

Особливості розробки технології адаптивного планування перевезень з урахуванням часової варіативності дорожнього трафіку

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі запропоновано технологію адаптивного планування перевезень, яка поєднує класичну транспортну задачу лінійного програмування з часозалежною моделлю витрат, апроксимованою сумою нормальних щільностей. Добову зміну трафіку враховано дискретизацією часової осі на рівні кроки Δt , що дозволяє зберегти лінійну структуру задачі та забезпечити обчислювальну ефективність. Проведено експериментальну оцінку у міжміському та міському сценаріях: у міському сценарії врахування часової компоненти призводить до суттєвого зниження сумарних витрат (до 47,8 %), у міжміському – до помірної економії (до 7,2 %). Наведено рекомендації щодо вибору кроку дискретизації та поєднання евристичних і точних методів розв'язання.

Ключові слова: адаптивне планування перевезень, транспортна задача, часозалежна вартість, нормальний розподіл, лінійне програмування.

Abstract

The paper presents a technology for adaptive transportation planning that integrates the classical linear-programming transportation model with a time-dependent cost component approximated by sums of normal density functions. Daily traffic variation is handled by discretizing time into steps Δt , preserving linearity and computational efficiency. Experimental evaluation in intercity and urban scenarios shows cost reductions up to 47.8 % in urban conditions and up to 7.2 % in intercity conditions. Practical recommendations on discretization choice and solver strategy are provided.

Keywords: adaptive transportation planning; transportation problem; time-dependent cost; normal distribution; linear programming.

Вступ

Проблема адекватного врахування часової варіативності дорожнього трафіку є суттєвою при плануванні перевезень; статичні моделі не відображають добових коливань інтенсивності руху та пов'язаних із цим змін у витратах на перевезення. У цій роботі розглянуто підхід до побудови інформаційної системи адаптивного планування, яка розширює класичну формалізацію транспортної задачі лінійного програмування для інтеграції часової компоненти витрат [1]. Класична теоретична база та властивості часозалежних задач дають підґрунтя для вибору ефективних алгоритмічних рішень і евристик при реалізації практичної системи [2]. Для представлення профілів добових навантажень використано апроксимацію сумою нормальних щільностей, що забезпечує можливість гнучкого налаштування піків інтенсивності та коректного відтворення пікових явищ руху [3]. Аналіз типових добових шаблонів руху та їх кластеризація дозволили формалізувати варіанти часових профілів для експериментальної перевірки моделі [4].

Результати дослідження

Вартість перевезення представлено у виді суми сталого компоненту та часозалежної функції, що апроксимується сумою нормальних щільностей із регульованими амплітудами та ширинами. Після дискретизації доби на K кроків Δt задача для кожного кроку зберігає лінійну структуру, що дозволяє застосовувати стандартні методи лінійного програмування для отримання оптимальних планів [1]. Такий підхід поєднує простоту інтерпретації, можливість інтеграції прогнозних профілів трафіку та обчислювальну ефективність.

Архітектура системи включає модулі підготовки вхідних даних, генерації часових профілів вартості, оптимізаційного ядра та інтерфейсу візуалізації. Особливістю реалізації є інтеграція з інтерактивною мапою, де користувач задає розташування постачальників і споживачів безпосередньо на географічному полотні. На основі цих точок система автоматично формує транспортну матрицю, обчислює відстані, часові інтервали та побудову оптимального маршруту з урахуванням профілю

трафіку. Такий підхід спрощує підготовку вихідних даних і надає користувачеві візуальне уявлення про просторово-часовий розподіл перевезень. Для швидкого отримання первинного рішення використано евристики, тоді як симплексний метод забезпечує уточнення до глобального оптимуму. Комбіноване застосування цих методів показало високу ефективність для інтерактивних сценаріїв.

Результати експериментального моделювання підтвердили придатність запропонованої схеми. Для міжміського сценарію адаптивне планування дозволило знизити сумарні транспортні витрати до 7,2 % порівняно зі статичною моделлю, а для міського – до 47,8 %. Такі результати пояснюються більшою варіативністю трафіку в міських умовах та чутливістю системи до пікових періодів доби. Адаптивна модель здатна не лише мінімізувати витрати, але й визначати часові проміжки з найменшими затримками, що дає змогу формувати графіки перевезень з урахуванням дорожньої ситуації [1].

Додатково досліджено вплив вибору часової дискретизації: надмірне зменшення кроку підвищує деталізацію, але збільшує обчислювальні витрати, тоді як занадто великі кроки спрощують профіль і можуть знижувати точність оцінок. Оптимальним компромісом виявився інтервал $\Delta t = 15$ хв, який забезпечує узгодженість результатів і високу швидкодію.

Використання апроксимацій на основі сум нормальних щільностей дозволило адекватно описати піки добових навантажень і покращити якість часових оцінок у моделі. Інтеграція з мапою та автоматичне формування задачі на основі вибраних точок робить систему зручною для практичного використання у міських логістичних підсистемах, навчальних цілях і подальших дослідженнях.

Висновки

Розроблена інформаційна технологія дозволяє враховувати добові коливання дорожнього трафіку при плануванні перевезень і, як показали експерименти, забезпечує значне зниження сумарних транспортних витрат: до 47,8 % у міському сценарії та до 7,2 % у міжміському. Такі показники свідчать про практичну значущість врахування часової компоненти при формуванні планів відправлень і виборі маршрутів, зокрема для оптимізації витрат у міській логістиці та зменшення ризиків великих затрат у години піку. Система зберігає лінійну структуру задачі, що дозволяє використовувати перевірені методи лінійного програмування. Подальші дослідження слід спрямувати на інтеграцію даних реального часу для уточнення профілів трафіку, розширення моделі на багатомодальні перевезення та впровадження методів прогнозування для підвищення ефективності часової компоненти планування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ishchenko H., Shevchuk O. Information system for adaptive transportation planning with consideration of road traffic variability. *Computer Systems and Information Technologies*. 2025, (3), 47–56. <https://doi.org/10.31891/csit-2025-3-5>.
2. Malandraki C., Daskin M. S. Time-Dependent Vehicle Routing Problems: Formulations, Properties and Heuristic Algorithms. *Transportation Science*. 1992. Vol. 26, No. 3, pp. 185–200.
3. Nagasaki K., Kato S., Nakanishi W., Jones M. C. Traffic Count Data Analysis Using Mixtures of Kato–Jones Distributions. arXiv:2206.01355, 2022. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.01355>.
4. Regehr J. D., Montufar J., Hernandez-Vega H. Traffic Pattern Groups Based on Hourly Traffic Variations in Urban Areas. *Journal of Transportation of the Institute of Transportation Engineers*. 2015. Vol. 7, No. 1, pp. 1–16.

Іщенко Гліб Андрійович – студент групи 6KN-226, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: glebishshenko1000@gmail.com

Шевчук Олександр Федорович – доцент кафедри комп'ютерних наук, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: shevchuk@vntu.edu.ua

Ishchenko Hlib A. – student of group 6KN-22b, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: glebishshenko1000@gmail.com

Shevchuk Oleksandr F. – Associate Professor of the Department of Computer Sciences, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: shevchuk@vntu.edu.ua