

Розробка системи прогнозування пішохідного трафіку в міських зонах з використанням нейронних мереж та геопросторових даних для оптимізації міського планування

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглянуто розробку системи прогнозування пішохідного трафіку в міських зонах на основі нейронних мереж та геопросторових даних. Запропоновано підхід до створення моделі, яка інтегрує дані з геоінформаційних систем (ГІС), сенсорів, камер спостереження та відкритих джерел для аналізу та передбачення пішохідних потоків. Описано принципи побудови нейронної мережі, технічні аспекти обробки геопросторових даних та їх застосування для оптимізації міського планування. Проаналізовано переваги використання такої системи для зменшення заторів, підвищення безпеки пішоходів та ефективного управління міською інфраструктурою, а також розглянуто виклики, пов'язані з обробкою великих обсягів даних та забезпеченням їхньої конфіденційності.

Ключові слова: пішохідний трафік, нейронні мережі, геопросторові дані, міське планування, прогнозування, ГІС, кібербезпека.

Abstract

This article presents the development of a pedestrian traffic forecasting system in urban areas using neural networks and geospatial data. An approach to creating a model that integrates data from geographic information systems (GIS), sensors, surveillance cameras, and open sources for analyzing and predicting pedestrian flows is proposed. The principles of neural network construction, technical aspects of geospatial data processing, and their application for optimizing urban planning are described. The advantages of using such a system for reducing congestion, enhancing pedestrian safety, and improving urban infrastructure management are analyzed, along with challenges related to processing large volumes of data and ensuring data privacy.

Keywords: pedestrian traffic, neural networks, geospatial data, urban planning, forecasting, GIS, cybersecurity.

Вступ

У сучасних умовах швидкої урбанізації та зростання населення міст питання ефективного управління пішохідним трафіком набуває критичного значення. Нерівномірний розподіл пішохідних потоків може призводити до перевантаження інфраструктури, зниження безпеки та погіршення якості життя городян [1]. Для вирішення цих проблем пропонується використання систем прогнозування пішохідного трафіку на основі нейронних мереж та геопросторових даних. Такі системи дозволяють моделювати та передбачати поведінку пішоходів у реальному часі, враховуючи географічні, соціальні та тимчасові фактори. Завдяки інтеграції даних із геоінформаційних систем (ГІС), сенсорів, камер спостереження та відкритих джерел, таких як соціальні мережі чи транспортні платформи, можливо створювати точні прогнози, які сприяють оптимізації міського планування. Ця технологія відкриває нові можливості для створення розумних міст, де інфраструктура адаптується до потреб мешканців, забезпечуючи комфорт, безпеку та ефективність.

Сутність та архітектура системи прогнозування пішохідного трафіку

Система прогнозування пішохідного трафіку базується на інтеграції сучасних технологій машинного навчання, зокрема нейронних мереж, та геопросторових даних для створення динамічної моделі міських потоків. Її головна мета — забезпечити точний, адаптивний і своєчасний аналіз пішохідного трафіку, що дозволяє ефективно планувати міську інфраструктуру, знижувати ризики перевантажень у громадських місцях та підвищувати рівень комфорту й безпеки мешканців.

У системі використовуються геопросторові дані, які включають цифрові карти міських зон, дані про щільність забудови, типи забудови, а також розташування ключових об'єктів інфраструктури — зупинок громадського транспорту, торговельних центрів, навчальних закладів, парків, лікарень та інших місць масового скупчення людей. Крім того, враховується структура вулично-дорожньої мережі,

пішохідні маршрути, підземні переходи, велосипедні доріжки та зони, обмежені для автомобільного руху.

Інформація про фактичну кількість пішоходів збирається за допомогою великої кількості сенсорів та IoT-пристроїв, серед яких — інфрачервоні датчики, камери з комп'ютерним зором, сенсори тиску, мобільні застосунки, Wi-Fi/Bluetooth-трекери, які фіксують присутність пристроїв. Отримані дані доповнюються зовнішніми джерелами — наприклад, метеорологічною інформацією, даними з соціальних мереж, розкладом масових заходів тощо.

Для обробки цього масиву різномірної інформації застосовуються моделі глибокого навчання — зокрема, рекурентні нейронні мережі (RNN), а також мережі з довгою короткостроковою пам'яттю (LSTM), які спеціалізуються на роботі з часовими рядами та можуть ефективно виявляти закономірності в історичних та поточних даних [2]. Ці моделі здатні враховувати як короткострокові зміни в трафіку, так і довгострокові тенденції, наприклад, сезонні або тижневі цикли.

З технічного боку система базується на широкому наборі інструментів: для обробки даних активно використовуються бібліотеки Python, такі як Pandas (для табличних структур), NumPy (для чисельних обчислень), TensorFlow та PyTorch (для побудови і навчання нейронних мереж). Геопросторова інформація аналізується за допомогою геоінформаційних систем (GIS), таких як ArcGIS, QGIS або Google Earth Engine, які дозволяють здійснювати просторовий аналіз, кластеризацію районів за рівнем пішохідного навантаження, побудову теплових карт та маршрутних моделей.

Результати обробки і прогнозування виводяться через спеціалізований інтерфейс користувача, що може бути реалізований у вигляді інтерактивної вебпанелі або настільного додатку. Такий інтерфейс дозволяє міським планувальникам, транспортним інженерам, представникам муніципалітету або приватного бізнесу (наприклад, ритейлу) швидко аналізувати ситуацію в конкретному районі, будувати прогнози на майбутні періоди, приймати управлінські рішення щодо перенаправлення потоків, тимчасових обмежень, або оптимізації розміщення об'єктів.

Однією з ключових переваг цієї системи є її здатність до самостійної адаптації у реальному часі. Завдяки безперервному оновленню вхідних даних і можливості донавчання моделей (наприклад, з використанням потокового навчання або онлайн-алгоритмів), система оперативно реагує на раптові зміни у міському середовищі — такі як аварії, ремонтні роботи, перекриття доріг, погодні катаклізми, транспортні збої чи масові події. Це дозволяє не лише прогнозувати навантаження, а й підтримувати ефективне управління трафіком у реальному часі, мінімізуючи негативні наслідки.

Завдяки своїй гнучкості, масштабованості та високій точності система прогнозування пішохідного трафіку стає важливим елементом концепції «розумного міста», сприяючи підвищенню якості міського планування, зменшенню заторів, розвитку сталої мобільності та покращенню загального рівня життя мешканців.

Практичне застосування

З розвитком хмарних обчислень та штучного інтелекту майбутнє цифрових двійників обіцяє ще більш точні прогнози, підвищену автоматизацію та здатність адаптуватися до змін у реальному часі. Ця технологія стане невід'ємною частиною формування стійкого та інноваційного майбутнього, глибоко інтегруючись у наше повсякденне життя. Запропонована система має широкий спектр застосувань у міському плануванні. Завдяки прогнозуванню пішохідних потоків стає можливим раціональне розміщення пішохідних переходів, світлофорів та зон відпочинку, що сприяє оптимізації міської інфраструктури. Система також дозволяє підвищити рівень безпеки, оскільки виявляє зони з високим ризиком скупчення пішоходів і допомагає запобігати аварійним ситуаціям. Інтеграція даних про пішохідний і транспортний трафік дає змогу ефективніше управляти роботою громадського транспорту, синхронізуючи його з динамікою руху пішоходів. Крім того, оптимізація пішохідних маршрутів сприяє зменшенню заторів і, відповідно, скороченню викидів CO₂, що позитивно впливає на екологічну сталість міста. Система може бути також використана для планування масових заходів, аналізу впливу нових об'єктів інфраструктури та оцінки ефективності реалізованих міських ініціатив. У перспективі її можна масштабувати для міжміського або регіонального застосування, що відкриває нові можливості для стратегічного розвитку урбанізованих територій, побудови «розумних» міст і запровадження комплексних цифрових екосистем управління простором.

Виклики та обмеження технології

Розробка та впровадження системи прогнозування пішоходного трафіку пов'язані з низкою складних викликів, що охоплюють як технічні, так і етичні аспекти. Одним із ключових викликів є обробка великих обсягів даних. Сучасні системи використовують інформацію з різних джерел — відеокамер, теплових сенсорів, GPS-трекерів, мобільних пристроїв, соціальних мереж, транспортної інфраструктури тощо. Інтеграція таких різномірних джерел даних вимагає не лише значних обчислювальних ресурсів, але й ефективних алгоритмів для попередньої обробки, нормалізації та синхронізації інформації в реальному часі.

Ще одним важливим аспектом є забезпечення конфіденційності та дотримання етичних стандартів. Використання зображень з камер відеоспостереження або інших сенсорів, які можуть містити персональні дані, ставить перед розробниками завдання дотримання законодавства щодо захисту приватності, зокрема Загального регламенту про захист даних (GDPR) у країнах ЄС. Анонімізація даних, контроль доступу, шифрування та прозорість збору інформації — критично важливі елементи, що забезпечують довіру громадськості до таких технологій.

Окрім правових аспектів, виклик становить точність прогнозів, яка безпосередньо залежить від якості вхідних даних, правильного вибору математичних моделей, а також постійного навчання системи на нових даних. Погодні умови, сезонні коливання, події в місті (фестивалі, мітинги, транспортні збої) — все це здатне суттєво впливати на пішоходний трафік і повинно враховуватися при побудові моделей. Для досягнення високої точності використовуються алгоритми машинного навчання, зокрема глибокі нейронні мережі, регресійні моделі, дерева рішень, ансамблеві методи, однак кожен з них має свої обмеження та вимоги до обсягу і якості навчальних даних.

Значним бар'єром на шляху впровадження таких систем є також фінансовий аспект. Закупівля і встановлення високоточних сенсорів, камер з можливістю обробки зображень у реальному часі, обчислювальних серверів, а також ліцензованого програмного забезпечення вимагають великих інвестицій [3]. Не менш важливим є навчання персоналу — аналітиків, інженерів, фахівців із кібербезпеки — які здатні забезпечити належну підтримку й розвиток системи.

Додаткові виклики включають підтримку масштабованості системи, її здатність працювати в умовах зростання навантаження, гнучкість при зміні інфраструктури міста, інтеграцію з іншими цифровими сервісами «розумного міста», а також постійне оновлення моделей прогнозування відповідно до змін у поведінці людей та міському середовищі. Усе це вимагає міждисциплінарного підходу, участі урядових, академічних та приватних структур і тісної співпраці між ними.

Висновок

Система прогнозування пішоходного трафіку на основі нейронних мереж та геопросторових даних є перспективним інструментом для оптимізації міського планування. Вона дозволяє створювати точні прогнози пішоходних потоків, сприяючи підвищенню безпеки, ефективності інфраструктури та якості життя в містах. Водночас успішне впровадження системи вимагає вирішення технічних, етичних та фінансових викликів, що потребує комплексного підходу та залучення кваліфікованих фахівців. У майбутньому такі системи стануть невід'ємною частиною розумних міст, забезпечуючи їх адаптивність та сталість.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Calthorpe, P. The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream. Princeton Architectural Press, 1993. URL: <https://archive.org/details/nextamericanmetr0000calt> (дата звернення: 30.05.2025).
2. Hochreiter, S., Schmidhuber, J. Long Short-Term Memory. Neural Computation, 1997. URL: <https://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/neco.1997.9.8.1735> (дата звернення: 30.05.2025).
3. Hashem, I. A. T., et al. The Role of Big Data in Smart City. International Journal of Information Management, 2016. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268401216301473> (дата звернення: 30.05.2025).

Журба Даниїл Юрійович – студент групи 4ПІ-22Б, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: daniazhurba2004@gmail.com

Zhurba Danyil Yuriyovych – student of group 4PI-22B, Faculty of Information Technology and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: daniazhurba2004@gmail.com