

УДК 004.42:519.85

SOLVING THE PROBLEM OF TRAFFIC JAMS USING GAME THEORY

ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕОРІЇ ІГОР

Baranovska L.V. / Барановська Л.В.

c.ph.-m.s., as.prof. / к.ф.-м.н., доц.

ORCID: 0000-0003-0024-8180

Shnyurov V.V. / Шнир'юв В.В.

*student / студент.**National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
Kyiv, Prosp. Peremohy, 37, 03056**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського», Київ, Проспект Перемоги, 37, 03056*

Анотація. В роботі розглядається вирішення проблем утворення заторів за допомогою еволюційної теорії ігор. Вирішується задача транспортних потоків з використанням карпулінгу у таксі. Приводяться приклади такого вирішення. Надаються висновки для покращення ситуації у містах із заторами. Досліджено проблему стратегії стабільності водіїв за конкретних умов.

Ключові слова: Транспортні потоки, карпулінг, пасажир, водій, стратегія, стабільність, плата, тарифікація, еволюційна теорія ігор.

Abstract. The work deals with solving the problems of traffic jams with the help of game theory. The problem of traffic flows is solved using taxi carpooling. Examples of such solutions are given. Conclusions are provided for improving the situation in congested cities. The problem of drivers' stability strategy under specific conditions is studied.

Key words: Transport flows, carpooling, passenger, driver, strategy, stability, fee, tariff.

Вступ. В останні роки багато міст Китаю почали впроваджувати політику таксі спільного використання, з метою вирішення серйозних проблем дорожнього руху. Спільне використання таксі перебуває на початковій стадії, а політика спільного використання автомобілів ще не є досконалою. Вивчення проблеми спільного використання таксі в сучасній ситуації є вкрай необхідним.

Структура дослідження. Еволюційна теорія ігор є ефективним методом дослідження стратегії стабільності людини. Теорія аналізує проблему на передумові обмеженої раціональності. Вважається, що людська поведінка виявляє обмежену раціональність, а людські стратегії досягають стабільності поступово шляхом постійного коригування. Еволюційна теорія ігор вивчає стійкі стратегії людської поведінки, що вирішує проблему повного раціонального аналізу з відривом від реальності [1-6]. Еволюційна теорія ігор стала однією з найважливіших галузей сучасної теорії ігор. Еволюційна ігрова

модель була застосована для аналізу стабільних стратегій з обмеженою раціональністю, але теоретична модель все ще демонструє недолік, який є характерним для повної раціональності. У матриці прибутку еволюційної ігрової моделі розмір доходу зазвичай визначається як прямі вигоди кожного учасника за різними стратегіями. Тобто фундаментальною умовою еволюційної гри є те, що гравець може точно отримати розмір доходів різних стратегій, що збігається з традиційною повною раціональною грою. Але гравці, чії когнітивні здібності, обчислювальні здібності та здатність до суджень не можуть досягти таких високих вимог, не є повністю раціональними. Тому гравці не можуть отримати точні розміри доходу. Тоді фундаментальна умова еволюційної гри не може бути задоволена, і наступний еволюційний аналіз втратить значення.

У даній роботі поєднується теорія перспективи та еволюційна теорія ігор і встановлюється модель еволюції стратегії водія на основі перспективної вартості для вивчення стабільної стратегії водія за умови відхилення від основного маршруту слідування автомобілів спільного використання, зі стратегічною перспективою вартості замість стратегічної вартості доходу ігрової моделі. Модель включає дві частини: перспективну модель стратегії водія та еволюційну ігрову модель. По-перше, створюється перспективна модель стратегії водія. Перспективна вартість кожної стратегії визначається за допомогою встановленої моделі. Потім еволюційна ігрова модель будується на основі перспективної вартості стратегії, використовуючи перспективну вартість стратегії як стратегічний дохід. Стабільна стратегія водія аналізується відтвореним динамічним механізмом. Цей метод покращує традиційну модель еволюційної гри та компенсує повний недолік раціональності матриці прибутків у традиційній моделі еволюційної гри, що робить дослідницьку роботу наближеною до реальності.

Моделювання. У роботі розглянуто перспективну вартість стратегії водія, проведено еволюційний аналіз стратегії водіїв при спільному використанні автомобілів, досліджено еволюції стратегії водія при механізмі скарг.

Запроваджено наступний механізм скарг пасажирів для подальшого аналізу зміни стратегії водія через механізм скарг.

1. Перспективна вартість стратегії водія через механізм скарг. За умови механізму скарг пасажирів водій буде робити вибір більш ретельно, враховуючи наслідки відмови пасажирів. У водія є два варіанти: взяти пасажирів та відмовити пасажирів. У випадку відмови пасажирів, пасажирів оберуть стратегію подання скарги або стратегію відсутності скарги. Конкретні стратегії наведені на рисунку 1. Якщо водій обирає відхилення від маршруту слідування таксі спільного використання автомобілю, перспективна вартість все одно становитиме EV_1^D ; якщо водій обирає пасажирів, які відмовляються, а пасажирів обирають скаргу, перспективна вартість становить EV_{21}^D ; якщо водій обирає пасажирів, які відмовляються, а пасажирів вирішують не скаржитися, перспективна вартість становить EV_{22}^D .

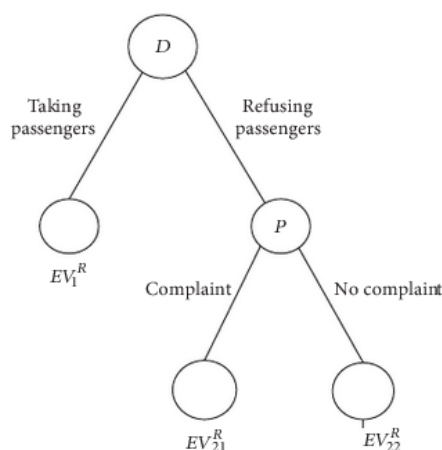


Рисунок 1 – Стратегія водія

2. Аналіз стратегії стабільності. У результаті даного аналізу знайдено умови за яких водії мають обирати стратегію спільного використання автомобілю пасажирів.

Проведено порівняння стратегій еволюції водіїв за різними механізмами. Знайдено умову для початкового відсотку пасажирів, які обирають стратегію відхилення від маршруту слідування таксі спільного використання, при якій є стабільною стратегією водіїв, що бере пасажирів при відхиленні від маршруту слідування таксі спільного використання за відсутності механізму скарг; проте

стабільною стратегією водіїв є взяття пасажирів при відхиленні від маршруту слідування таксі спільного використання при механізмі скарг. Також знайдено умови, при якій стабільною стратегією водіїв є відмова пасажиром у спільній поїздки за відсутності механізму скарг, а також коли стабільна стратегія водіїв полягає у взятті пасажирів спільного використання автомобілю за відсутності механізму скарг.

Приклад.

Припустимо, що стандарт тарифікації таксі передбачає, що початкова плата становить 10₴ за 3 км, 1,4₴ за кілометр понад 3 кілометри, а плата за очікування становить 1,2₴ за 2,5 хв. Два пасажирів вирушили з одного місця O в різні пункти призначення. Пунктом призначення пасажирів 1 є, а пасажирів 2 – D_2 . Вони мають намір поїхати в одному таксі. Відомо, що $l_1 = l_2 = 5$ та $l_3 = 1$. Швидкість руху становить 30 км на годину. Час у дорозі вдвічі перевищує звичайні умови при виникненні заторів. Рівень заторів на кожній ділянці дорівнює $p = 0.5$, а коефіцієнт оплати спільного використання автомобілів становить $d = 0.7$.

Показано, що стабільна стратегія водіїв – це взяття пасажирів, якщо початковий відсоток пасажирів, які обирають стратегію відхилення від маршруту слідування таксі спільного використання, перевищує 60%.

Припустимо, що штраф водія становить $g = 50$ при наявності механізму скарг. Показано, що стабільна стратегія водіїв полягає у взятті пасажирів якщо початковий відсоток пасажирів, які обирають стратегію скарг, перевищує 17%. Таким чином, при наявності механізму скарг, умови, які змушують водія обирати стратегію спільного використання автомобілів, легше задовольняються, і водії, як правило, беруть пасажирів спільного використання автомобілів в цей час.

Досліджено вплив відстані об'їзду на порогові значення, вплив рівня заторів та вплив коефіцієнта оплати пасажирів на порогове значення для двох різних механізмів: за відсутності механізму скарг і за його присутності. Продемонстровано, що порогове значення поступово зростає зі збільшенням

відстані об'їзду. За відсутності механізму скарг початковий відсоток пасажирів, які обирають стратегію спільного використання автомобілів, має досягати 53%, коли відстань об'їзду дорівнює 0; початковий відсоток має досягати 71%, коли відстань об'їзду становить 5 км. Однак, при наявності механізму скарг, початковий відсоток пасажирів, які обирають стратегію подання скарги, має досягати лише 7%, коли відстань об'їзду дорівнює 0; початковий відсоток має досягати 33%, коли відстань об'їзду становить 5 км. Показано, що порогове значення поступово зростає зі збільшенням рівня заторів. За відсутності механізму скарг початковий відсоток пасажирів, які обирають стратегію спільного використання автомобілів, має досягати 52%, коли трафік цілком нормальний; початковий відсоток має досягати 60%, коли затори виникають неминуче. Однак, при наявності механізму скарг, початковий відсоток пасажирів, які обирають стратегію подання скарги, має досягати лише 5%, якщо трафік цілком нормальний; початковий відсоток повинен досягати 28%, коли затори виникають неминуче. Графічно продемонстровано, що порогове значення поступово знижується зі збільшенням коефіцієнта оплати пасажирів. Порогове значення при відсутності механізму скарг, є очевидно, нижчим, ніж при наявності механізму скарг.

Вплив штрафу на порогове значення показано на рисунку 2. Порогове значення поступово зменшується зі збільшенням штрафу, і швидкість зниження поступово сповільнюється. Порогове значення становить приблизно 75%, якщо штраф становить менше 20₴. Порогове значення залишається приблизно на рівні 5%, якщо сума штрафу перевищує 200₴, і постійне збільшення штрафу мало впливає на це порогове значення. Немає сенсу встановлювати надмірну суму штрафу, а занадто низька сума штрафу не може вплинути на вибір стратегії водіїв. Тому необхідно встановити відповідний штраф при механізмі скарг. Зроблено висновок, що порогові значення, за якими водії можуть обирати стратегію спільного використання автомобілів, легше задовольняються при наявності механізму скарг. Механізм скарг може зменшити кількість водіїв, які відмовляють пасажирів і зробить можливим об'їзд.

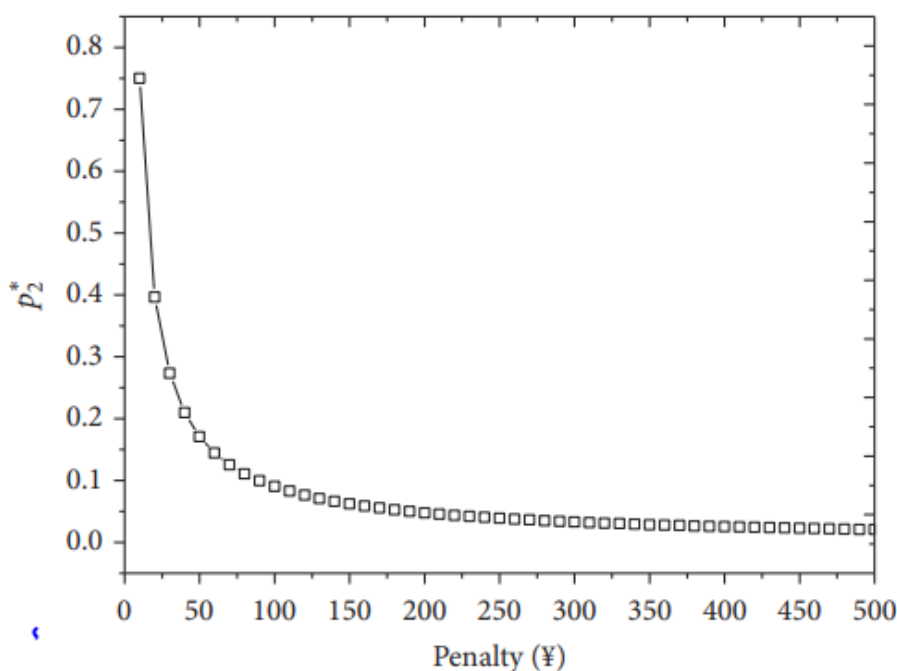


Рисунок 2 - Вплив штрафу на порогове значення

Висновки. У результаті проведених досліджень та аналізу можна зробити наступні висновки:

(1) Поведінка водіїв, які відмовляють пасажирів за умови відхилення від маршруту слідування таксі спільного використання, може легко статися. Механізм скарг пасажирів є ефективним заходом для зменшення випадків відмови водіїв.

(2) Чи оберуть водії стратегію відхилення від маршруту слідування таксі спільного використання, залежить від початкового відсотка пасажирів, які обирають стратегію спільного використання автомобілів або стратегію скарг. За відсутності механізму скарг стабільна стратегія водіїв полягає у взятті пасажирів, якщо відсоток пасажирів, які обирають стратегію спільного використання автомобілів, перевищує порогове значення p_1^* . При наявності механізму скарг, стабільна стратегія водіїв полягає у взятті пасажирів, якщо відсоток пасажирів, які обирають стратегію скарг, перевищує порогове значення p_2^* .

(3) Порогові значення залежать від відстані об'їзду, рівня заторів, коефіцієнта оплати та штрафу. Порогові значення поступово збільшуються зі

збільшенням відстані об'їзду або заторів. Порогові значення поступово знижуються зі збільшенням коефіцієнта оплати або штрафу. Це ефективний спосіб уникнути небажаної поведінки водія, який відмовляється скоротити відстань об'їзду, зменшити затори та обрати відповідний коефіцієнт оплати та штрафу.

Таким чином, вплив факторів, таких як відстань об'їзду та затори на дорогах, необхідно враховувати в процесі впровадження системи спільного використання таксі.

Необхідно забезпечити простий та ефективний спосіб подання скарг, щоб спонукати пасажирів активно скаржитися з метою контролю поведінки відмов.

Література:

1. Adrienko, and Adrienko. 2011. "Spatial Generalization and Aggregation of Massive Movement Data."
2. Kim, Jiwon, Kai Zheng, Sanghyung Ahn, Marty Papamanolis, and Pingfu Chao. 2016. "Graph-Based Analysis of City-Wide Traffic Dynamics Using Time Evolving Graphs of Trajectory Data." In.
3. Yildirimoglu, Mehmet, and Jiwon Kim. 2018. "Identification of Communities in Urban Mobility Networks Using Multi-Layer Graphs of Network Traffic."
4. Bar-Gera, H.(2002), Origin-based algorithm for the traffic assignment problem, *Transportation Science* 36(4), 398-417. Bar-Gera, H. & Boyce, D. (2003), Origin-based algorithms for combined travel forecasting models, *Transportation Research Part B - Methodological* 37 (5), 405-422.
5. Boyce, D. & Bar-Gera, H. (2003), Validation of urban travel forecasting models combining origin-destination, mode and route choices, *Journal of Regional Science*, 43, 517-540.
6. Rey, D.PI, Bar-Gera, H.PI, Dixit, V.PI, Waller, S.T.PI (2019). A Branch and Price Algorithm for the Work-zone Scheduling Problem. Accepted for publication in *Transportation Science*.

Стаття відправлена: 10.11.2022 р.

© Барановська Л.В., Шнир'ов В.В.