

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ INDOOR-НАВІГАЦІЇ В УНІВЕРСИТЕТСЬКОМУ ПРОСТОРИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто методи та засоби Indoor-навігації в університетському просторі в умовах складної архітектурної топології та обмеженої ефективності систем супутникового позиціонування всередині будівель. Показано, що ефективна організація орієнтування в навчальних корпусах потребує не лише наявності карти, а й використання інтерактивних рішень, що забезпечують точну локалізацію та візуалізацію маршрутів. Особливу увагу приділено представленню топології будівлі у вигляді зваженого графа, застосуванню алгоритму A для пошуку найкоротшого шляху та використанню технології доповненої реальності (AR). Встановлено, що поєднання методів графового моделювання та візуальних маркерів у межах єдиної навігаційної системи створює передумови для зниження когнітивного навантаження на користувача та підвищення загальної мобільності в межах освітньої інфраструктури.*

Ключові слова: Indoor-навігація, доповнена реальність (AR), алгоритм A*, теорія графів, університетський простір, позиціонування, цифровізація.

Abstract

The paper examines methods and tools for indoor navigation within a university environment characterized by complex architectural topology and the limited effectiveness of satellite positioning systems inside buildings. It is demonstrated that efficient orientation in academic buildings requires more than just static maps; it necessitates interactive solutions that provide precise localization and route visualization. Particular attention is paid to representing the building's topology as a weighted graph, applying the A algorithm for shortest path calculation, and utilizing augmented reality (AR) technologies. It is established that the integration of graph modeling methods and visual markers within a single navigation system creates the necessary conditions for reducing the user's cognitive load and increasing overall mobility within the educational infrastructure.*

Keywords: Indoor navigation, augmented reality (AR), A* algorithm, graph theory, university space, positioning, digitalization.

Вступ

Сучасні університетські корпуси характеризуються значними масштабами, складною внутрішньою структурою та великою кількістю аудиторій і допоміжних приміщень, що ускладнює просторове орієнтування в межах навчального середовища. Особливо це проявляється для першокурсників, нових студентів та відвідувачів, які вперше перебувають у будівлі та не володіють її внутрішньою логікою, що призводить до втрати часу та труднощів у швидкому пошуку необхідних локацій. У зв'язку з цим підвищення зручності та ефективності навігації в університетських просторах розглядається як актуальне завдання розвитку цифрового освітнього середовища.

Опис дослідження

Організація внутрішньої навігації в архітектурному просторі сучасного університету передбачає використання методів високоточного визначення положення користувача та алгоритмів побудови оптимального маршруту. На відміну від відкритих територій, де ефективно застосовуються супутникові системи, внутрішні приміщення будівель мають суттєве екранування радіосигналів залізобетонними конструкціями та складну багаторівневу структуру. Це знижує ефективність класичних підходів глобального позиціонування та зумовлює потребу в альтернативних методах локалізації, адаптованих до закритих просторів [1, 2].

Для таких умов використовуються різні підходи до позиціонування. Одним із найпоширеніших є метод Wi-Fi Fingerprinting, який базується на використанні наявної інфраструктури бездротових мереж. Його принцип полягає у вимірюванні рівня сигналу (RSSI) від декількох точок доступу та порівнянні отриманих даних із попередньо сформованою картою радіовідбитків приміщення. На етапі підготовки

створюється база характерних параметрів сигналу для різних зон будівлі, що дає змогу визначати ймовірне положення користувача під час навігації. Водночас метод має обмеження, пов'язані зі змінами середовища, інтерференцією сигналів та динамічним навантаженням приміщень [2, 3].

Іншим підходом є використання Bluetooth Low Energy маячків, розміщених у ключових точках будівлі. Така інфраструктура забезпечує достатньо високу точність визначення координат, яка зазвичай становить близько одного–двох метрів. Рівень точності залежить від щільності розміщення маячків, планування приміщень і радіоперешкод. Перевагою цього методу є енергоефективність для мобільних пристроїв, однак його впровадження потребує додаткових витрат на встановлення та обслуговування обладнання [3].

Ще одним підходом до внутрішньої локалізації є метод магнітного мапування приміщень (Magnetic Field Mapping), що базується на аналізі локальних аномалій магнітного поля, сформованих металевими конструкціями та електромережами будівлі. Дані зчитуються магнітометром смартфона і формують унікальний “магнітний профіль” локації. Попри відсутність потреби у додатковій інфраструктурі, метод є чутливим до електромагнітних завад і потребує попереднього детального сканування простору, а також може втрачати точність при змінах у внутрішній структурі будівлі [1].

Серед розглянутих підходів особливу увагу привертають технології комп'ютерного зору. Алгоритми Visual SLAM є найбільш перспективними для застосування в університетському середовищі, оскільки вони становлять технологічний фундамент доповненої реальності, дозволяючи використовувати візуальні дані з камери смартфона для розпізнавання елементів простору (номерів аудиторій, вказівників, об'єктів інтер'єру) [4]. Це забезпечує стабільну прив'язку цифрового маршруту до фізичного середовища без потреби у розгортанні додаткової апаратної інфраструктури, що суттєво знижує вартість впровадження системи. Додатковою перевагою є здатність алгоритмів адаптуватися до змін освітлення та підтримувати високу точність локалізації навіть у складних архітектурних умовах [1, 4].

Для ефективної роботи системи навігації необхідним є формування математичної моделі простору навчального корпусу. Топологія будівлі подається у вигляді неорієнтованого зваженого графа $G = (V, E)$, де множина вершин V відповідає ключовим точкам маршруту, зокрема аудиторіям, сходам і переходам, а множина ребер E визначає можливі шляхи переміщення між ними. Така модель дозволяє формалізувати структуру будівлі та забезпечує ефективний пошук маршруту між будь-якими вузлами навігаційної мережі.

Вага ребер характеризує реальну відстань між вузлами та обчислюється за формулою (1.1):

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}, \quad (1.1)$$

де x, y та z задають просторові координати початкової і кінцевої точок маршруту.

Для розв'язання задачі пошуку найкоротшого шляху використовується алгоритм A^* , у якому пріоритет вибору вершини n визначається функцією (1.2):

$$f(n) = g(n) + h(n), \quad (1.2)$$

де $g(n)$ визначає вартість уже пройденої частини маршруту, а $h(n)$ — евристичну оцінку відстані до цільової точки. Використання алгоритму A^* дозволяє скоротити час пошуку оптимального маршруту завдяки застосуванню евристичної функції оцінювання, що є особливо важливим для багатопверхових навчальних корпусів із великою кількістю маршрутів [5].

Описана графова модель та алгоритм пошуку маршруту формують математичну основу системи Indoor-навігації, яка може бути використана для подальшої практичної реалізації подібних навігаційних рішень. На основі запропонованого підходу можливе створення програмного модуля, що поєднує обробку просторових даних та візуалізацію маршрутів у реальному середовищі.

Для реалізації подібної системи доцільно використовувати сучасні інструменти розробки, орієнтовані на роботу з доповненою реальністю. Зокрема, як базове середовище може застосовуватися Unity у поєднанні з AR Foundation [6], що забезпечує доступ до функцій відстеження простору та побудови AR-об'єктів. У такій архітектурі ключову роль може відігравати механізм World Tracking, який дозволяє визначати положення мобільного пристрою відносно реального середовища на основі даних камери та інерціальних датчиків [4].

Додатково для підвищення точності позиціонування може бути використаний підхід із візуальними маркерами, що забезпечують прив'язку віртуальної координатної системи до фізичного простору приміщень. Це дозволяє зменшити похибки локалізації та підвищити стабільність відображення навігаційних підказок [4, 6].

Висновки

Отже, розглянуті методи та підходи до Indoor-навігації є важливим елементом цифровізації університетської інфраструктури та формування сучасного інтерактивного освітнього середовища. Поєднання графового моделювання з технологіями доповненої реальності створює основу для побудови ефективних систем орієнтування у складних архітектурних просторах, де традиційні методи позиціонування мають обмежену ефективність. Запропонований підхід забезпечує зручну та інтуїтивну навігацію в межах навчальних корпусів і може слугувати базою для подальшого розвитку інтелектуальних систем управління простором університету.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Basiri, A. et al. Indoor positioning and wayfinding systems: a survey [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://scispace.com/pdf/indoor-positioning-and-wayfinding-systems-a-survey-49mq36uclc.pdf>.
2. Obeidat, H. et al. A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2079-9292/11/6/864>.
3. Макаренко А. Ю., Парфенова А. О., Могильний С. Б. Бездротові технології передачі даних Wi-Fi, Bluetooth та Zigbee [Електронний ресурс]. Вісник НТУУ «КПІ». Режим доступу: <https://radar.kpi.ua/radiotechnique/article/view/502>.
4. Google Developers. ARCore Fundamentals: Concepts and core technologies [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://developers.google.com/ar/develop/fundamentals>.
5. Karatayev, E. A* Search Algorithm: A Step-by-Step Guide [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.datacamp.com/tutorial/a-star-algorithm>.
6. AR Foundation: Manual. Version 6.5 [Електронний ресурс] // Unity Technologies. Режим доступу: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@6.5/manual/index.html>.

Тупальський Олександр Анатолійович – студент групи ЗКН-22б, кафедра комп'ютерних наук, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: oleksandrtupalskij100@gmail.com

Науковий керівник: **Озеранський Володимир Сергійович** – к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних наук, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: ozersansky@ukr.net

Tupalskyi Oleksandr – student of the 3CS-22b group, Department of Computer Science, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oleksandrtupalskij100@gmail.com

Supervisor: **Ozersansky Volodumir** – Ph.D., Associate Professor of the Department of Computer Science, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ozersansky@ukr.net