

Я.І. ВИКЛЮК, канд. физ.-мат. наук, докторант НУ "Львівська політехніка" (м. Чернівці),

Б.М. ГАЦЬ, здобувач кафедри економічної кібернетики та інформаційних систем КНТЕУ (м. Чернівці)

МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ І ПОБУДОВИ ПРОСТОРОВИХ ПОЛІВ ЙМОВІРНОСТІ УРБАНІЗАЦІЇ

На прикладі геоінформаційної системи (ГІС) MapInfo приведено методику відбору даних для побудови моделі просторових полів ймовірності урбанізації. Для розрахунку поля ймовірностей було використано нечітку гібридну мережу ANFIS, в результаті навчання сформовані FIS-системи з різними типами функцій приналежності. Апробація методу здійснювалась на основі туристичних містечок Карпатського регіону. Лл.: 6. Бібліогр.: 11 назв.

Ключові слова: ГІС, просторові поля ймовірності, нечітка гібридна мережа ANFIS, FIS-система, функції приналежності.

Постановка проблеми. Моделювання і управління різними видами складних соціальних систем є важливими елементами ефективного прийняття рішень. Серед таких систем можна виділити розвиток індустрії туризму, урбанізацію територій, розвиток туристичних курортів і т.п. Динамічний розвиток регіону може відбуватись за умови використання програм, що базуються на використанні прогностичних сценаріїв з можливістю передбачення розвитку таких систем.

Зважаючи на інтенсивний розвиток туризму в Карпатському регіоні виникає необхідність моделювання просторових структур туристичних містечок. Прогнозування геометрії росту населених пунктів і їхньої внутрішньої структури дозволить планувати розвиток відповідної інфраструктури з максимальною ефективністю. Виникає можливість передбачити місця потенційного розширення туристичних містечок, що дозволить визначити спеціалізацію окремих сегментів населеного пункту й передбачити інвестиційні потоки такої системи [1].

Аналіз літератури. Моделювання нелінійних комплексних систем набуло широкого розповсюдження. Зокрема, має місце зростаюча кількість прикладів моделювання міських систем і процесу урбанізації.

Одним з прикладів моделей просторової урбанізації є SLEUTH, що розроблений на основі клітинних автоматів (КА). З їх допомогою можна не тільки моделювати міське землевикористання, але й оцінити та передбачити інші типи землекористування й ґрунтово-рослинного покриву. Модель здатна підбирати статистичні зразки минулого розвитку і забезпечувати ймовірнісну оцінку урбанізації, що відповідає дійсності. В [2] модель використовувалась для вивчення довгострокової урбанізації м. Сан Франціско й регіону Вашингтон-Балтимор. SLEUTH був успішно реалізований для передбачення

урбанізації на наступні 20-50 років для столичних регіонів, включаючи Південну Каліфорнію [3], Чикаго [4], Атланту [5], Санта Барбару [6], Лісабон та Порто [7].

Іншими прикладами моделювання міських систем є роботи [8 – 10]. В [8] моделюється динаміка використання земель міста Buffalo, NY з застосуванням КА і ГІС, в [9] змодельовано зміни використання земель міста Cincinnati методом обмежувальних КА і в роботі [10] розглянуто КА на основі нейромережі для моделювання швидкого розвитку міст в південному Китаї.

Метою роботи є визначення просторових розподілів полів ймовірностей урбанізації туристичних поселень для моделювання їх розвитку і розширення з використанням ГІС і апарату нечіткої логіки. Просторові моделі є важливим інструментом для осмислення процесу урбанізації, підтримки планування міст і управлінської політики [11].

Формалізація моделі. Прикладом моделювання міських систем є робота [1]. Апробація проводилась на прикладі міста Шеньжень (Китай) і в якості змінних моделі беруться наступні параметри: відстань до найближчого автобану, автодороги, центру міста і залізниці. Моделі такого плану використовуються для відображення процесу урбанізації великих міст і враховують характерні особливості, що притаманні для їх розвитку і розширення.

Враховуючи специфіку Карпатського регіону з відсутністю автобамів, невеликими розмірами туристичних поселень, наявністю під'їзних доріг модель просторових розподілів ймовірності урбанізації може бути представлена наступним чином:

$$p = f(x_1, x_2, x_3), \quad (1)$$

де p – ймовірність урбанізації території, x_1 – відстань до центру населеного пункту, x_2 – відстань до найближчої автодороги, x_3 – відстань до найближчої залізничної станції.

Даний вибір аргументується тим, що важливу роль при моделюванні розвитку туристичних поселень відіграє відстань до атракторів (гірськолижних витягів, історико-культурних центрів тощо). В нашому випадку в якості атрактора було визначено центр населеного пункту. Іншим фактором розвитку є транспортні мережі (автошляхи і залізниці). Відомо, що розбудова поселень, що спеціалізуються на туризмі тяжіє до прокладених автошляхів.

Для формування навчальної вибірки використовувалась ГІС MapInfo. В якості навчального прикладу були вибрані просторові структури основних туристичних містечок Українських Карпат, а саме смт. Ворохта, м. Яремче, с. Мигово, смт. Славське, с. Паляниця. Навчальна вибірка складалась із 5000 записів і була сформована згідно наступного алгоритму. Навколо заданих туристичних містечок визначалась область радіусом декілька кілометрів. З заданої області випадковим чином вибирались точки, для яких визначалися

координати, наявність об'єктів інфраструктури (автомобільних доріг, залізничних шляхів, селищ). Крім цього, розраховувалась відстань до найближчої автодороги, залізничної станції і центру вибраного населеного пункту.

Для знаходження прихованих залежностей в необроблених даних використовуються методи Data Mining. Загальною особливістю подібних задач є існування деякої залежності, що пов'язує вхідні й вихідні змінні моделі системи, представлені у формі "чорної скриньки". При цьому виявлення й визначення даної залежності в явному теоретико-множинному або аналітичному вигляді не представляється можливим через недолік інформації про проблемну область, що моделюється або складність врахування численних факторів, що впливають на характер даного взаємозв'язку.

Серед численної кількості методів Data Mining можна виділити нечіткі нейронні (гібридні) мережі, що покликані об'єднати в собі достоїнства нейронних мереж і систем нечіткого виводу. З одного боку, вони дозволяють розробляти й представляти моделі систем у формі правил нечітких продукцій, які володіють наочністю змістовної інтерпретації. З іншого боку, для побудови правил нечітких продукцій використовуються методи нейронних мереж.

З огляду на це, в роботі було використано адаптивну систему нейро-нечіткого виводу ANFIS, за допомогою якої отримано нечіткі FIS-системи з можливістю модифікації, редагування і аналізу.

Комп'ютерний експеримент. Для розрахунку поля ймовірності урбанізації була побудована нечітка система типу Сугено з допомогою ANFIS-редактора пакету MATLAB. Система нечіткого виведення містить 3 вхідні змінні, одну вихідну змінну, кожна з яких описується 3-ма термами. В результаті навчання сформовано 27 правил нечітких продукцій. В роботі досліджувались FIS-системи з різними типами функцій приналежності: гаусівська, узагальнена дзвоноподібна, трикутна і трапецієвидна.

Проаналізуємо їхні поверхні нечіткого виводу для побудованих FIS-систем (рис. 1, 2). Дані графіки відображають рівень ймовірності урбанізації території залежно від відстаней до центру міста, залізничної станції і автодороги. На рис. 1, 2 подано поверхні, побудовані на основі FIS-системи з гаусівськими і дзвоноподібними функціями приналежності.

З рисунків видно, що зі зміною відстані ймовірність розвитку території змінюється плавно, без різких переходів, а самі поверхні мають неперервну структуру. Як показали розрахунки, поверхні, побудовані на основі FIS-систем з трикутними і трапецієвидними функціями приналежності дають різкі прямолінійні спади ймовірності урбанізації при зміні відстані. Таких різких перепадів на практиці, як правило, не спостерігається і отримані результати не є адекватними для соціальних систем і, відповідно, поставленої задачі. Дані FIS-системи можна використати для бінарних випадків (моделювання теперішнього стану туристичних поселень), але не підходять для вирішення задач моделювання просторового розвитку форми туристичних поселень.

Тому для побудови просторових полів ймовірності урбанізації найкраще підходять FIS-системи на основі гаусівських і дзвіноподібних функцій.

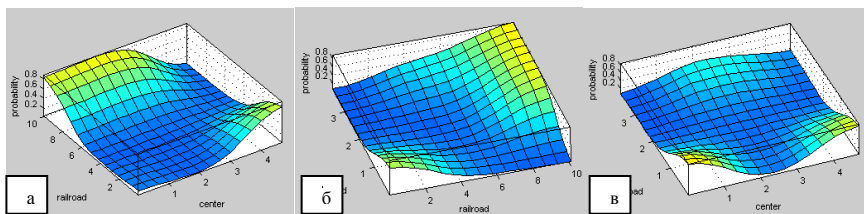


Рис. 1. Поверхні залежностей ймовірності урбанізації для гаусівських функцій приналежності в залежності від зміни відстані: а) до центру і залізничної станції, б) до залізничної станції і автодороги, в) до центру і автодороги

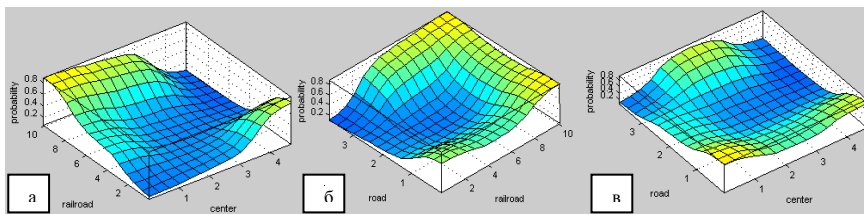


Рис. 2. Поверхні залежностей ймовірності урбанізації для дзвіноподібних функцій приналежності в залежності від зміни відстані: а) до центру і залізничної станції, б) до залізничної станції і автодороги, в) до центру і автодороги

Наступним кроком після розрахунку залежності моделі (1) є побудова полів ймовірності урбанізації туристичних містечок. Для цього розіб'ємо область, що моделюється сіткою. Для кожного вузла сітки визначаються значення вхідних параметрів моделі просторових розподілів ймовірності урбанізації (1). Результатом розрахунку є матриця розміром 1000000×3 . Отримані матриці були використані в якості аргументів функції `evalfis` пакету `FuzzyLogic Toolbox`, з допомогою якої було виконано нечіткий вивід в побудованих FIS-системах. На виході були отримані матриці, що відображають ймовірність урбанізації кожного з вузлів сітки і побудовані поля просторових розподілів ймовірності урбанізації.

Апробація запропонованого методу здійснювалась на основі туристичних містечок Ворохта і Яремче, що входили в навчальну вибірку. Розглянемо детальніше отримані результати.

На рис. 3 представлені поля ймовірностей урбанізації для м. Яремче. Видно, що поля, побудовані на основі FIS-систем з гаусівськими, дзвіноподібними і трикутними функціями приналежності дають майже ідентичний результат (рис. 3 а, 3 б, 3 г). Причому найвища ймовірність

урбанізації спостерігається вздовж однієї лінії. Це пояснюється наявністю автодороги, яка проходить через туристичне містечко і залізничної станції, що тут розташована. Дані фактори є визначальними в процесі розвитку і впливають на характер побудованих полів ймовірності урбанізації.

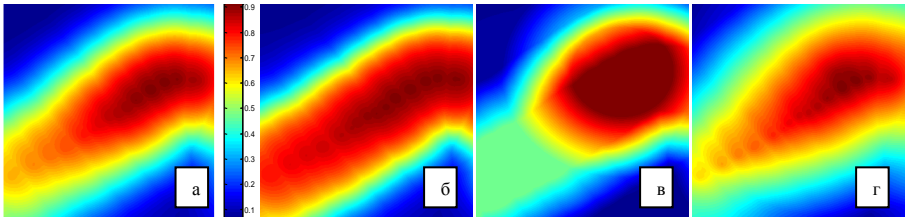


Рис. 3. Поля ймовірності урбанізації Яремче
а) гаусівські, б) дзвіноподібні, в) трапецієвидні, д) трикутні

Всі поля на рис. 4 мають два виражені центри, навколо яких відбувається ріст. Це пояснюється присутністю автодороги і залізниці. Але якщо в попередньому випадку (рис. 3) вони були розташовані паралельно одна одній, то у випадку Ворохти спостерігається розгалуження. Це і вплинуло на вигляд полів ймовірностей урбанізації.

Особливістю приведених туристичних містечок є те, що їх розвиток відбувався протягом тривалого періоду часу і проходив під впливом власних процесів забудови на місцях, популярних для відпочинку. Для таких містечок характерним є відсутність генерального плану забудови. Як показали дослідження, отримані результати є схожими для більшості туристичних містечок Карпатського регіону, що підтверджує вплив вхідних параметрів моделі (1) на перебіг процесів їх розвитку і розбудови.

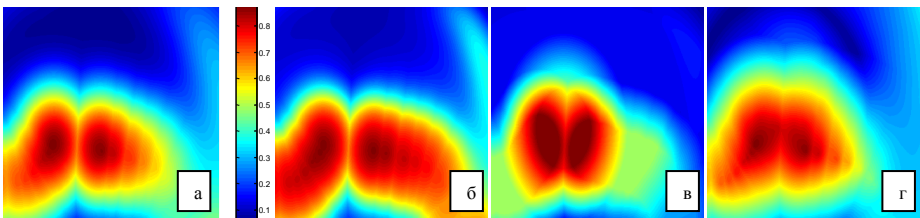


Рис. 4. Поля ймовірності урбанізації для смт. Ворохта
а) гаусівські, б) дзвіноподібні, в) трапецієвидні, г) трикутні

Висновки. В роботі була запропонована модель побудови просторових розподілів полів ймовірності урбанізації туристичних містечок Карпатського регіону на основі засобів нечіткої логіки і даних геоінформаційної системи MapInfo. Отримано FIS-системи з різними типами функцій приналежності і

обґрунтовано доцільність їх застосування для побудованої моделі. Використання методу дало змогу отримати просторові структури з високою точністю форм, що підтверджує адекватність підходу.

Модель може бути використана органами державної, місцевої влади та інвесторами для отримання інформації про перспективні для створення та розбудови туристичної інфраструктури зони. Можливість визначення перспективних районів не тільки дозволить виявити привабливі для інвестицій об'єкти, але й допоможе сформуванню ефективної стратегії розвитку туризму в регіонах.

Список літератури: 1. *Qingsheng Yanga*. Cellular automata for simulating land use changes based on support vector machines / *Yanga Qingsheng, Lia Xia, Shid Xun* // *Computers & Geosciences*. – 2008. – № 34. – P. 592-602. 2. *Clarke K.C.* Loose-coupling of a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore / *K.C. Clarke, L. Gaydos* // *International Journal of Geographical information science*. – 1998. – V. 12 (7). – P. 699-714. 3. *Xian G.* Dynamic modeling of Tampa Bay urban development using parallel computing / *G. Xian, M. Crane, D. Steinwand* // *Computers & Geosciences*. – 2005. – № 31. – P. 920-928. 4. *Xian G.* Urban development in the Chicago area – a dynamic model study / *G. Xian, W. Acevedo, J. Nelson* // *Proceedings of the Fourth International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4)*, Banff, Alberta, Canada. – 2000. – P. 47-53. 5. *Lo C.P.* Drivers of land-use/land-cover changes and dynamic modeling for the Atlanta, Georgia Metropolitan area / *C.P. Lo, X. Yang* // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. – 2002. – № 68 – P. 1073-1082. 6. *Herold M.* The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling / *M. Herold, N.C. Goldstein, K.C. Clarke* // *Remote Sensing of Environment*. – 2003. – № 86 – P. 286-302. 7. *Silva E.A.* Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porton, Spain / *E.A. Silva, K.C. Clarke* // *Computers, Environment and Urban Systems*. – 2003. – № 26 – P. 525-552. 8. *Clarke K.C.* A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area / *K.C. Clarke, S. Hoppen, L. Gaydos* // *Environment and Planning B: Planning and Design*. – 1997. – V. 24 (2). – P. 247-261. 9. *White R.* Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns / *R. White, G. Engelen* // *Environment and Planning A*. – 1993. – V. 25 (8). – P. 1175-1199. 10. *Li X.* Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS / *X. Li, A.G.O. Yeh* // *International Journal of Geographical Information Science*. – 2002. – V. 16. – P. 323-343. 11. *Barredo J.* Modelling dynamic spatial processes: simulation of future scenarios through cellular automata / *J. Barredo, M. Kasanko, N. McCormick, C. Lavalle* // *Landscape and urban planning*. – 2003. – V. 64. – P.145-160.

Стаття представлена д.ф.-м.н. проф. ЧНУ ім. Ю. Федьковича Остаповим С.Е.

УДК 004.825

Методы расчета и построения пространственных полей вероятности урбанизации / Виллюк Я.И., Гаць Б.Н. // *Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование*. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2010. – № 31. – С. 42 – 48.

На примере геоинформационной системы (ГИС) MapInfo приведена методика отбора данных для построения модели пространственных полей вероятности урбанизации. Для расчета поля вероятностей использовалась нечеткая гибридная сеть ANFIS, в результате обучения сформированы FIS-системы с разными типами функций принадлежности. Апробация метода осуществлялась на основе туристических городков Карпатского региона. Ил.: 4. Библиогр.: 11 назв.

Ключевые слова: ГИС, пространственные поля вероятности, нечеткая гибридная сеть ANFIS, FIS-система, функции принадлежности.

UDC 004.825

Methods of calculations and construction the spatial fields of urbanization probability
/ **Vyklyuk Ya.I., Gats B.M.** // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – №. 31. – P. 42 – 48.

Method of data selection is brought for the construction of model of the spatial fields of urbanization probability. Method based on the example of the geoinformation system (GIS) MapInfo. For the calculation of probability fields the fuzzy hybrid network ANFIS was used. As a result of teaching FIS-systems with the different types of membership functions were formed. Approbation of the method was implemented on the tourist towns of Carpathian region. Figs.: 4. Refs.: 11 titles.

Key words: GIS, spatial fields of probability, fuzzy hybrid network ANFIS, FIS-system, membership functions.

Надійшла до редакції 21.05.2010