



УДК 004.7: 004.93

В. М. Теслюк, І. В. Гадьо, Т. В. Гавриляк, О. В. Пазюк

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

МОДЕЛЬ ТА ЗАСОБИ СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ МІЖ КОРПУСАМИ ЗАКЛАДУ ОСВІТИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Виявлено проблему складності навігації великими освітніми комплексами, особливо гостру для нових студентів, відвідувачів та персоналу. Встановлено, що впровадження технологій доповненої реальності істотно підвищує інтуїтивність і зручність користування навігаційною системою. Розроблено структурну та математичну моделі системи навігації на основі технологій доповненої реальності для формалізації функціональних залежностей між компонентами системи, що дає змогу глибше аналізувати взаємозв'язки та оптимізувати процеси. Описано алгоритм роботи системи із використанням технології доповненої реальності.

Розроблено програмне рішення системи навігації між корпусами університету, що використовує технологію доповненої реальності. Це спрощує орієнтацію в просторі закладу під час переміщень між корпусами. Запропоновано інтерфейс, що поєднує інтуїтивну зрозумілість та візуальну привабливість, допомагаючи користувачам ефективно планувати свій академічний день. Використано системний підхід у дизайні компонентів, що забезпечує персоналізацію інтерфейсу, безпеку даних та ефективну взаємодію із користувачами.

Для розроблення застосунку використано мову програмування Kotlin, архітектурний патерн MVVM, бібліотеки Dagger 2 та платформу для роботи із доповненою реальністю ARCore, спеціально для платформи Android. Ці технології забезпечують гнучкість, масштабованість та ефективність розробки. Окреслено перспективи подальших досліджень, які передбачають доопрацювання програмного забезпечення та розширення функціональності системи, розроблення додаткових модулів для адаптації до змінних потреб студентської аудиторії та персоналу навчальних закладів, забезпечуючи підвищення доступності та інтеграції з іншими інформаційними системами закладу освіти.

Ключові слова: AR технологія, математична модель, програмне забезпечення, ARCore, Android.

Вступ / Introduction

У сучасному світі, де технології стрімко розвиваються і стають невід'ємною частиною нашого повсякденного життя, потреба в інноваційних підходах до навігації у просторах великих закладів освіти стає дедалі актуальнішою.

Навігаційні системи в освітніх закладах відіграють ключову роль у підвищенні доступності та ефективності навчального середовища. В університетах, коледжах та інших закладах освіти, які іноді розкидані по великих територіях із множинними корпусами, часто складно орієнтуватись не тільки новачкам, але й тим, хто вже давно є частиною цієї освітньої екосистеми. Технологія доповненої реальності [2] (Augmented Reality, AR) пропонує революційний підхід до вирішення цієї проблеми, який може радикально змінити спосіб взаємодії із простором, що нас оточує. У великих кампусах або університетських містечках з численними будівлями і складними ландшафтами

навігаційні системи можуть допомогти новим студентам, відвідувачам та персоналу легко знаходити аудиторії, офіси, бібліотеки та інші важливі локації, зменшуючи час, потрібний для переміщення. Це дає змогу студентам і викладачам краще планувати свій робочий день, залишаючи більше часу на навчання та відпочинок.

Інтеграція навігаційних систем із системами безпеки може сприяти швидкій евакуації під час екстрених ситуацій та оптимальному розміщенню безпекових служб у потрібних місцях, що особливо актуально в сьогоденних умовах військового стану в Україні. Навігаційні системи можуть інтегруватись з іншими університетськими системами, надаючи студентам актуальну інформацію про години роботи відділів, наявність вільних аудиторій, розклад занять тощо. Спеціальні функції для людей з особливими потребами (наприклад, аудіонавігація для сліпих і зорово обмежених осіб) роблять освітній простір доступнішим і комфортнішим для всіх.

Крім того, сучасні технологічні рішення, такі як AR навігаційні системи, можуть стати важливим фактором для потенційних студентів та науковців під час вибору університету, поліпшуючи його репутацію та підвищуючи привабливість.

Отже, застосування в освітніх закладах навігаційних систем із використанням технології доповненої реальності стає стратегічним інструментом для оптимізації кампусного життя та поліпшення якості задоволення потреб спільноти.

Доповнена реальність [2] – це технологія, яка інтегрує цифровий контент із реальним світом у режимі реального часу, створюючи інтерактивне та інформаційне середовище. AR використовує камери та сенсори в мобільних пристроях або спеціальних окулярах для виявлення фізичного середовища і накладення на нього віртуальних об'єктів або інформації. Це створює унікальні можливості для різних галузей, зокрема освіти, розваг, медицини та, зокрема, навігації.

Запропоноване дослідження має на меті не тільки продемонструвати потенціал доповненої реальності у сфері освітньої навігації, але й стати поштовхом для подальших досліджень та розробок у сфері освіти, відкриваючи нові горизонти для інноваційного застосування AR технологій.

Об'єкт дослідження – процес навігації між корпусами навчального закладу із використанням засобів доповненої реальності.

Предмет дослідження – модель та засоби системи навігації між навчальними корпусами закладу освіти із використанням технологій доповненої реальності.

Мета роботи – підвищення автоматизації навігації між корпусами закладу освіти з використанням технологій доповненої реальності для операційної системи Android.

Для досягнення вказаної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- проаналізувати наявні рішення для навігації у навчальних закладах із використанням доповненої реальності;
- розробити модель системи навігації між корпусами закладу освіти з використанням технологій доповненої реальності;
- розробити алгоритм роботи системи навігації між корпусами закладу освіти;
- на основі розробленої моделі та алгоритму створити додаток для навігації між корпусами Національного університету “Львівська політехніка”.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Доповнену реальність активно застосовують у картографії, особливо в навігації. Незважаючи на активні дослідження в цій сфері, існує багато різних підходів до використання технологій, методологій та процесів розроблення. У [1] здійснено систематичний огляд більше ніж ста публікацій стосовно розвитку додатків AR-навігації за останні 25 років, спрямований на виявлення основних тенденцій у використанні обладнання, програмного забезпечення та методологій. Із урахуванням результатів рекомендовано для практичної роботи з навігацією в AR розробляти AR-додатки, орієнтовані на мобільні пристрої. Автори аргументували свої висновки так: по-перше, мобільні телефони стали найширше використовуваним пристроєм; а по-

друге, завдяки тому, що громадськість загалом вміло користується мобільними пристроями, цими додатками легше оволодіти широкій аудиторії, вони потребують нижчого порога технічних знань.

У [2], [3] розглянуто основні принципи технології доповненої реальності, зокрема технології, інтерфейси та дизайн. Ці джерела дають ґрунтовне розуміння основ доповненої реальності, а також розкривають питання, зосереджені на технічних аспектах створення AR-додатків, що може бути корисно для розробників, які хочуть впроваджувати AR-технології у навігацію, зокрема в закладах освіти.

У [4] зазначено, що на сучасному ринку переважають навігаційні системи, які працюють, використовуючи дані про відстань та супутникову навігацію. Вони відображають карту, на якій чітко показані запропоновані маршрути та поточне місцезоположення користувача.

Загалом, наявні системи навігації по кампусу можна поділити на два типи: традиційні 2D-навігаційні системи та системи на основі доповненої реальності, а останні, своєю чергою, на зовнішні та внутрішні навігаційні системи залежно від різних сценаріїв. У праці [5] проаналізовано готові рішення згаданих типів систем. Зазначено зокрема, що більшість традиційних 2D-навігаційних систем оснований на технології інтернету речей і використовують GPS-технологію для локалізації. У разі застосування цих систем для проведення турів по будівлях кампусу інформація про будівлі подається за допомогою 2D-плоских текстів, зображень або іншої інформації, що призводить до ненаочних ефектів навігації.

Зазначимо, що деякі університети вже використовують доповнену реальність для покращення навігації по своїх кампусах. Наприклад, у [4] наведено декілька прикладів розроблених додатків для навігації університетськими кампусами. У розглянутих додатках [4] можна виділити низку додаткових функцій, які розширюють можливості стандартної навігації, роблячи додаток універсальнішим і кориснішим для користувачів. До таких функцій входять: карти, телефонний довідник та директорія кампусу, списки курсів, новини університету, перелік заходів, доступ до соціальних мереж, відеоматеріали, бібліотека, організація екскурсій, галерея фотографій, інформація для випускників, а також контакти аварійних служб. Ці функції істотно підвищують зручність використання додатка, забезпечуючи користувачам швидкий доступ до важливої інформації та ресурсів університету.

У завершальній частині цього розділу підведемо підсумки та окреслимо, які рішення із запропонованих у досліджуваних джерелах адаптуємо для розробленої системи навігації. Отже, система навігації між корпусами навчального закладу міститиме функції доповненої реальності з тривимірною інформацією та візуалізацією реальних сцен за допомогою технології ARCore. Додатково система буде обладнана інтерактивними елементами, такими як розклад занять і довідкова інформація про університет. Це дасть змогу користувачам візуально інтегрувати цифрові дані прямо в контекст їхнього реального оточення, істотно покращуючи орієнтацію на території кампусу.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Побудова моделі. Модель системи навігації між корпусами закладу (рис. 1) освіти з використанням технології доповненої реальності можна описати як комплексне рішення, яке інтегрує просторові дані, мобільні технології та візуалізацію для створення інтерактивного та інтуїтивно зрозумілого користувацького додатка.

Для реалізації доповненої реальності існують різні методи [6], а саме:

1. Метод маркерів (Marker-Based AR): використовує маркери або коди, які камера пристрою розпізнає, даючи змогу відображати віртуальні об'єкти над маркером.

2. Метод без маркерів (Markerless AR): розпізнає положення пристрою у просторі без маркерів і дає змогу розміщувати віртуальні об'єкти у реальному середовищі.

3. Метод проектування (Projection-Based AR): використовує проектори для накладання віртуальних зображень на реальні поверхні.

У розробленій системі застосовано метод без маркерів, оскільки не виникає потреби в маркерах чи проектуванні віртуальних об'єктів на сторонні предмети.

Система використовує смартфони та планшети на операційній системі Android. Дані з давачів допомагають системі точно визначити положення віртуальних об'єктів у реальному світі, враховуючи позиціонування, освітлення, кути нахилу площини тощо.

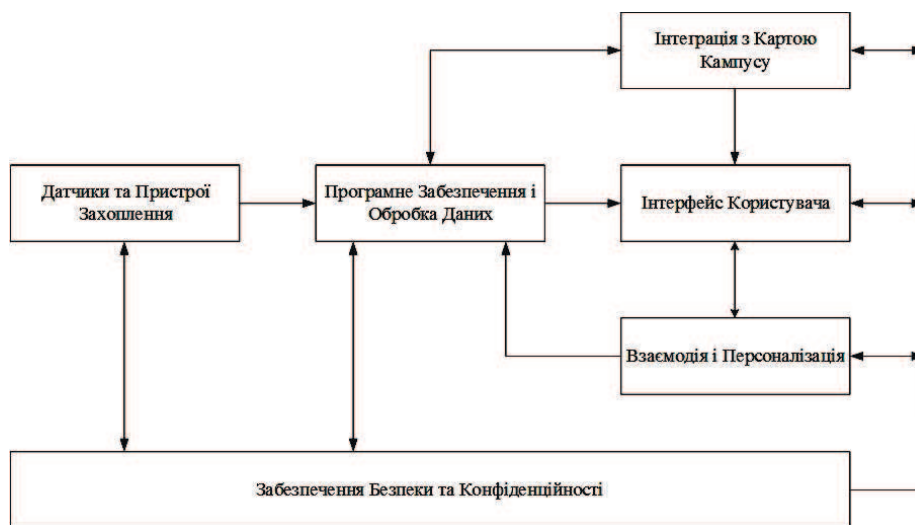


Рис. 1. Структурна схема системи навігації між корпусами навчального закладу / Structural diagram of the navigation system between the educational institution's buildings

У розробленій моделі навігаційної системи на основі доповненої реальності компонент “Програмне забезпечення і оброблення даних” виконує функції, які тісно пов’язані з доповненою реальністю. Інтерфейс користувача в AR-навігаційній системі має бути простим і зрозумілим, щоб забезпечити зручне використання навіть у динамічному середовищі, яким є кампус університету. Користувачі можуть взаємодіяти з системою за допомогою сенсорного екрана. Система інтегрується з цифровою картою кампусу, враховуючи всі навчальні корпуси, адміністративні будівлі, спортивні комплекси та інші значущі локації. Це дає змогу системі визначати оптимальні маршрути між різними точками. Ключовим аспектом є забезпечення безпеки даних користувачів та їхньої конфідентційності, особливо під час оброблення геолокаційної інформації та персональних налаштувань.

Для формалізації моделі навігаційної системи в університетському корпусі з використанням доповненої реальності можна подати її у вигляді математичного кортежу, який містить основні компоненти системи і зв’язки між ними:

$$S = \langle K, O, M, P, A, C \rangle, \quad (1)$$

де

$$1. K(U) = \{k(u) \mid u \in U\}$$

• Функція K відображає користувачів U у відповідні інтерфейсні елементи, адаптовані під потреби кожного користувача.

$$2. O(M, L) = \{(m, \ell) \mid m \in M, \ell \in L\}$$

• Функція O інтегрує дані про карти M та локації L , допомагаючи користувачам орієнтуватись у просторі.

$$3. M(D) = \{d(p) \mid p \in D\}$$

• Функція M обробляє дані із давачів D , які відстежують фізичне місцезнаходження користувача у реальному часі.

$$4. P(U, I) = \{p(u, i) \mid u \in U, i \in I\}$$

• Функція P налаштовує інтерактивні елементи I згідно з індивідуальними налаштуваннями та вподобаннями користувачів U .

$$5. A(S, D) = \{a(s, d) \mid s \in S, d \in D\}$$

• Функція A адаптує програмне забезпечення S для оптимального оброблення даних D , забезпечуючи взаємодію із системою.

$$6. C(U, P) = \{c(u, p) \mid u \in U, p \in P\}$$

• Функція C захищає персональні дані користувачів U та приватність їх персональних налаштувань P .

Отже, кожен із компонентів системи (рис. 1) інтегрований у математичну модель, що сприяє чіткому розумінню взаємодій та залежностей у ній.

Синтез алгоритму роботи системи. Під час виконання дослідження розроблено алгоритм роботи

системи навігації на основі доповненої реальності у навчальному закладі (рис. 2).

Алгоритм роботи системи доповненої реальності без маркерів починається з активації датчиків та пристроїв захоплення, які збирають дані про оточення. Ці дані передаються до програмного забезпечення для опрацювання, де використовуються алгоритми комп'ютерного зору для розпізнавання об'єктів і SLAM для мапування. Програмне забезпечення інтегрується з картою кампу-

су, щоб забезпечити точну навігацію та оновлення місцеположення користувача. Інтерфейс користувача забезпечує взаємодію через сенсорні екрани, даючи змогу користувачам взаємодіяти з системою легко та інтуїтивно. Взаємодія та персоналізація відбуваються через адаптацію до налаштувань та потреб користувачів, а забезпечення безпеки та конфіденційності відіграє ключову роль у захисті особистих даних.

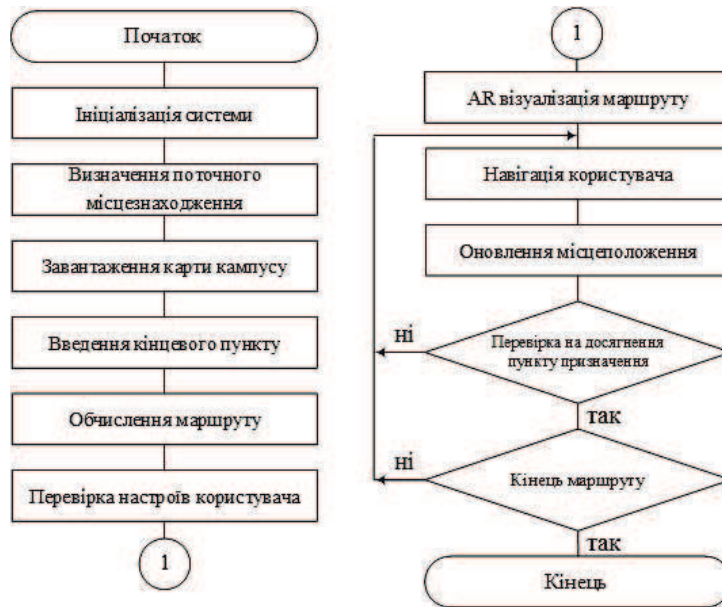


Рис. 2. Блок-схема алгоритму роботи системи навігації на основі доповненої реальності / Block diagram of the augmented reality-based navigation system algorithm

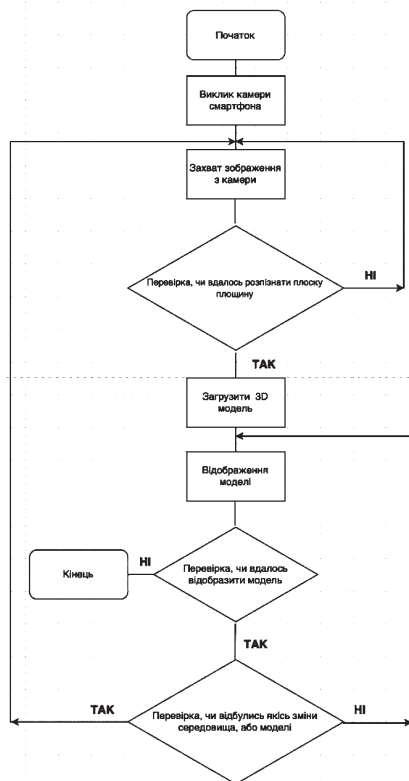


Рис. 3. Блок-схема алгоритму захоплення зображення з камери та реагування системи на зміни оточення / The flowchart of the algorithm for capturing images from the camera and how the system responds to changes in the environment.

Оскільки AR-сцену, яка додається на екран користувача, можна редагувати, отримувати інформацію про зміни та ще багато іншого додаткового функціоналу, розроблено алгоритм логічної послідовності дій, котрий відображає: як у системі реалізована логіка захоплення зображення з камери, у якому випадку вважатиметься, що захоплене зображення підходить та що необхідно зробити у разі якихось змін на екрані чи зображенні з камери. На рис. 3 зображено блок-схему алгоритму захоплення зображення з камери та вказано, як система реагує на зміни оточення.

Доповнена реальність реалізує складні алгоритмічні форми, з безліччю залежностей та умов виконання.

Також варто зазначити, що великі корпорації, які розробляють засоби доповненої реальності, не оприлюднюють у публічному просторі алгоритми, які вони використовують.

Розроблення програмного забезпечення. У межах дослідження запропоновано додаток до системи на основі розроблених вище моделі та алгоритму роботи.

Основні елементи інтерфейсу:

1. Основний інтерфейс додатка активно використовує камеру смартфона для сканування навколишнього середовища. Через камеру користувачі можуть "бачити" віртуальні об'єкти, розміщені у реальному світі.
2. Панель або меню, де користувачі можуть вибрати різні 3D-моделі чи інформацію, яку хочуть побачити у доповненій реальності. Наприклад, в університетському додатку може бути список корпусів чи інших об'єктів для візуалізації.

3. Коли віртуальні об'єкти відображаються на екрані, поряд можуть з'являтися картки з додатковою інформацією або інтерактивними елементами, такими як контактні дані, історія об'єкта, додаткові деталі тощо.

Функціонал:

- Відображення 3D-моделей у реальному світі з можливістю масштабування, обертання і переміщення моделей за допомогою жестів.
- Користувачі можуть взаємодіяти з віртуальними об'єктами, натискати на них, щоб отримати більше інформації або запустити додаткові функції.

Цілі додатка:

- Збільшити залученість та інтерес до навчального процесу через візуальне сприйняття інформації.
- Полегшити орієнтацію серед університетських будівель.
- Надати додаткові знання про історичні та культурні аспекти різних місць.

Цей тип додатка може стати інструментом, який істотно підвищує інтерактивність і залученість користувачів, надаючи їм змогу візуально і тактильно взаємодіяти з різними аспектами реального світу за допомогою цифрових технологій.

З огляду на популярність та поширеність операційної системи Android, розроблення програмного додатка зосереджено саме на цій платформі.

Для розроблення застосунку на Android вибрано мову програмування Kotlin. Хоча Java доволі довго була основною мовою для розроблення Android-додатків, Kotlin пропонує низку переваг, що роблять його ідеальним вибором для сучасної розробки. Обидві мови виконуються на Java Virtual Machine (JVM) та компілюються у байткод, сумісний з Android, але Kotlin відрізняється більшою ефективністю. Kotlin забезпечує модернізований синтаксис, який істотно спрощує код та робить його читабельнішим. Він містить численні функції для безпечнішої та ефективнішої розробки, такі як вбудована підтримка нульової безпеки, функціональне програмування та багато іншого. Google офіційно рекомендувала Kotlin як основну мову для розробки на Android, що додатково підтверджує наш вибір.

Отже, вибір Kotlin дає змогу не тільки використовувати всі сучасні можливості цієї мови, але і сприяє легкій інтеграції з наявними Java-бібліотеками та

фреймворками, зберігаючи високу продуктивність та сумісність із Android платформою.

Під час розроблення Android застосунку використано Android Studio як основне середовище розроблення. Це спеціалізоване IDE, основане на IntelliJ IDEA, яке забезпечує всі необхідні інструменти для ефективно розробки під Android. Android Studio дає змогу легко тестувати застосунки за допомогою емулятора, що імітує різні пристрої та конфігурації операційної системи.

Для розроблення доповненої реальності на Android використано такі інструменти, як ARCore [16] та платформи, зокрема Unity з ARFoundation [17], що дають змогу створювати мультиплатформні застосунки. Зважаючи на потребу в високій продуктивності та надійному відстеженні об'єктів, а також зосередження розробки виключно на платформі Android, вибрано інструмент ARCore для реалізації інтерактивних сцен доповненої реальності.

Реалізуючи Android додаток, вибрано архітектуру MVVM (Model View ViewModel) (рис. 4) із урахуванням її гнучкості та зручності у використанні в контексті визначених цілей [11], [12].

Діаграма компонентів (рис. 5) ілюструє архітектуру системи, ураховуючи базові класи та їхні взаємозв'язки. Вона використовує блоки для позначення компонентів та стрілки для зображення залежностей між ними. На діаграмі подано інтерфейси з уніфікованими методами для певних класів і дата-класи, які функціонують як DTO (об'єкти передавання даних) для опрацювання і передавання інформації між базою даних і UI. Виділено окремі класи, як MainActivity та OnboardingActivity, які слугують контейнерами для інших компонентів, таких як фрагменти, що є звичайною практикою у Android-розробці.

Під час розроблення системи, для ефективного впровадження залежностей між численними класами та архітектурними компонентами, вибрано фреймворк Dagger 2 [13], [14], що дає змогу автоматизувати багато процесів управління залежностями завдяки генерації коду. Це істотно зменшує потребу в шаблонному коді й спрощує структурування залежностей.

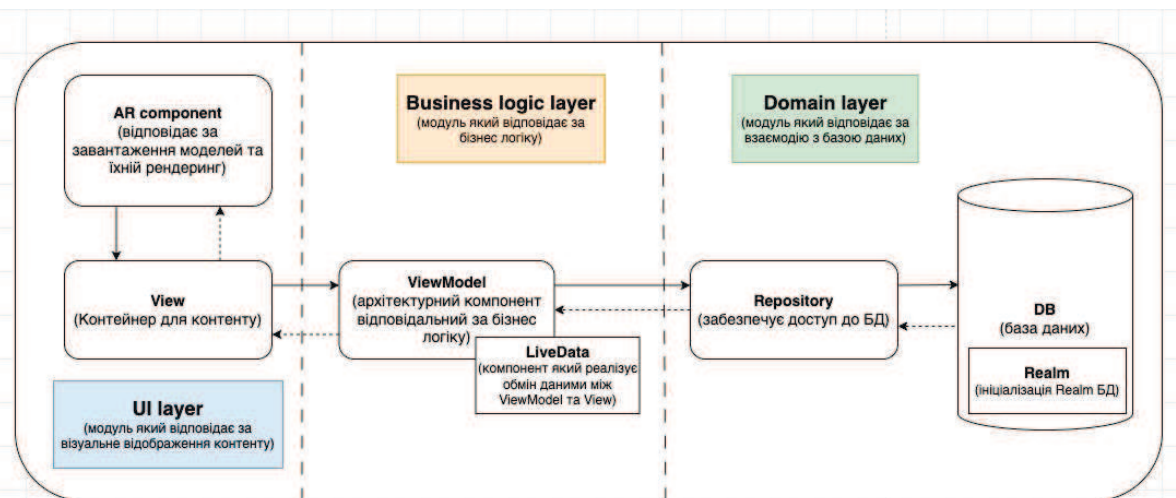


Рис. 4. Архітектура мобільного застосунку / Architecture of the mobile application

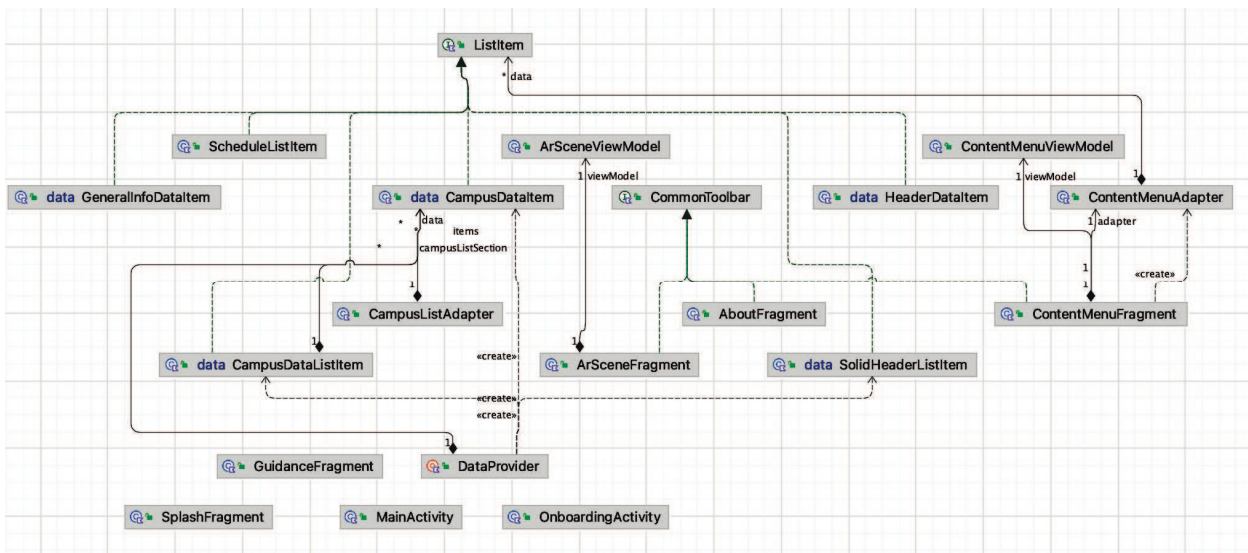


Рис. 5. Діаграма компонентів системи / Component diagram of the system

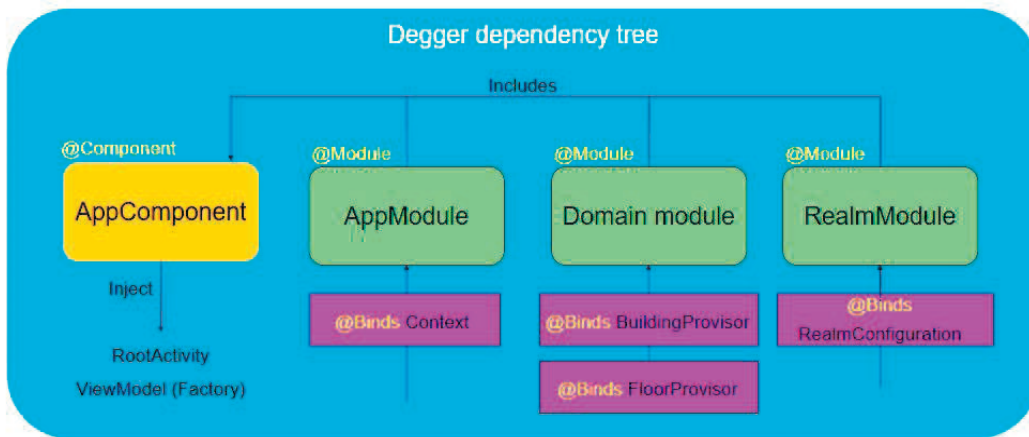


Рис. 6. Діаграма дерева залежностей фреймворку Dagger 2 / Dependency tree diagram of the Dagger 2 framework

На рис. 6 наведено діаграму дерева залежностей, сформовану за допомогою Dagger 2. Фреймворк використовує анотації `@Module` та `@Component` для описання та збірки залежностей. Модулі описують методи для створення екземплярів класів, а компоненти визначають, де і як ці екземпляри будуть використані. За допомогою анотації `@Inject` Dagger автоматично впроваджує необхідні залежності в класи, мінімізуючи необхідність ручного керування цими процесами.

Цей підхід дає змогу розробникам зосередитися на бізнес-логіці, замість адміністрування залежностей, що

забезпечує більшу продуктивність та зменшення кількості помилок у коді.

У системі використано Kotlin Coroutines, які є частиною стандартної Kotlin бібліотеки. Цей механізм дає змогу ефективно реалізувати асинхронне програмування. Завдяки Coroutines, код, який виконує асинхронні або паралельні операції, можна написати так, щоб він візуально і логічно відповідав синхронному коду (рис. 7), спрощуючи розроблення та підтримання системи та даючи змогу виконувати асинхронні задачі без блокування основного потоку програми.

```
private suspend fun loadModels(campusModelPath: String, floorModelPath: String) {
    campusModel = ModelRendererable.builder()
        .setSource(context, Uri.parse( uriString: "models/$campusModelPath"))
        .setIsFilamentGltf(true)
        .await()

    campusFloorModel = ModelRendererable.builder()
        .setSource(context, Uri.parse( uriString: "models/$floorModelPath"))
        .setIsFilamentGltf(true)
        .await()
}
```

Рис. 7. Фрагмент коду асинхронного завантаження моделей / Code snippet for asynchronous model loading

Для зберігання даних у мобільному застосунку використано нереляційну базу даних Realm. Ця база даних ідеально підходить для мобільних додатків завдяки швидкодії, яка перевищує показники SQLite, та простоті управління. Realm підтримує асинхронні транзакції, що робить її найкращим вибором для розроблення мобільних застосунків.

Для розроблення інтерфейсу використано кастомні UI елементи з бібліотеки MaterialDesign, що відповідає загально визначеним стандартам дизайну в сфері програмного забезпечення та мобільних додатків [15].

Дизайн інтерфейсу застосунку розроблено в Figma, після чого на основі макетів створено кожен екран за

допомогою XML у Android. Застосунок складається із чотирьох ключових частин:

1. Ознайомлення (Onboarding) – перші два екрани для введення користувача.
2. Основний функціонал – головний екран із контентом, де використовують різні типи карток.
3. Про додаток – інформаційний екран з детальною інформацією про застосунок і команду розробників.
4. Доповнена реальність – екран для вибору та перегляду 3D-моделей через камеру.

Рис. 8 ілюструє UI/UX макет системи, демонструючи деталі кожного екрана.

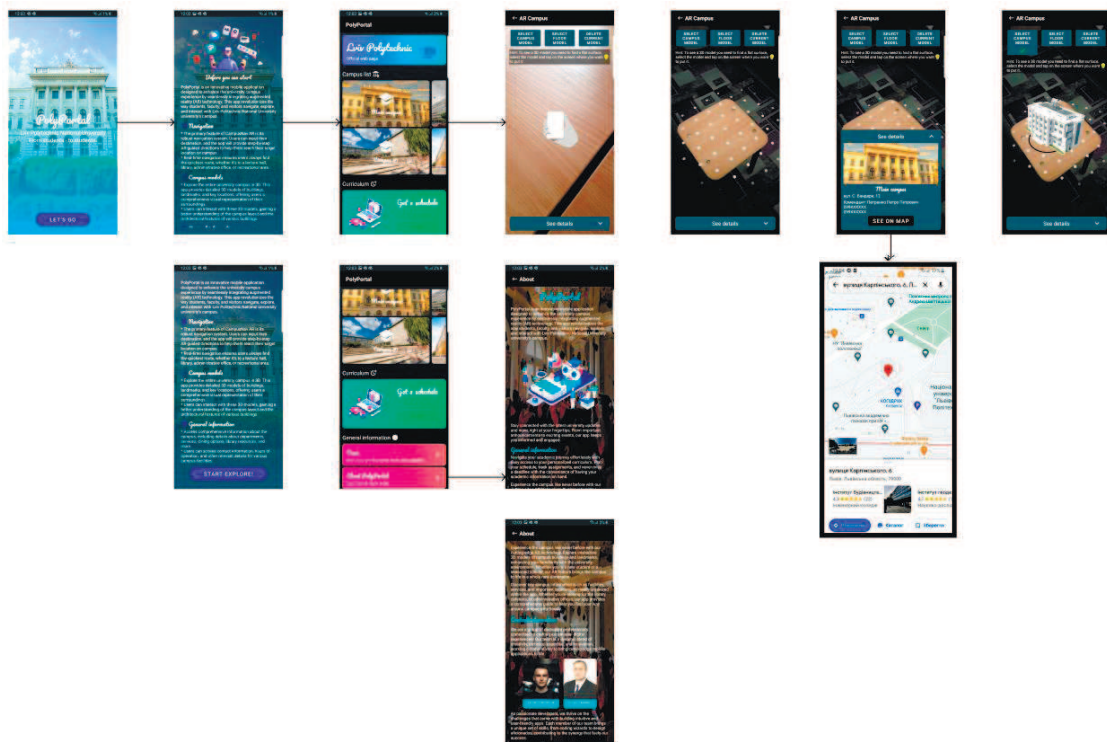


Рис. 8. UI/UX макет користувацького інтерфейсу / UI/UX design layout

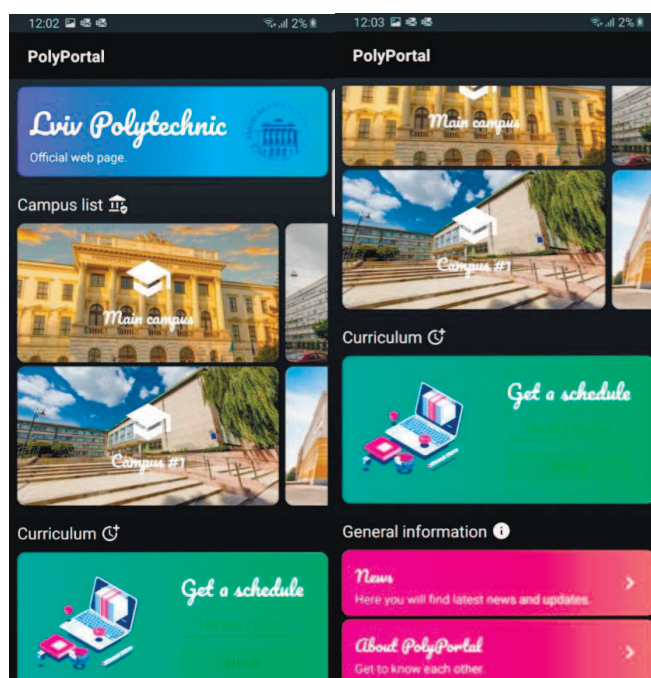


Рис. 9. Головний екран застосунку та його елементи / Main application screen and its elements

На рис. 9 наведено дизайн головного екрана, який поєднує інтуїтивність і функціональність із приємною кольоровою гамою і картковими елементами, що ефективно взаємодіють між собою.

- Офіційний сайт Львівської політехніки: користувачі можуть переглядати новини та інші актуальні матеріали.
- Навчальні корпуси: перегляд 3D-моделей корпусів з можливістю маніпуляцій та отриманням контактних даних і навігації на мапі.
- Розклад: введення назви групи та номера семестру для перегляду тижневого розкладу в браузері.
- Новини та інформація: доступ до детальної інформації про систему, правила користування та команду проекту.

Обговорення результатів дослідження. Розроблена модель системи навігації в навчальному закладі на основі технології доповненої реальності використовує метод без маркерів для навігації, що дає змогу користувачам взаємодіяти із навколишнім середовищем без необхідності встановлення фізичних маркерів або QR-кодів.

На відміну від робіт [4–10], які стосувалися тематики використання доповненої реальності для навігації в закладах освіти, у дослідженні розроблено структурну та математичну моделі системи навігації між корпусами університету, що дають змогу формалізувати функціональні залежності між компонентами системи та в кінцевому підсумку сприяють кращому розумінню та подальшій оптимізації системи. Крім того, під час роботи використано сучасні технології розроблення програмного забезпечення, такі як Kotlin, MVVM, Dagger 2, та ARCore, які забезпечують гнучкість, масштабованість та ефективність розробки. Запропоноване програмне забезпечення на основі запропонованої моделі містить специфічний модуль для інтеграції із розкладом занять, даючи змогу користувачам отримувати оновлену інформацію про заняття. Це підвищує практичну цінність додатка, роблячи його не тільки навігаційним інструментом, але й допоміжним ресурсом для планування академічного дня. Наше дослідження також визначає чіткі перспективи для подальшого розвитку системи, що передбачає адаптацію до змінних потреб користувачів та підвищення ефективності.

Важливо підкреслити, що робота над удосконаленням програмного забезпечення для навігаційної системи ще не завершена. Через відсутність готової цифрової карти кампусу використано Google Maps як основу для розробки. Ми працюємо над розширенням функціоналу з особливим акцентом на підвищення рівня безпеки системи, триває також створення точних 3D-моделей усіх споруд університету, що істотно підвищить точність та візуальну привабливість навігації.

Отже, за результатами виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – розроблено модель системи навігації для закладів освіти, що інтегрує технологію доповненої реальності без використання зовнішніх маркерів. Це дає змогу зробити освітній простір доступнішим, інформативнішим і безпечнішим для всіх його користувачів.

Практична значущість результатів дослідження – створено застосунок для навігації між корпусами Національного університету “Львівська політехніка”, що дає змогу студентам та відвідувачам ефективно орієнтуватися на території університету.

Висновки / Conclusions

Розроблено систему навігації для Національного університету “Львівська політехніка” із використанням технології доповненої реальності для операційної системи Android.

В ході роботи проаналізовано наявні рішення, розроблено модель і алгоритм роботи системи, яку реалізовано у вигляді мобільного застосунку.

Розроблений продукт дає змогу користувачам пересуватись по кампусу, отримуючи корисну інформацію про університет, забезпечуючи вагомий внесок у підвищення доступності та комфорту пересування студентів та працівників університету. Зазначимо, що дослідження є фундаментом для подальших робіт щодо розширення функціональності системи.

References

1. Cheliotis, K., Liarakap, F., Kokla, M., Tomai, E., Pastra, K., Anastopoulou, N., ... Kavouras, M. (2023). A systematic review of application development in augmented reality navigation research. *Cartography and Geographic Information Science*, 50(3), 249–271. <https://doi.org/10.1080/15230406.2023.2194032>
2. Schmalstieg, D., Hollerer, T. (2016). *Augmented Reality: Principles and Practice*. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct.2016.0015>
3. Linowes, J., Babilinski, K. (2017). *Augmented Reality for Developers*.
4. Sharma, Munesh. (2020). *Augmented Reality Navigation. International Journal of Engineering Research and Technology (UAE)*, Vol. 9. <https://doi.org/10.17577/IJERTV9IS060441>.
5. Lu, Fangfang, Zhou, Hao, Guo, Lingling, Chen, Jingjing & Pei, Licheng (2021). An ARCore-Based Augmented Reality Campus Navigation System. *Applied Sciences*, 11, 7515. <https://doi.org/10.3390/app11167515>.
6. Andri, Chairil & Alkawaz, Mohammed & Sallow, Amira (2018). Adoption of Mobile Augmented Reality as a Campus Tour Application. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*, 7, 64–69. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.11.20689>.
7. Nordin, Noradila & Markom, Marni & Suhaimi, Farhana & Ishak, Syaimaa' (2021). A Web-Based Campus Navigation System with Mobile Augmented Reality Intervention. *Journal of Physics: Conference Series*, 012038. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1997/1/012038>.
8. Safitri, Riri & Rizky, M & Aswan, Syahferi & Prawita, Fat'Hah (2018). Find Campus as a Mobile Augmented Reality Apps For Searching College Location. <https://doi.org/10.1145/3282353.3282857>.
9. Yu, Kun-Ming & Chiu, Jo-Chi & Lee, Ming-Gong & Chi, Shih-Shih (2015). A mobile application for an ecological campus navigation system using augmented reality, 17–22. <https://doi.org/10.1109/UMEDIA.2015.7297421>.
10. Yong-Xu, Qin & Min, Liu & Hui, Qiu & Bo, Yan & Chang-Xu, Jin (2013). Campus Navigation System Based on Mobile Augmented Reality, 139–142. <https://doi.org/10.1109/ICINIS.2013.42>.
11. Android MVVM Design Pattern. <https://www.journaldev.com/20292/android-mvvm-design-pattern>
12. ViewModel Overview. <https://developer.android.com/topic/libraries/architecture/viewmodel>

13. Using Dagger 2 for dependency injection in Android – Tutorial. <https://www.vogella.com/tutorials/Dagger/article.html>
14. Using Dagger in Android apps. <https://developer.android.com/training/dependency-injection/dagger-android>
15. Kamani, D. V. 4 Best Practices For Designing An Android App. <https://arkenea.com/blog/android-app-design/>
16. ARCore. <https://developers.google.com/ar>
17. ARFoundation technology. <https://developers.google.com/ar/develop/unity-arf/getting-started-ar-foundation>

V. M. Teslyuk, I. V. Gado, T. V. Havryliak, O. V. Paziuk

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

MODEL AND TOOLS OF THE NAVIGATION SYSTEM BETWEEN EDUCATIONAL INSTITUTION BUILDINGS USING AUGMENTED REALITY TECHNOLOGY

A problem of navigation within large educational complexes has been identified, which poses a particular challenge for new students, visitors, and staff. It has been established that the implementation of augmented reality technologies considerably enhances the intuitiveness and usability of the navigation system. A comprehensive structural and mathematical model of the navigation system based on augmented reality technologies has been meticulously developed. This model formalizes the functional dependencies among the system components, enabling a deeper analysis of interconnections and optimization of operational processes. The working algorithm of the system, which utilizes cutting-edge augmented reality technology, is thoroughly described.

A software solution for navigating between university buildings, using advanced augmented reality technology, has been developed. This system simplifies the spatial orientation within the campus during transitions between buildings, significantly enhancing the user experience. An interface that seamlessly combines intuitive understanding with visual attractiveness has been proposed, aiding users in effectively planning their academic day. Additionally, the system includes a module that provides visitors with essential information about respective university buildings and access to class schedules. The system architecture comprises several key blocks: the sensor block, the software and data processing block, the campus map integration block, the user interface block, and the interaction and personalization block. These components together ensure a seamless and personalized user experience. The design of the components has employed a systematic approach that ensures interface personalization, stringent data security, and efficient user interaction.

In developing the application, the Kotlin programming language, MVVM architectural pattern, Dagger 2 libraries, and the ARCore platform for augmented reality, specifically tailored for the Android platform, were utilized. These technologies provide flexibility, scalability, and efficiency in development.

Future research directions have been proposed, which include the further refinement of the software and the expansion of the system's functionality. Additional modules are planned to be developed to meet the evolving needs of the student body and staff of educational institutions, thus enhancing accessibility and integration with other information systems of the educational establishment.

Keywords: AR technology, mathematical model, software, ARCore, Android.

Інформація про авторів:

Теслюк Василь Миколайович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматизованих систем управління. **Email:** vasyl.m.teslyuk@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-5974-9310>

Гадьо Ірина Володимирівна, канд. техн. наук, доцент, кафедра автоматизованих систем управління. **Email:** iryana.v.nychai@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-1615-6483>

Гавриляк Тарас Володимирович, здобувач вищої освіти, кафедра автоматизованих систем управління. **Email:** taras.havryliak.mknus.2022@lpnu.ua; <https://orcid.org/0009-0009-4213-2363>

Пазюк Олександр Валерійович, аспірант, кафедра автоматизованих систем управління. **Email:** oleksandr.v.paziuk@lpnu.ua; <https://orcid.org/0009-0004-2973-665X>

Цитування за ДСТУ: Теслюк В. М., Гадьо І. В., Гавриляк Т. В., Пазюк О. В. Модель та засоби системи навігації між корпусами закладу освіти з використанням технології доповненої реальності. *Український журнал інформаційних технологій*. 2024, т. 6, № 1. С. 86–94.

Citation APA: Teslyuk, V. M., Gado, I. V., Havryliak, T. V., & Paziuk, O. V. (2024). Model and tools of the navigation system between educational institution buildings using augmented reality technology. *Ukrainian Journal of Information Technology*, 6(1), 86–94. <https://doi.org/10.23939/ujit2024.01.086>