

УДК 656.025

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ТА ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ У МОДЕЛЯХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕСУВАНЬ

Є.Ю. Форнальчик, проф., д.т.н., А.Б. Білоус, доц., к.т.н., І.А. Демчук, асп.,
Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація. Проаналізовано результати застосування «м'яких» методів обчислення попиту населення на пересування у містах та наведено основні переваги їх використання.

Ключові слова: нечітка логіка, генетичний алгоритм, система нечіткого висновку, кореспонденції пересувань.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ И ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В МОДЕЛЯХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕДВИЖЕНИЙ

Е.Ю. Форнальчик, проф., д.т.н., А.Б. Билоус, доц., к.т.н., И.А. Демчук, асп.,
Национальный университет «Львовская политехника»

Аннотация. Проанализированы результаты применения «мягких» методов вычисления спроса населения на передвижения в городах и приведены основные преимущества их использования.

Ключевые слова: нечеткая логика, генетический алгоритм, система нечеткого вывода, корреспонденции передвижений.

APPLICATION OF THE FUZZY LOGIC AND GENETIC ALGORITHMS IN THE MODELS OF PASSENGER TRAFFIC

Y. Fornalchuk, Prof., D. Sc. (Eng.), A. Bilous, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),
I. Demchuk, P. G., Lviv Polytechnic National University

Abstract. Analysis of the results of the theory of fuzzy logic and the genetic algorithms to determine the correspondence of passenger traffic in cities is presented. The advantageous aspects of using the “soft” methods of estimation are revealed. It was established that they require further study and improvement to be further use in the practice of passenger movement.

Key words: fuzzy logic, genetic algorithm, fuzzy inference system, correspondence movement.

Вступ

Відповідно до традиційного підходу визначення транспортного попиту процес транспортного планування складається з чотирьох етапів [1, 2]: визначення обсягів пересувань (trip generation); визначення кореспонденцій пересувань (trip correspondence); розподіл кореспонденцій за типом пересування (modal split); розподіл кореспонденцій за шляхом пересувань (network assignment).

Одним із потужних за трудомісткістю розрахунків є етап визначення обсягів кореспонденцій пересувань. Результати обчислень на цьому етапі є початковими даними для останніх двох і характеризують шаблон мобільності на території проектування у просторовому та кількісному вимірах.

Для визначення кореспонденцій пересувань застосовуються моделі з різними підходами. У плані мінімізації необхідних ресурсів для збору початкових даних та простоти вико-

нання розрахунків виділяються, з-поміж інших, моделі визначення обсягів пересувань із застосуванням нечіткої логіки. За структурою такі моделі являють собою «чорну скриньку», яка дозволяє швидко видавати сформовані початкові дані та отримувати результати [3].

Аналіз публікацій

У 1977 році науковці Паппіс та Мамдані опублікували свої перші роботи, в яких за допомогою методу нечіткої логіки вирішувались транспортні проблеми міст [4]. У середині та наприкінці 1980-х років група японських вчених зробила істотний внесок до використання теорії нечіткого вибору у транспортному русі й у процесі перевезення пасажирів [5–9]. Вони розв'язали комплексне транспортне завдання, вказавши на великий потенціал використання теорії нечіткого вибору. Наприкінці 1980-х на початку 1990-х років ця теорія для вирішення проблем транспортного планування почала інтенсивно використовуватись і у дослідженнях вчених американських університетів. Заслужують на увагу роботи дослідної команди Делаверського університету, очолюваної професором Шинья Кікучі [10–14]. На початку і в середині 1990-х років підвищилась зацікавленість щодо використання нечіткої логіки у вирішенні транспортних проблем і в інших провідних університетах світу [15, 16].

Мета і постановка завдання

З урахуванням викладеного та стану питання у вітчизняній науці і практиці щодо розв'язання проблеми з пасажирськими перевезеннями у великих і значних містах, метою у цій роботі є встановлення переваг застосування «м'яких» методів обчислень для визначення кореспонденцій пересувань населення.

Застосування нечіткої логіки та генетичних алгоритмів для визначення обсягів кореспонденцій пересувань

Підхід до визначення кореспонденцій пересувань за допомогою нечіткої логіки розглядається у працях Каліс і Теодорович [17, 18]. Автори оцінили повітряні пасажирські потоки між обраними головними промисловими містами і туристичними курортами, викорис-

товуючи дані генерування та поглинання поїздок як початкові дані.

В іншій статті [19] вчені вдосконалили попередні розробки, досягнувши кращих результатів із застосуванням системи генетичних нечітких правил. Розроблена ними модель складається з двох частин. У першій генерується база нечітких правил, які використовуються для визначення кількості поїздок між окремими зонами. Отримана база нечітких правил має відповідну точність щодо відповідності між розрахунковими і реальними пасажиропотоками. У другій частині моделі, з метою збільшення рівня точності, початкова база нечітких правил модифікується за допомогою генетичного алгоритму. Запропонована модель прогнозує пасажиропотоки між великими промисловими містами та туристичними курортами.

У роботі надано графічні порівняння та статистичний аналіз реальних значень та значень вихідних змінних, отримані запропонованими методами. За результатами дослідження із загальної кількості 18 пар зон у 13 випадках відбулося прогнозування із заданою точністю [19]. Отримане вказує на те, що «м'які» методи обчислень можуть використовуватися для прогнозування попиту на перевезення пасажирів. У статті Каліс та Кульджанін описано підхід до моделювання обсягів та кореспонденцій поїздок за допомогою нечіткої логіки [20]. Вчені вважають, що для правильного опису потоків між двома країнами слід розглянути такі чинники, як рівень торгівлі (експорт та імпорт товарів), міграція трудових потоків, історичні відносини, рівень туристичної привабливості тощо. Запропонована ними модель розподілу поїздок така: пасажиропотоки від країни генерування поїздок в інші країни визначаються відповідно до кількості емігрантів, імпорту та тяжіння із застосуванням нечіткої логіки. Розроблена модель використовувалась для визначення пасажиропотоків між Сербією і 14 іншими обраними країнами. Отримані результати свідчать про дуже близьку відповідність реальних і оцінених моделюванням значень пасажирських потоків, а також про доцільність застосування таких моделей у визначенні кореспонденцій пересувань пасажирів.

Трифазна система нечіткого висновку була запропонована Джассбі у 2011 році для відо-

браження соціальних і демографічних змін, які впливають на загальну кількість пересувань між парами зон «походження – призначення» [21]. Головна мета роботи – максимально наблизити функцію належності, що відображає змінні генерування і поглинання поїздок, до реальної кількості пересувань між двома обраними районами. Для відображення вхідного простору даних у вихідний використовувались три незалежні системи нечіткого висновку [21] (рис. 1). Перша система спрямована на відображення змінних генерування пересувань до кількості загальних пересувань для досліджуваного регіону (G_i). Друга призначена для відображення змінних поглинання пересувань до кількості здійснених пересувань для цього ж регіону (A_j). Третя система нечіткого висновку об'єднує вихідні дані першої та другої систем для агрегації двох регіонів G_i та A_j і обчислення загальної кількості пересувань між ними (T_{ij}).

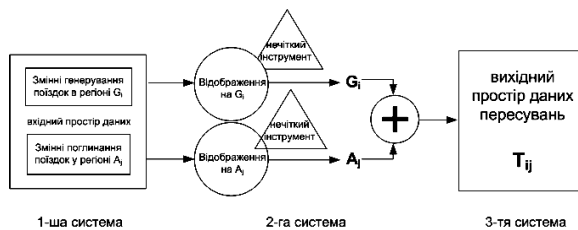


Рис. 1. Комплексна система нечітких висновків у моделі кореспонденції пересувань

Отримані результати показують, що запропонована логічна структура на основі системи нечіткого висновку може успішно використовуватися для визначення розподілу пересувань. У роботі Медіна та Спеса [22] за допомогою генетичного алгоритму (ГА) вирішується проблема оптимізації туристичних розподільних мереж. Автори докладно описують восьмиступінчасту процедуру розробки ГА [23] для вирішення проблеми розподілу кореспонденції пересувань пасажирів для аеропорту в м. Аліканте та 30 туристичних напрямків у Північній Африці і Західній Європі. Розроблений авторами алгоритм був реалізований у Visual BASIC для використання на персональному комп'ютері. Отримані результати вказують на раціональність застосування ГА у поєднанні з ручними рішеннями для розв'язання завдань розподілу пасажирських пересувань. Виділено і такі

сторони ГА, як гнучкість та здатність адаптуватися до змінних умов середовища.

Гоел та інші [24] розробили модель розподілу пересувань на основі генетичного алгоритму на прикладі міста Делі. Модель формується таким чином

$$F_{ij} = \{P_i, A_j, C_{ij}\},$$

де F_{ij} – розподіл пересувань (кореспонденції); P_i – загальна кількість пересувань, що генерується у зоні i ; A_j – загальна кількість пересувань, поглинута зоною j ; C_{ij} – вартість пересування пасажирів із зони i у зону j ; i – кількість зон походження пересувань; j – кількість зон призначення пересувань.

Результати моделювання порівнювались з результатами, отриманими за допомогою лінійного програмування. Встановлено, що лінійне програмування вказує на неможливість вирішення складних проблем оптимізації (9 із 81 кореспонденції) у той час, коли вони успішно розв'язуються (76 із 81 кореспонденції) моделями із застосуванням ГА (табл. 1).

Таблиця 1 Порівняння результатів моделювання розподілу пасажирських пересувань

Проблеми та результати їх розв'язання	Моделі із застосуванням лінійного програмування	Модель розподілу поїздок із застосуванням ГА
Статус рішення	неможливе	можливе
Кількість результатів (81 кореспонденція)	9	76

У 2013 році Компіл і Челік розробили модель розподілу пересувань із використанням системи генетичних нечітких правил (СГНП) [25]. За попередньо проаналізованими дослідженнями в області застосування нечіткої логіки та генетичного алгоритму, системи нечітких правил можуть використовуватися для ефективного вирішення проблем розподілу пересувань, а поєднання їх із генетичним алгоритмом дають можливість отримати адекватніші результати. Слід зазначити, що нечіткі системи та системи із застосуванням генетичного алгоритму є альтернативою до традиційних гравітаційних моделей та моделей нейронних мереж у моделюванні розподілу пасажирських пересувань.

Висновки

У моделях розподілу пасажирських пересувань із застосуванням нечіткої логіки використовується «ефект навчання», який дає змогу моделі під час виконання розрахунків змінювати свої параметри з метою підлаштування під реальні взаємозалежності. У цьому позитивному ефекті криється й основний недолік, зокрема певна суб'єктивність у виборі параметрів функцій належності. Математичний апарат генетичних алгоритмів дозволяє звести до мінімуму втручання у процес налаштування параметрів моделі та створити його за принципом змагання. Генетичні алгоритми дають змогу відсіювати гірші результати параметрів моделі та виробляти кращі у процесі функціонування транспортних систем і пасажирських перевезень.

Зважаючи на викладене, алгоритми визначення обсягів кореспонденцій із застосуванням теорії нечіткої логіки в парі з генетичними алгоритмами пошуку оптимальних параметрів можуть успішно застосовуватись у моделях визначення обсягів кореспонденцій пересувань. Використання їх забезпечить точніші результати розрахунків у визначенні транспортного попиту.

Література

- Norbert Oppenheim Urban Travel Demand Modeling / Oppenheim Norbert. – John Wiley and Sons, 1995. – 480 p.
- Швецов В.И. Проблемы моделирования передвижений в транспортных сетях / В.И. Швецов // Труды МФТИ. – 2010. – Том 2, №4. – С. 169–179.
- Білоус А.Б. Аналіз методів та моделей розрахунку обсягу пасажирських кореспонденцій / А.Б. Білоус, І.А. Демчук // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – 3/3(69). – С. 53–57.
- Pappis C. A fuzzy controller for a traffic junction / C. Pappis, E. Mamdani // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics SMC-7, 1977. – P. 707–717.
- Nakatsuyama M. Fuzzy logic phase controller for traffic functions in the one-way arterial road / M. Nakatsuyama, N. Nagahashi, N. Nishizuka // Proceedings IFAC 9th Triennial World Congress: Pergamon Press. – Oxford, 1983. – P. 2865–2870.
- Sugeno M. Fuzzy control of model car / M. Sugeno, M. Nishida // Fuzzy Sets and Systems. – 1985. – Vol. 16. – P. 103–113.
- Sasaki T. Development of fuzzy traffic control system on urban expressway / T. Sasaki, T. Akiyama // Preprints 5th IFAC/IFIP/IFORS International Conference in Transportation Systems, 1986. – P. 333–338.
- Sasaki T. Fuzzy on-ramp control model on urban expressway and its extension / T. Sasaki, T. Akiyama; In Gartner, N.H., Wilson, N.H.M. (Eds.) // Transportation and traffic theory. Elsevier Science. – New York, 1987. – P. 377–395.
- Sasaki T. Traffic control process of expressway by fuzzy logic / T. Sasaki, T. Akiyama // Fuzzy Sets and Systems. – 1988. – Vol. 26. – P. 165–178.
- Kikuchi S. Scheduling demand-responsive transportation vehicles using fuzzy-set theory / S. Kikuchi // Journal of Transportation Engineering. – 1992. – Vol. 118. – P. 391–409.
- Kikuchi S. Characteristics of the fuzzy LP transportation problem for civil engineering applications / S. Kikuchi, N. Vukadinovic, S. Easa // Civil Engineering Systems. – 1991. – Vol. 8. – P. 134–144.
- Perincherry V. Application of fuzzy set theory to linear programming / V. Perincherry // MSc. thesis. – Newark: University of Delaware, 1990. – P. 56–59.
- Teodorovic D. Transportation route choice model using fuzzy inference technique / D. Teodorovic, S. Kikuchi; In: Ayyub, B.M. (Ed.) // Proceedings of ISUMA'90, The First International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis: IEEE Computer Press. – Maryland: College Park, 1990. – P. 140–145.
- Teodorovic D. Application of fuzzy sets theory to the saving based vehicle routing algorithm / D. Teodorovic, S. Kikuchi // Civil Engineering Systems. – 1991. – Vol. 8. – P. 87–93.
- Darshana O. Application Of Fuzzy Logic And Genetic Algorithm In Trip Distribution / O. Darshana, M. Tech // International journal of engineering development and research (IJEDR). – 2011. – P. 52–54.
- Teodorovic D. Fuzzy logic systems for transportation engineering: the state of the art // Transportation Research: Part A. – 1999. – Vol. 33. – P. 337–364.

17. Kalic M. Solving the trip distribution problem by fuzzy rules generated by learning from examples / M. Kalic, D. Teodorovic // Proceedings of the XXIII Yugoslav Symposium on Operations Research. – Zlatibor, Yugoslavia, 1996. – P. 777–780: (in Serbian).
18. Kalic M. Trip distribution modeling using soft computing techniques / M. Kalic, D. Teodorovic // Paper presented at the EURO XV/INFORMS XXXIV: Book of abstracts. – Barcelona, 1997. – P. 74.
19. Kalis M. Trip distribution modeling using fuzzy logic and a genetic algorithm / M. Kalis, D. Teodorovic // Transportation Planning and Technology. – 2003. – Vol. 26, № 3. – P. 213–238.
20. Kalić M. Air Travel Demand Fuzzy Modelling: Trip Generation and Trip Distribution: Online Conference on Soft Computing in Industria Applications Anywhere on Earth / M. Kalić, J. Kuljanin and S. Dožić. – 2012. – December. – P. 10–21.
21. Jassbi J. Soft system modeling in transportation planning: Modeling trip flows based on the fuzzy inference system approach / J. Jassbi, P. Makvandi, M. Ataei, A.S. Sousa Pedro // African Journal of Business Management. – 2011. – Vol. 5(2). – P. 505–514.
22. Medina J. Optimization of touristic distribution networks using genetic algorithms / J. Medina, V. Yepes // SORT. – 2003. – 27 (1) January-June. – P. 95–112.
23. Medina J. Algoritmos geneticos para la optimizacion de redes de distribucion: (in Spanish) // Actas del Congreso Panamericano de Ingenieria de Transito y Transporte. – Santander: Ministerio de Forento (Spain), 1998. – P. 339–347.
24. Goel S. Trip Distribution Model for Delhi Urban Area Using Genetic Algorithm / S. Goel, J. Singh, K. Ashok // International Journal of Computer Engineering Science (IJCES). – 2012. – Vol. 2 (3). – P. 125–131.
25. Kompil M. Modelling trip distribution with fuzzy and genetic fuzzy systems / M. Kompil, H. Celik // Transportation Planning and Technology. – 2013. – Vol. 36 (2). – P. 170–200.
2. Shvetsov V.Y. Problemyi modelirovaniya peredvizheniy v transportnyih setyah [Problems of modeling of movement in transport networks]. *Trudyi MFTI - Proceedings of MIPT*, 2010, vol. 2, № 4, pp. 169–179 [in Rus.].
3. Bilous A.B., & Demchuk I.A. Analiz metodiv ta modeley rozrakhunku obsyahu pasazhyrs'kykh korespondentsiy. Analysis of calculation methods and models of passenger correspondence. *Skhidno-Yevropeys'kyi zhurnal peredovykh tekhnolohiy - East European Journal of advanced technologies*, 2014, vol. 3/3(69). pp. 53–57 [in Ukr.].
4. Pappis C.A., Mamdani E. fuzzy controller for a traffic junction. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics SMC-7*, 1977. pp. 707–717.
5. Nakatsuyama M., Nagahashi N., Nishizuka N. Fuzzy logic phase controller for traffic functions in the one-way arterial road. *Proceedings IFAC 9th Triennial World Congress: Pergamon Press*. Oxford, 1983. pp. 2865–2870.
6. Sugeno M., Nishida M. Fuzzy control of model car. *Fuzzy Sets and Systems*, 1985, vol. 16. pp. 103–113.
7. Sasaki T., Akiyama T. Development of fuzzy traffic control system on urban expressway. *Preprints 5th IFAC/IFIP/IFORS International Conference in Transportation Systems*, 1986. pp. 333–338.
8. Sasaki T., Akiyama T. Fuzzy on-ramp control model on urban expressway and its extension. In Gartner, N.H., Wilson, N.H.M. (Eds.). *Transportation and traffic theory*. Elsevier Science, 1987. pp. 377–395.
9. Sasaki T., Akiyama T. Traffic control process of expressway by fuzzy logic. *Fuzzy Sets and Systems*, 1988, vol. 26. pp. 165–178.
10. Kikuchi S. Scheduling demand-responsive transportation vehicles using fuzzy-set theory. *Journal of Transportation Engineering*, 1992, vol. 118. pp. 391–409.
11. Kikuchi S., Vukadinovic N., Easa S. Characteristics of the fuzzy LP transportation problem for civil engineering applications. *Civil Engineering Systems*, 1991, vol. 8. pp. 134–144.
12. Perincherry V. Application of fuzzy set mmingtheory to linear progra. *MSc. thesis*. Newark: University of Delaware, 1990. pp. 56–59.

References

1. Norbert Oppenheim Urban Travel Demand Modeling. John Wiley and Sons Publ., 1995. 480 p.

13. Teodorovic D. Kikuchi S.; In: Ayyub, B.M. (Ed.) Transportation route choice model using fuzzy inference technique. *Proceedings of ISUMA'90. The First International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis: IEEE Computer Press. Maryland: College Park, 1990.* pp. 140–145.
14. Teodorovic D., Kikuchi S. Application of fuzzy sets theory to the saving based vehicle routing algorithm. *Civil Engineering Systems*, 1991, vol. 8. pp. 87–93.
15. Darshana O., Tech M. Application Of Fuzzy Logic And Genetic Algorithm In Trip Distribution. *International journal of engineering development and research (IJEDR)*, 2011. pp. 52–54.
16. Teodorovic D. Fuzzy logic systems for transportation engineering: the state of the art. *Transportation Research: Part A*, 1999, vol. 33. pp. 337–364.
17. Kalic M., Teodorovic D. Solving the trip distribution problem by fuzzy rules generated by learning from examples. *Proceedings of the XXIII Yugoslav Symposium on Operations Research. Zlatibor, Yugoslavia, 1996.* pp. 777–780 (in Serbian).
18. Kalic M., Teodorovic D. Trip distribution modeling using soft computing techniques. *Paper presented at the EURO XV/INFORMS XXXIV: Book of abstracts. Barcelona, 1997.* p. 74.
19. Kalis M., Teodorovic D. Trip distribution modeling using fussy logic and a genetic algorithm. *Transportation Planning and Technology*, 2003, vol. 26, no 3. pp. 213–238.
20. Kalić M., Kuljanin J. and Dožić S. Air Travel Demand Fuzzy Modelling. *Trip Generation and Trip Distribution: Online Conference on Soft Computing in Industria Applications Anywhere on Earth, 2012, December.* pp.10–21.
21. Jassbi J., Makvandi P., Ataei M., Sousa Pedro A.S. Soft system modeling in transportation planning: Modeling trip flows based on the fuzzy inference system approach. *African Journal of Business Management*, 2011, vol. 5 (2). pp. 505–514.
22. Medina J., Yepes V. Optimization of touristic distribution networks using genetic algorithms. *SPORT*, 2003, 27 (1) January–June. pp. 95–112.
23. Medina J. Algoritmos geneticos para la optimizacion de redes de distribucion: (in Spanish). *Actas del Congreso Panamericano de Ingenieria de Transito y Transporte. Santander: Ministerio de Forento (Spain), 1998.* pp. 339–347.
24. Goel S., Singh J., Ashok K. Trip Distribution Model for Delhy Urban Area Using Genetic Algorithm. *International Journal of Computer Engineering Science (IJCES)*, 2012, vol. 2 (3). pp. 125–131.
25. Kompil M., Celik H. Modelling trip distribution with fuzzy and genetic fuzzy systems. *Transportation Planning ang Technology*, 2013, vol. 36 (2). pp. 170–200.

Рецензент: П.Ф. Горбачов, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 13 серпня 2014 р.