

М. С. Лисенко; Н. М. Лобанчикова, канд. техн. наук, доц.

МОДЕЛІ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВІРТУАЛЬНОГО СУПРОВОДУ В ЗАКЛАДАХ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

Сучасний стан розвитку інформаційних технологій та цифровізації суспільства створюють передумови для удосконалення процесів надання послуг, зокрема в галузі охорони здоров'я. Враховуючи глобальні виклики, демографічні зміни та тенденції зростання кількості осіб з особливими потребами, актуальності набуває питання модернізації процесів надання медичних послуг. Важливим напрямком такого удосконалення є розробка моделей, методів та технологій створення програмного забезпечення для віртуального супроводу пацієнтів у медичних закладах. Це передбачає врахування індивідуальних потреб користувачів, адаптивність системи до зміни умов навколишнього середовища та можливість інтеграції з наявними медичними інформаційними системами. У статті проведено аналіз наукових досліджень, спрямованих на удосконалення медичних інформаційних систем шляхом розробки нових методів діагностики, інтелектуалізації процесів обробки медичної інформації та автоматизації процесів прийняття рішень у закладах охорони здоров'я. Особливу увагу приділено дослідженню навігаційних систем у медичних установах та їх адаптації для потреб маломобільних груп населення. Проведений аналіз наукових розробок, спрямованих на створення сучасних програмних продуктів та навігаційних систем, дозволив визначити основні етапи їх побудови, інтеграційні технології, функціональні можливості та потенційні напрями подальшого розвитку. На основі отриманих результатів розроблено концептуальні моделі створення програмного забезпечення для віртуального супроводу пацієнтів у закладах охорони здоров'я. Для формалізації процесу розробки використано методологію функціонального моделювання IDEF0, яка дозволяє описати структуру системи, взаємозв'язки між її компонентами та основні етапи функціонування. Також застосовано уніфіковану мову моделювання UML, що дало змогу деталізувати архітектуру системи, сценарії взаємодії користувача з програмним забезпеченням та механізми адаптації маршруту до потреб конкретного пацієнта. Запропоновані підходи сприяють підвищенню рівня інклюзивності медичних послуг, зменшенню часу навігації пацієнтів у складних архітектурних середовищах та оптимізації роботи медичних закладів шляхом використання інтелектуальних інформаційних систем.

Ключові слова: IDEF0, UML, віртуальний супровід, заклади охорони здоров'я, користувач, маломобільні групи, моделі, медичні заклади, навігаційні системи, пацієнт, програмне забезпечення, розробка, система.

Вступ

Цифровізація суспільства та розвиток інформаційних технологій створюють передумови для покращення нашого життя та діяльності, включаючи надання медичних послуг. Сучасний стан цифровізації суспільства вимагає надання послуг відповідного рівня. За останні роки в Україні відбулася цифрова трансформація державних послуг, спрямована на підвищення ефективності управління цифровими процесами на всіх рівнях та удосконалення процедур надання державних послуг. Результатом цифровізації медицини є впровадження і розвиток національної електронної системи охорони здоров'я eHealth, яка являє собою своєрідну "екосистему", що об'єднує в собі медичні інформаційні системи, реєстри та величезну кількість інформації про пацієнтів, заклади охорони здоров'я, аптеки. Ця трансформація призвела до появи багатьох цифрових послуг, зокрема електронних рецептів, електронних направлень та формування електронних медичних висновків.

Сьогоднішні реалії в Україні призводять до збільшення числа людей з особливими потребами та маломобільних груп населення загалом, що створює нові виклики і ставить нові завдання перед медичними закладами та медичним обслуговуванням в цілому. Враховуючи події сьогодення в Україні стрімко розвивається телемедицина, яка спроможна

вирішити ряд проблем з доступністю закладів охорони здоров'я, надання вчасної кваліфікованої медичної допомоги. Актуальним є питання доступності та супроводу пацієнтів для забезпечення вільного пересування в межах закладів охорони здоров'я, а також забезпечення безпеки маршрутів пересування та їх оптимізації. Слід зазначити, що оптимізація маршрутів руху маломобільних груп населення в приміщеннях медичних установ, а особливо незнайомих, відіграє важливу роль, створюючи комфортні умови пересування та підвищуючи рівень надання медичних послуг.

Важливість систем віртуального супроводу значно зросла в останні роки завдяки їх доступності та розширеному функціоналу. Вони дозволяють користувачам отримувати інформацію про своє місцезнаходження та ефективно використовувати її в різних ситуаціях за допомогою мобільних пристроїв. Аналіз функціоналу медичних інформаційних систем показав відсутність систем віртуального супроводу для пацієнтів медичних установ [1]. Тому розробка моделей, методів і технологій створення програмного забезпечення для віртуального супроводу в закладах охорони здоров'я є актуальною.

Аналіз останніх досліджень та постановка проблеми

З розвитком інформаційних технологій та зміною ситуації в Україні, зросла потреба у вдосконаленні медичних інформаційних систем. Відповідно з'явилися наукові дослідження, зокрема роботи [2 – 5] мають на меті знайдення нових моделей, методів та технологій для діагностування пацієнтів, в тому числі віддаленого, за рахунок програмних додатків та телемедицини, роботи [6 – 10] присвячені інтелектуалізації процесів прийняття рішень, обробки даних, розпізнавання вхідних потоків даних лікарями для діагностування станів пацієнтів. В роботах [11 – 14] колективи науковців висвітлюють питання особливостей побудови сучасних програмних продуктів.

Навігаційні системи (системи віртуального супроводу) можна розділити на зовнішні навігаційні системи та внутрішні навігаційні системи. Зовнішні навігаційні системи використовують системи глобального позиціонування (GPS), загальнодоступні карти та супутникові знімки. Однак ці дані не підходять для внутрішніх навігаційних систем, які працюють у будівлях, або на невеликих напіввідкритих майданчиках, таких як школи, лікарні та торгові центри. Через несумісність і низьку точність стандартних технологій позиціонування, розробка систем навігації всередині приміщень стала предметом численних досліджень. Це призвело до високої різноманітності розроблених технологій, методів та інфраструктури для впровадження, що ускладнює встановлення загального стандарту для таких систем. Використання внутрішніх систем віртуального супроводу надає користувачу значні переваги, особливо коли людина вперше відвідує будівлю, де відсутні внутрішні покажчики, або персонал, який може надати необхідні інструкції. В такому разі, внутрішні навігаційні системи дозволяють ідентифікувати об'єкти в будівлі і надають інформацію про них.

Проведений аналіз публікацій, зокрема [16 – 25] дозволив визначити, що системи навігації в середині приміщенні з використанням доповненої реальності (AR) включають чотири основні етапи, а саме:

1. Моделювання будівлі, в якій буде використовуватися система.
2. Розробка методів позиціонування/відстеження переміщень користувача.
3. Розробка та застосування оптимальних алгоритмів пошуку найкращого маршруту.
4. Візуалізація шляху за допомогою AR-дисплеїв.

В [16] дослідження зосереджуються на інтеграції технологій доповненої реальності та семантичної мережі для розробки навігаційних систем. Авторами пропонується архітектура, яка використовує доповнену реальність для відображення віртуальних стрілок за допомогою QR-кодів на підлозі, а семантичний веб – для побудови маршрутів без контекстної інформації про навколишнє середовище. Функція відстеження місцезнаходження

реалізується за допомогою інерційних датчиків на мобільному телефоні для вимірювання руху та використання QR-кодів, і сторонніх постачальників карт для встановлення місцезнаходження. В [17] авторами запропоновано навігаційну систему ARBIN з використанням технологій доповненої реальності, яка розміщує навігаційні інструкції на екрані середовищ реального світу для зручності використання. Тестування системи проводилось на 1800 м², що включали 35 кінцевих точок, наприклад, серцево-судинна клініка, рентгенівський кабінет, аптека тощо. Для проведення експерименту було обрано 4 типи смартфонів, які є доволі поширеними серед населення. Результати проведеного експерименту показали, що ARBIN може досягати точності від 3 до 5 м і надавати користувачам правильні інструкції на шляху до місць призначення.

Колектив авторів з Японії [17] запропонував навігаційну систему на основі віртуальної реальності за допомогою камери RGB-D і гібридної карти. Особливістю запропонованих рішень є те, що система не використовує маркери для навігації, а її робота базується на використанні камери RGB-D для спостереження за навколишнім середовищем і створення карти хмари точок за допомогою технології одночасної локалізації та відображення (SLAM). На наступному етапі розробляється навігаційна гібридна карта на основі інтеграції карти хмари точок і карти підлоги. Також авторами було запропоновано метод виправлення помилок для покращення правильності навігації. Хуанг та його колеги [18] використовують Lbeacon (малопотужний Bluetooth-маяк) для позиціонування і застосовують алгоритм Дейкстри для пошуку найкращого маршруту. Машаель Хайят [19] вивчає користувацький досвід (задоволеність) та подальше використання розробленого додатку GuideMe для навігації в приміщенні з використанням доповненої реальності. Відгуки користувачів збирали за допомогою анкети, яку заповнили 35 респондентів, що добровільно погодилися протестувати GuideMe. Дослідження показало, що GuideMe полегшив користувачам навігацію та пошук локацій у приміщенні самостійно, зручно та ефективно, без необхідності запитувати інших про напрямок. Таким чином, проведене дослідження свідчить про задоволеність користувачів цим програмним продуктом. Високе середнє значення параметру «поведінковий намір використання» вказує на те, що користувачі готові продовжувати використання GuideMe. Це було додатково засвідчено проведеним аналізом “підтвердження очікувань”. Результати цього дослідження також свідчать про високий намір використовувати цей навігаційний додаток у великих комплексах, таких як аеропорти, торгові центри, школи, лікарні та бібліотеки.

Міжнародним колективом дослідників в [20] було розглянуто та проаналізовано поточні підходи, програми та рішення, розроблені для різних аспектів внутрішньої навігації. Визначено останній стан використання Building Information Modeling (BIM) на основі Industry Foundation Classes (IFC) для внутрішньої навігації. В [21] використовують камери та інерційні датчики в рамках доповненої реальності для відстеження 3D-хмар точок, які представляють місцезнаходження і допомагають навігації в повній (попередньо відсканованій) 3D-просторовій моделі. Потім “якорі” зберігаються в хмарній базі даних, а найкоротший маршрут обчислюється за допомогою алгоритму A*. Дослідники [22] в своїй роботі запропонували мобільну систему для навігації в приміщенні, яка використовує доповнену реальність (AR) для відображення інформації про цікаві об'єкти, що зберігаються в базі даних, під час процесу навігації. Позиція користувача визначається шляхом виявлення маркерів, розміщених у навколишньому середовищі, які відстежуються датчиками руху мобільного пристрою. Для представлення просторової моделі використовується згенерована комп'ютером площина, яка накладається на сторонню картографічну систему, що використовує широту і довготу як координати. Крім того, навігаційні маршрути розраховуються за допомогою алгоритму A* і відображаються на карті у вигляді ліній.

Міжнародний колектив дослідників в [23] запропонували систему покрокової навігації NavCog3 на смартфоні для людей з вадами зору. Система базується на використанні маяків

Bluetooth, що розміщені в навколишньому середовищі та розрахована на використання середньостатистичного смартфона, який наявний у користувача. Проведені експерименти показали коректність роботи програми. В [24] запропоновано керований семантикою метод для реконструкції внутрішнього навігаційного елемента з даних датчика RGB-D. У розробленій ієрархічній структурі використовується метод розпізнавання графової згорткової мережевої архітектурної структури, що використовується для виведення довгострокових взаємодій між примітивами для опису багатих фізичних взаємозв'язків у реальному світі. Розроблено адаптивний метод сегментації приміщень, керований архітектурною структурою, шляхом поєднання трансформації відстані та сегментації вододілу для визначення стільникових просторів. Запропоновано метод реконструкції топологічних зв'язків, керований дверима, для досягнення мережевого графічного представлення внутрішнього середовища. Колективом дослідників в [25] визначено переваги та недоліки сучасних доступних навігаційних систем для приміщень, проведено опис дослідження щодо використання комерційних інтелектуальних пристроїв для навігації маршрутами через складну і громіздку будівлю. Отримані поведінкові результати продемонстрували, що доступ до інформації в режимі реального часу (за допомогою системи) призвів до кращої точності навігації та більшої впевненості користувачів з вадами зору, порівняно з «умовою пам'яті».

В результаті проведеного аналізу досліджень встановлено, що особливе місце в сучасних медичних інформаційних системах займають: інтелектуалізація процесів розпізнавання, обробки та аналізу медичної інформації; методи, засоби та технології телемедицини, що особливо актуально в період військового стану; розробка методів, алгоритмів та технологій систем навігації; edge computing. Розглянуті дослідження з навігації, спрямовані на вирішення питань маркування, відображення інформації, семантичної складової, визначення оптимального маршруту та відображення додаткової інформації. Проведений аналіз встановив відсутність моделей, методів та технологій розробки програмного забезпечення для віртуального супроводу, що враховують потреби маломобільних груп населення та враховують особливості складання маршруту для цієї групи людей.

Цілі та завдання дослідження

Метою цієї публікації є розробка моделей побудови програмного забезпечення для віртуального супроводу маломобільних груп населення в закладах охорони здоров'я за допомогою методології функціонального моделювання IDEF0 та уніфікованої мови моделювання у вигляді UML-діаграм.

До завдань дослідження слід віднести побудову: функціональної моделі у вигляді IDEF0 - діаграм, що відображає структуру і функції системи, а також потоки інформації і матеріальних об'єктів, що зв'язують ці функції; UML-діаграм активності програмного забезпечення для віртуального супроводу пацієнтів, діаграму послідовності дій системи, узагальнену діаграму прецедентів ролі «Адміністратор», користувача «Пацієнт» та діаграму прецедентів системи.

Моделювання програмного забезпечення для віртуального супроводу в закладах охорони здоров'я

Для удосконалення медичних інформаційних систем та підвищення доступності медичних послуг пропонується впровадження системи віртуального супроводу в закладах охорони здоров'я (рис. 1). До складу системи входять (рис. 2 – 4): модуль визначення місцезнаходження користувачів, який в свою чергу включає модуль сканування QR-кодів; модуль Wi-Fi-позиціонування та модуль BLE-маяків; модуль доповненої реальності; модуль пошуку оптимального маршруту; модуль інтеграції.



Рис. 1. Структурна модель удосконалення MIC

Модуль сканування QR-кодів призначений для визначення поточних координат місцезнаходження пацієнта в межах будівлі за результатами сканування QR-коду (рис. 3 та рис. 4). По периметру будівлі медичного закладу розміщено QR-коди, які мають чітко визначені координати. Ці координати визначають початкову вершину руху пацієнта.



Рис. 2. Контекстна діаграма A-0 системи віртуального супроводу в закладах охорони здоров'я

Робота модулю пошуку оптимального маршруту базується на модифікованому алгоритмі Дейкстри та продукційної моделі представлення знань для прийняття рішень (рис. 3). Профіль користувача визначає його тип потреби, наприклад, «без особливостей», «маломобільність», «порушення зору», що впливає на визначення ваги ребра графу, що дозволяє адаптувати маршрут під конкретного користувача.

Модуль пошуку оптимального маршруту отримує дані про початкове або поточне місцезнаходження користувача та місце призначення, яке користувач вибирає за рахунок інтерфейсної частини програмного забезпечення. Крім того проведено модифікацію графа за рахунок впровадження додаткової динамічної складової, що відповідає за стан середовища, зокрема стан справності ліфтів, тимчасові перешкоди, ремонтні роботи. Визначено пріоритетність для кожного типу потреб користувача, яка враховується при визначенні маршруту пересування.

Наявність модулів Wi-Fi-позиціонування та BLE-маяків обґрунтоване використанням розробленого гібридного алгоритму для підвищення точності і надійності позиціонування, який комбінує дані з Wi-Fi точок доступу (визначення місцезнаходження на основі аналізу рівня отриманого сигналу (RSSI)) та BLE-маяків (трилатерація на основі RSSI). Модуль інтеграції відповідає за визначення вершини графу, де перебуває користувач. Він приймає координати з модулю WiFi-позиціонування та модулю BLE-маяків і на підставі продукційних правил приймає рішення щодо визначення місцезнаходження користувача.

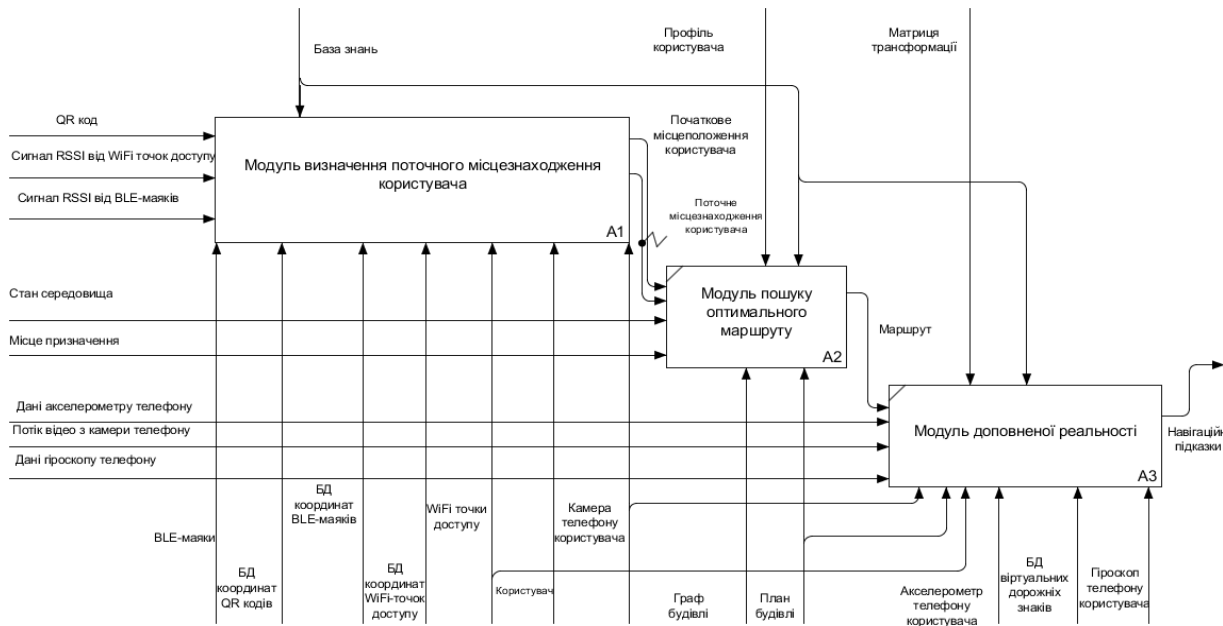


Рис. 3. Функціональна модель процесу створення навігаційних підказок в системі віртуального супроводу в закладах охорони здоров'я

Модуль доповненої реальності інтегрований з гібридною системою позиціонування, модулем пошуку оптимального шляху, що дозволяє здійснювати навігацію через AR-інтерфейс накладаючи вказівники руху на потік відео з камери телефону, враховуючи поточне місцеперебування пацієнта в будівлі.

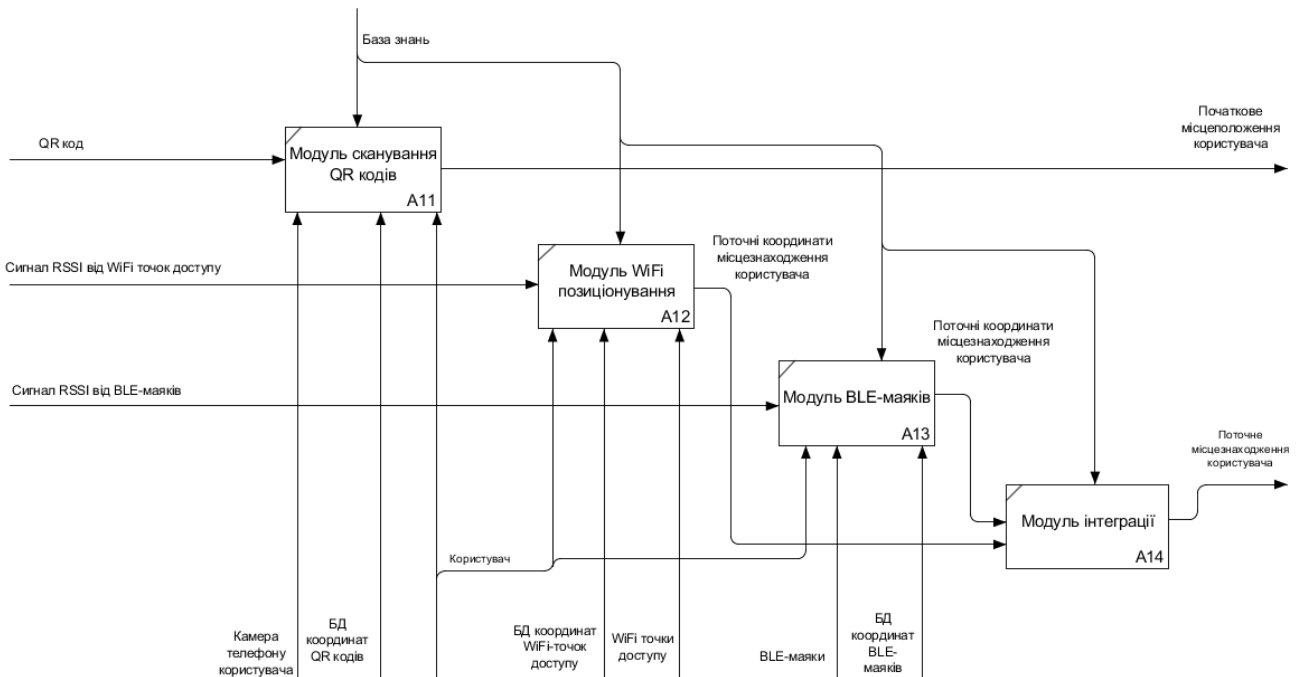


Рис. 4. Функціональна модель процесу визначення поточного місцеперебування користувача

Для побудови моделей програмного забезпечення використовуємо уніфіковану мову моделювання UML [26, 27]. В результаті проведених досліджень була розроблена узагальнена діаграма діяльності програмного забезпечення для віртуального супроводу (рис. 5). Після запуску програми на мобільному телефоні, користувач повинен відсканувати найближчий QR-код для визначення свого місцезнаходження. QR-коди повинні бути

розміщені на ключових локаціях будівлі, таких як вхід, біля кабінетів лікарів, на перехрестях коридорів тощо.

Після визначення місця перебування, користувачу пропонується список пунктів призначення, включаючи доступних лікарів та інші послуги, що надаються в закладі охорони здоров'я. Після вибору пункту призначення локальний сервер генерує маршрут і передає його на додаток мобільного пристрою. Після перегляду маршруту користувач може розпочати навігацію за допомогою технології доповненої реальності. Камера пристрою вмикається, а напрямні лінії проєктуються на підлогу будівлі для вказівки шляху. Після досягнення пункту призначення додаток повідомляє про це користувача спливаючим повідомленням.



Рис. 5. Узагальнена діаграма активності програмного забезпечення для віртуального супроводу пацієнтів

Діаграма послідовності дій (рис. 6), описує процес взаємодії системи віртуального супроводу з користувачем. Після запуску додатку пацієнт сканує QR-код камерою мобільного пристрою, і на сервер надсилається ідентифікатор просканованого коду.

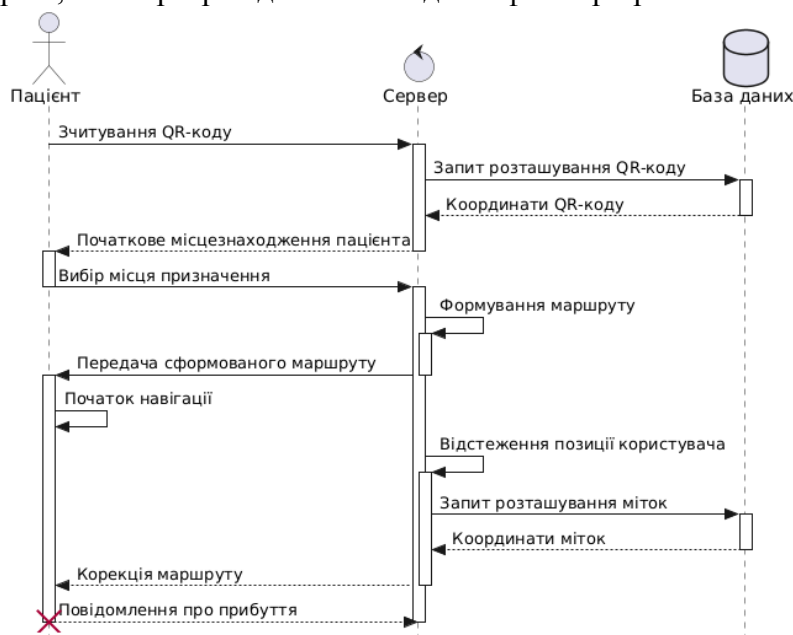


Рис. 6. Діаграма послідовності дій системи віртуального супроводу при взаємодії з користувачем

Сервер здійснює запит до бази даних, що містить інформацію про розташування всіх QR-кодів, які використовуються для навігації в будівлі. База даних повертає серверу координати відповідної QR-мітки, після чого сервер також передає їх на додаток пацієнта. Після отримання даних про своє місцезнаходження, пацієнт обирає пункт призначення, інформація про який надсилається на сервер. Сервер генерує маршрут до вибраного пункту призначення та передає його додатку пацієнта. Користувач може переглянути маршрут і, за необхідності, розпочати навігацію за допомогою технології доповненої реальності. Під час навігації сервер відстежує позицію користувача шляхом визначення його місцезнаходження за допомогою Bluetooth-міток та коригує маршрут у разі відхилень, відображаючи скоригований маршрут на пристрої користувача. Після прибуття користувача до пункту призначення додаток сповіщає користувача про прибуття до місця призначення, передає відповідне повідомлення на сервер, який припиняє відстеження місцезнаходження користувача.

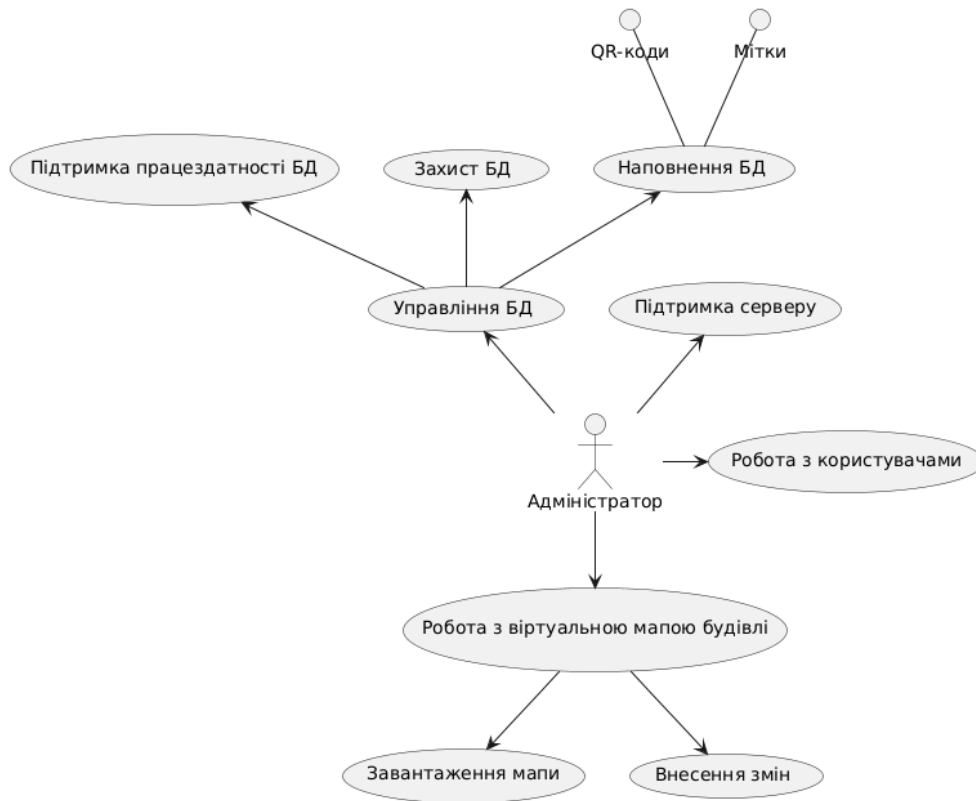


Рис. 7. Узагальнена діаграма прецедентів ролі «Адміністратор»

У системі віртуального супроводу передбачається дві ролі користувачів – «Адміністратор» та «Пацієнт». «Адміністратор», (рис. 7), відповідає за управління базою даних, зокрема що включає підтримку працездатності бази даних; захист бази даних; наповнення бази даних інформацією про розташування QR-кодів та Bluetooth-міток.

Крім того, він відповідає за підтримку серверу, роботу з користувачами. Також адміністратор має доступ до функціоналу роботи з віртуальною мапою будівлі, тобто має можливість завантажувати мапу на сервер та, за потреби, вносити в неї зміни. Всі вказані роботи є трудомісткими та містять ряд операцій, які має проводити «Адміністратор» для їх реалізації. Розуміємо, що «підтримка серверу» є багатофункціональною задачею, яка передбачає ряд функцій та алгоритмів. В цьому випадку представлено узагальнену діаграму прецедентів для «Адміністратора». Програмна реалізація панелі адміністратора наведена на рис. 8.

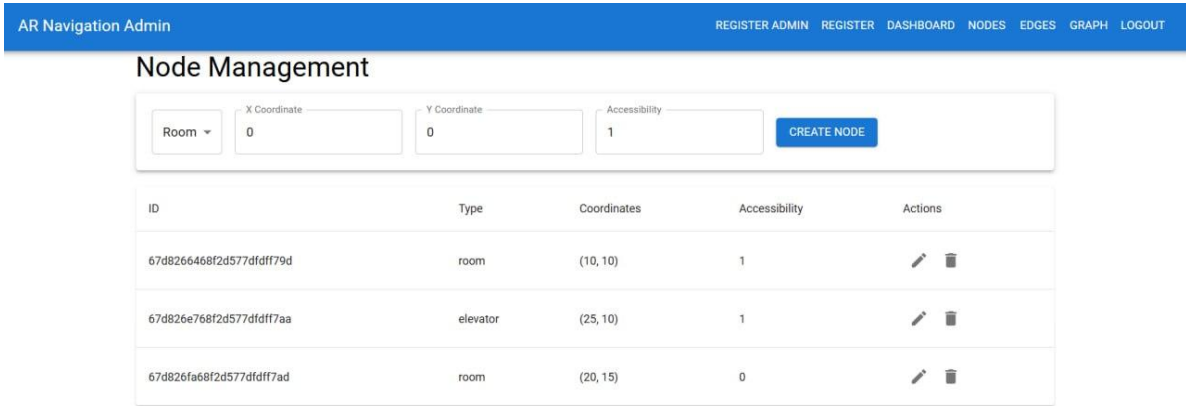


Рис. 8. Інтерфейсна панель адміністратора

Пропонується діаграма прецедентів для ролі «Пацієнт» (рис. 9). «Пацієнт» має доступ до таких можливостей системи як «сканування QR-коду». Це дає можливість системі визначити місцеположення «Пацієнта» в будівлі для стартової позиції, та «AR-навігації» за допомогою камери мобільного пристрою. Також, він може обрати місце призначення та переглянути сформований системою маршрут на екрані свого мобільного пристрою.

Коригування маршруту відбувається автоматично в залежності від надходження в систему координат місцезнаходження «Пацієнта» та інформації про доступність середовища (справність ліфтів, проведення ремонтних робіт та ін.), а також враховуючи індивідуальні потреби користувача.

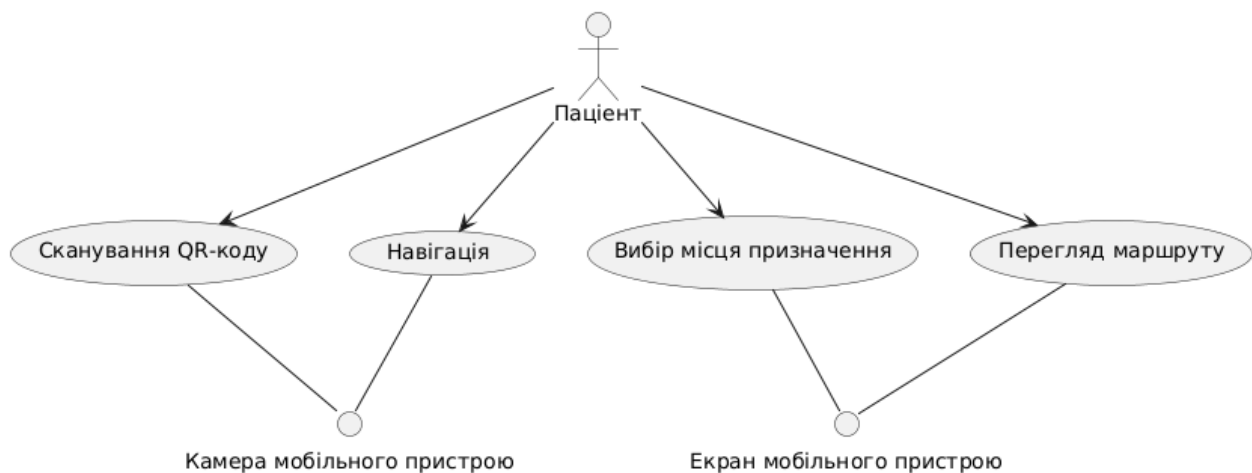


Рис. 9. Діаграма прецедентів користувача «Пацієнт»

Діаграма прецедентів системи наведена на рис. 10. Вона показує, що система в своїй роботі опирається на базу даних та базу знань. За допомогою отриманого QR-коду система визначає початкове місцезнаходження пацієнта, що допомагає сформувати мапу маршруту в залежності від потреб користувача та отриманого пункту призначення, що надходить з телефону пацієнта. Також система на підставі отриманих даних від маркерів, що розміщені по території будівлі, проводить відстеження позиції користувача, що допомагає визначити чи не відхилився пацієнт від маршруту. У разі відхилення від визначеного маршруту або отримання інформації про несправність, перешкоду на шляху пацієнта (динамічна інформаційні складова), система коригує маршрут, формує мапу маршруту та передає мапу маршруту на телефон користувача.

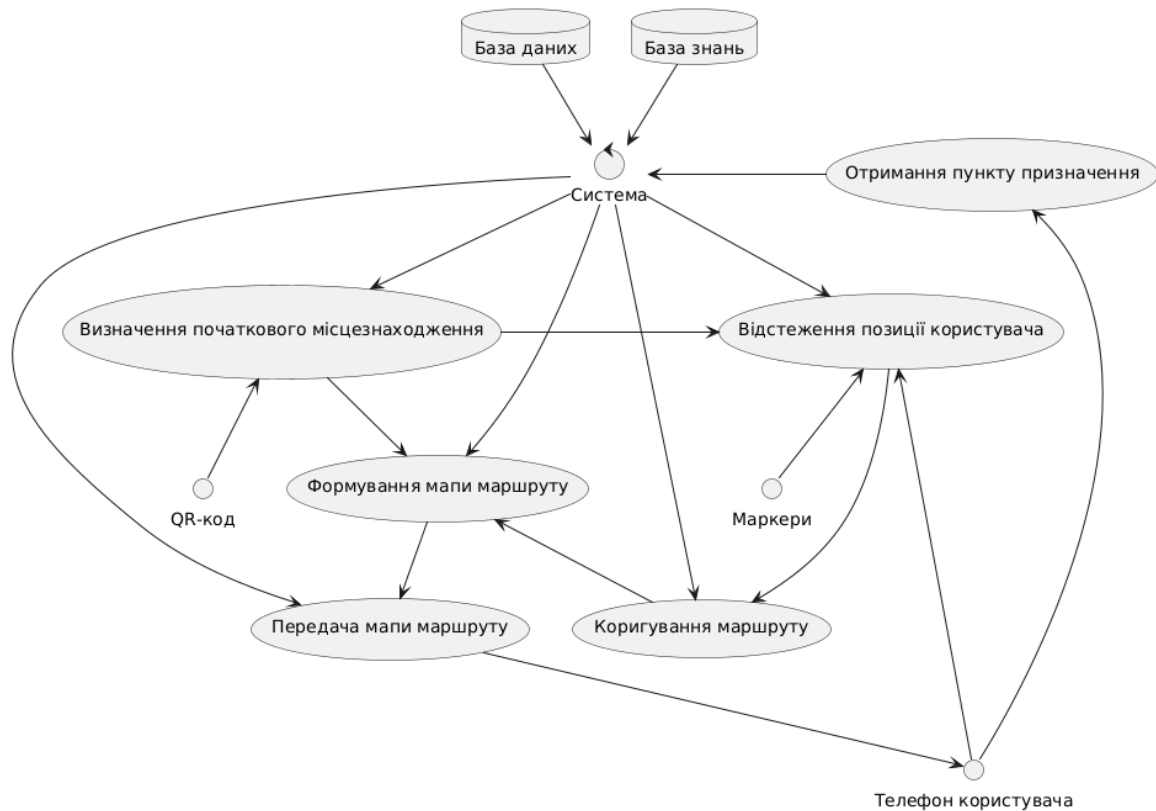


Рис. 10. Діаграма прецедентів системи

Таким чином визначено, що система використовує як вхідні інформаційні потоки телефон користувача, QR-код та маркери. Слід зазначити, що за кожним QR-кодом закріплено координати, що використовується для визначення положення пацієнта (користувача). Мітки теж мають закріплені координати, що дозволяє відслідковувати переміщення користувача по маршруту.

Програмне забезпечення пройшло апробації в ряді медичних закладів міста Житомира, що дозволило перевірити його функціональність, а проведені опитування користувачів підтвердили задоволеність використання додатком. Крім того проведено оцінку якості програмного продукту на клієнтській частині за ISO/IEC 25010:2023 Інженерія систем і програмного забезпечення – Вимоги та оцінка якості систем і програмного забезпечення (SQuaRE) – Модель якості продукції (ISO/IEC 25010:2023 Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Product quality model). Встановлено такі ступені прояву критеріїв якості запропонованого програмного продукту: високий – за критеріями функціональна придатність, можливість взаємодії, продуктивність, сумісність, надійність, ремонтпридатність, продуктивність, безпечність; достатній – захищеність.

Висновки

Проведено аналіз підходів до удосконалення медичних інформаційних систем в результаті якого визначено шляхи удосконалення, а саме розробка моделей, методів та технологій діагностування пацієнтів, в тому числі віддаленого, що особливо актуально в умовах сьогодення, інтелектуалізації процесів обробки медичної інформації для підвищення точності діагностування та автоматизації процесів обробки великих масивів медичної інформації, прогнозування розвитку захворювань. Аналіз робіт щодо підходів до розробки сучасного програмного забезпечення дозволив виявити особливості сучасних архітектур прикладного програмного забезпечення, ітераційні процедури проектування, особливості функціоналу подібних систем.

Удосконалення медичних інформаційних систем пропонується здійснити за рахунок впровадження системи віртуального супроводу в закладах охорони здоров'я, що здатна адаптуватися до потреб користувача, враховуючи його інклюзивність. Робота системи базується на використанні модифікованого алгоритму Дейкстри та продукційної моделі представлення знань за рахунок введення динамічної складової стану середовища руху та врахування потреб користувача, що враховується при визначенні ваги ребра графу.

Також для визначення місцеположення користувача пропонується використання гібридного алгоритму, який приймає та обробляє дані з Wi-Fi точок доступу (визначення місцеперебування на основі аналізу рівня отриманого сигналу (RSSI)) та BLE-маяків (трилатерація на основі RSSI), і, на основі продукційних правил, приймає рішення щодо визначення місцеперебування користувача.

Проведене дослідження дозволило сформулювати концептуальні моделі розробки програмного забезпечення для віртуального супроводу в закладах охорони здоров'я за допомогою методології функціонального моделювання IDEF0 та універсальної мови моделювання UML. Запропоновано контекстну діаграму А-0 системи віртуального супроводу в закладах охорони здоров'я, функціональну модель процесу створення навігаційних підказок та процесу визначення поточного місцеперебування користувача. Побудовано узагальнену діаграму активності програмного забезпечення для віртуального супроводу пацієнтів, діаграму послідовності дій системи, діаграму прецедентів ролі «Адміністратор», «Пацієнт» та діаграму прецедентів системи. Створені діаграми розкривають сутність системи, демонструють роль кожного користувача та послідовність дій системи під час взаємодії з користувачем.

Запропонована система віртуального супроводу спрямована на підвищення доступності медичних послуг для маломобільних груп населення та оптимізацію маршрутів у межах медичних закладів. Використання технологій доповненої реальності, QR-кодів, BLE-маяків та WI-FI-позиціонування забезпечує точне визначення місцезнаходження користувача та адаптивну навігацію, що враховує динамічні зміни середовища.

Проведено оцінку якості програмного продукту на клієнтській частині за ISO/IEC 25010:2023 Інженерія систем і програмного забезпечення – Вимоги та оцінка якості систем і програмного забезпечення (SQuaRE) в результаті якої встановлено такі ступені прояву критеріїв якості запропонованого програмного продукту: високий – за критеріями функціональна придатність, можливість взаємодії, продуктивність, сумісність, надійність, ремонт придатність, продуктивність, безпечність; достатній – захищеність.

Отримані результати дослідження можуть бути використані як основа для подальшої розробки програмного забезпечення, як сприятлива інтеграція системи віртуального супроводу в існуючі інформаційні системи державних установ, маркетів, торговельних центрів та інших громадських місць з можливістю їх адаптація до потреб користувачів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лобанчикова Н. М., Лисенко М. С. Аналіз стану забезпечення маломобільних груп населення віртуальним супроводом в медичних закладах. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2024. Том 35 (74). №6, Частина 2. С. 104–111.
2. Perspectives of the application of medical information technologies for assessing the risk of anatomical lesion of the coronary arteries / S. V. Pavlov et al. *Science, Technologies, Innovations*. 2023. №1 (25). P. 44–55. URL: https://nti.ukrintei.ua/?page_id=4946&lang=en (date of access: 19.02.2025).
3. Method and Software Component Model for Skin Disease Diagnosis / V. M. Lovkin et al. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2023. №1. P. 40–50. URL: <http://ric.zntu.edu.ua/article/view/274475> (date of access: 19.02.2025).
4. Левківський В. Л. Моделі та методи удосконалення побудови медичних інформаційних систем. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: «Технічні науки»*. 2023. №5, т. 2 (325). С. 54–59 (date of access: 19.02.2025).

5. Левківський В. Л. Концептуальні положення та технології побудови інформаційної системи віддаленого діагностування стану пацієнтів. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського Серія: Технічні науки*. 2020. Том 31 (70), № 6, Частина 1. С. 105–112.
6. Особливості застосування телемедицини технологій на основі штучного інтелекту в медицині катастроф / Ю. Пилипець та ін. *Опт-ел. інф-енерг. техн.* 2024. Вип. 48, Вип. 2. С. 190–195. URL: <https://oeipt.vntu.edu.ua/index.php/oeipt/article/view/740> (дата доступу: 19.02.2025).
7. Medical Fuzzy-Expert System for Assessment of the Degree of Anatomical Lesion of Coronary Arteries / W. Wójcik et al. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2023. № 20. P. 979. URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/20/2/979> (date of access: 19.02.2025).
8. Smart Crossover Mechanism for Parallel Neuroevolution Method of Medical Diagnostic Models Synthesis / Serhii Leoshchenko et al. *3rd International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems*. 2020. Volume 2608. P. 57–69.
9. Intelligent Data Analysis for Individual Hypertensia Patient's State Monitoring and Prediction / S. Subbotin et al. *IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*. Nur-Sultan, Kazakhstan. 2021. P. 1–4.
10. Development of an intelligent chatbot for a hospital website / T. A. Vakaliuk et al. *Proceedings of The Seventh International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2024): Zaporizhzhia, Ukraine (May 3, 2024)*. Edited by Sergey Subbotin. CEUR Workshop Proceedings. 2024. Vol. 3702. P. 317–328. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3702/paper26.pdf> (date of access: 16.02.2025).
11. Mathematical model of the base unit of the biotechnical system as a type of edge devices / T. M. Nikitchuk et al. *XIV International Conference on Mathematics, Science and Technology Education. Journal of Physics: Conference Series*. 2022. №2288, 012004. IOP Publishing. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2288/1/012004/pdf> (date of access: 17.02.2025).
12. Medical Subsystem for Blood Tests Evaluation Based on E-commerce Solution / T. A. Vakaliuk et al. *Proceedings of The Seventh International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2024): Zaporizhzhia, Ukraine (May 3, 2024)*. Edited by Sergey Subbotin. CEUR Workshop Proceedings. 2024. Vol. 3702. P. 1–12. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3702/paper1.pdf> (date of access: 19.02.2025).
13. Концептуальна модель здоров'язбережувального інформаційно-цифрового середовища закладу вищої освіти у період карантинних обмежень / Т. А. Вакалюк та ін. *ІТЗН*. 2023. Том 96, № 4. С. 58–71. URL: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/5362> (date of access: 18.02.2025).
14. Аналіз факторів впливу на архітектури програмних систем / А. Морозов та ін. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*. 2024. №1. С.44–52. URL: <https://journals.politehnica.dp.ua/index.php/it/article/view/82> (Дата доступу: 19.02.2025).
15. Possibilities of Using AR and VR Technologies in Teaching Mathematics to High School Students / T. A. Vakaliuk et al. *Universal Journal of Educational Research*. 2020. Vol. 8, №. 11B. P. 6280–6288. URL: https://www.hrpub.org/journals/article_info.php?aid=10066 (date of access: 16.02.2025).
- 16 An Indoor Navigation Methodology for Mobile Devices by Integrating Augmented Reality and Semantic Web / J. I. Rubio-Sandoval et al. *Sensors*. 2021. Vol. 21, № 16. P. 5435. URL: <https://doi.org/10.3390/s21165435> (date of access: 16.02.2025).
17. ARBIN: Augmented Reality Based Indoor Navigation System / B.-C. Huang et al. *Sensors*. 2020. Vol. 20, № 20. P. 5890. URL: <https://doi.org/10.3390/s20205890> (date of access: 16.11.2024).
18. Chidsin W., Gu Y., Goncharenko I. AR-Based Navigation Using RGB-D Camera and Hybrid Map. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, № 10. P. 5585. URL: <https://doi.org/10.3390/su13105585> (date of access: 16.02.2025).
19. Implementation Success of an Indoor Navigation with Location-Based Augmented Reality / Mashael Khayyat et al. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2020. Vol. 8, № 6. P. 367–373. URL: <https://doi.org/10.35940/ijrte.e4915.038620> (date of access: 18.02.2025).
20. Indoor navigation supported by the Industry Foundation Classes (IFC): A survey / L. Liu et al. *Automation in Construction*. 2021. Vol. 121. P. 103436. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103436> (date of access: 19.02.2025).
21. Indoor Navigation using Augmented Reality / A. Martin et al. *EAI Endorsed Transactions on Creative Technologies*. 2021. Vol. 8, № 26. P. 168718. URL: <https://doi.org/10.4108/eai.17-2-2021.168718> (date of access: 19.02.2025).
22. Mobile Augmented Reality (AR) Marker-based for Indoor Library Navigation / R. Romli et al. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 767. P. 012062. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/767/1/012062> (date of access: 19.02.2025).
23. NavCog3 in the Wild / D. Sato et al. *ACM Transactions on Accessible Computing*. 2019. Vol. 12, № 3. P. 1–30. URL: <https://doi.org/10.1145/3340319> (date of access: 19.02.2025).
24. Semantics-guided reconstruction of indoor navigation elements from 3D colorized points / J. Yang et al. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2021. Vol. 173. P. 238–261. URL: <https://doi.org/10.1016/j.isprs.2021.01.013> (date of access: 19.02.2025).

25. Use of an Indoor Navigation System by Sighted and Blind Travelers / N. A. Giudice et al. *ACM Transactions on Accessible Computing*. 2020. Vol. 13, № 3. P. 1–27. URL: <https://doi.org/10.1145/3407191> (date of access: 16.02.2024).
26. Sundaramoorthy S. *Uml Diagramming: A Case Study Approach*. Auerbach Publications – New York, 2022. 430 p. URL: <https://doi.org/10.1201/9781003287124> (date of access: 19.02.2025).
27. Свінцицька, О. М., Граф, М. С., Нікітчук, Т. М. Метод Use Case в плануванні проєктів з інформаційних технологій. *Технічна інженерія*. 2022. №1 (89). С. 77–84.

Стаття надійшла до редакції 04.03.2025.

Стаття пройшла рецензування 20.03.2025.

Лисенко Максим Сергійович – аспірант, асистент кафедри комп'ютерних наук, e-mail: kkn_lms@ztu.edu.ua.

Лобанчикова Надія Миколаївна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення.

Державний університет «Житомирська політехніка».