P. 1–11. 35. Покажіть що всередині. – Режим доступу: https://www.google.com/maps/about/partners/indoormaps/. 36. GROPING: Geomagnetism and crowdsensing powered indoor navigation / Chi Zhang, Kalyan P. Subbu, Jun Lou, Jianxin Wu // Transactions on mobile computing. – 2015. – Vol. 14,Issue 2. – P. 387–400. 37. Bahl P. RADAR: an in-building rf-based user location and tracking system / Paramvir Bahl, Venkata N. Padmanabhan // Microsoft Research. Proc. IEEE INFOCOM, March 1, 2000,Maui, Hi. – Maui, 2000. – Vol. 2. – P. 775–784. 38. Артеменко В. В. Інформаційні технології в галузі туризму. Аналіз застосувань та результатів досліджень / О. І. Артеменко, В. В. Пасічник, В. В. Єгорова // Вісник Національного університету "Львівська політехніка".. – 2015. – № 814: Інформаційні системи та мережі. – С. 3–22. 39. Позиционирование в сетях Wi-Fi с высокой точностью // Хабрахабр. – Режим доступа: https://habrahabr.ru/company/cisco/blog/270779/. 40. Савчук В. В. Інтелектуальна система "Мобільний інформаційний асистент туриста": функціональні та технологічні особливості / В. В. Савчук, В. В. Пасічник // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2015. – № 832: Інформаційні системи та мережі. –С.225-241. 41. Oppermann S. Adaptive support for mobile museum guide / Oppermann S., Specht M. // Proc. of the Interactive Applications on Mobile Computing Conference, 24–25 November, 1998, Rostock, Germany. . – Rostock, 1998. –P642-646.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua