

5. Гуляев В.И., Баженов В.А., Гоцуляк Е.А. и др. Устойчивость периодических процессов в нелинейных механических системах. – Львов: Вища шк. Изд-во при Львов. ун-те. 1983. – 287 с.
6. Ильский А.Л., Миронов Ю.В., Чернобыльский А.Г. Расчет и конструирование бурового оборудования. – М.: Недра, 1985. – 452 с.
7. Кожевников С.Н. Динамика нестационарных процессов в машинах. – К.: Наук. думка, 1986. – 288 с.
8. Харченко Е.В. Динамические процессы буровых установок. – Львов: Світ, 1991. – 176 с.
9. Харченко Є.В., Ковальчук Р.А. Розрахунок нестационарних процесів у насосному агрегаті бурової установки// Динаміка, міцність та проектування машин і приладів/ Вісник НУ "Львівська політехніка". – Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2005, № 539. – С. 103-110.
10. Харченко Є.В., Ковальчук Р.А. Розрахунок процесу пуску насосного агрегату бурової установки з фрикційною оперативною муфтою// Динаміка, міцність та проектування машин і приладів/ Вісник НУ "Львівська політехніка" № 556. – Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2006. – С. 69-78.
11. Харченко Є.В., Ковальчук Р.А. Дослідження режимів пуску насосного агрегату бурової установки// Технічні вісті. – 2006, № 3 (24), 5 (25).
12. Чабан В.И. Основы теории переходных процессов электромашинных систем. – Львов: Вища шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1980. – 200 с.

УДК 517.39:519.872.6

О.М. Маковейчук¹; доц. Р.В. Зінко,
канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ АНІЗОТРОПНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ КЛІТИНКОВИХ АВТОМАТІВ

Запропоновано для моделювання транспортних потоків використання ансамблю клітинкових автоматів в *анізотропному середовищі* з правилами еволюції, що враховують глобальну інформацію.

О.М. Makoveychuk¹; assist. prof. R.V. Zinko – NU "L'viv's'ka Politekhnika"

Cellular automata in anisotropic universe

An ensemble of the cellular automata (CA) for traffic flow simulation in *anisotropic universe* was proposed. Evolution rules for CA also consider the global information.

Останнім часом для більш гнучкого планування міст почали використовувати імітаційне моделювання транспортних потоків.

На сьогодні у світі існує безліч спеціальних систем для моделювання транспортних потоків, наприклад, TRANSIMS, PARAMICS, EMME/2, SATURN та ін. Існуючі підходи до моделювання можна класифікувати залежно від рівня детальної модельованого процесу [1-3] (рис. 1):

1. Моделі макрорівня описують транспортний потік як ціле, сукупність всіх транспортних засобів (гідродинамічна модель Лайтхілла-Уїзера, модель Гріншїлдса-Грінберга, модель черги Дангазо). Значущі параметри – густина трафіку і т.д. Основна сфера застосування цього типу моделей – аналіз транспортної системи великого об'єму, тобто мереж магістралей і міжрегіональних дорожніх мереж.
2. Моделі мікро-рівня характеризуються описом окремих транспортних засобів і взаємодій між ними (модель "слідування за лідером", клітинкові автомати). Моделі цього класу показують поведінку окремих учасників дорожнього руху, що підкоряються правилам поведінки і взаємодії транс-

¹ провідний інженер-програміст – ТзОВ "БІТ" (leading eng. – "BIT" Ltd.)

портних засобів. Правила поведінки містять додаткові стратегії для управління швидкістю і прискоренням. На цей час мікроскопічні моделі використовуються для моделювання трафіку на окремих перехрестях і їх сукупностях.

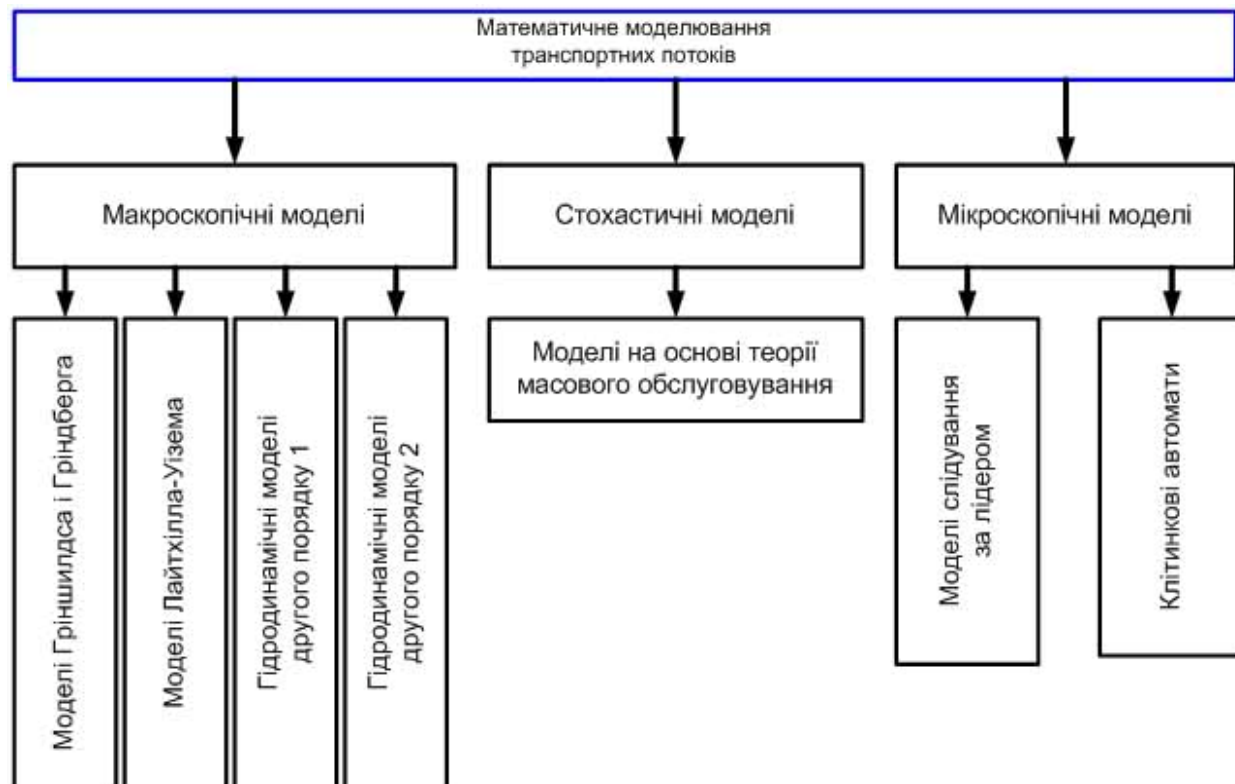


Рис. 1. Класифікація моделей імітаційного моделювання

Перспективним напрямком є моделювання на основі принципів клітинкових автоматів (КА). Класичні, клітинкові автомати введено в роботі Дж. фон Неймана [4], активні розробки почалися з работ Вольфрама [5]. Основні концепції КА наведено в [6], систематичний огляд використання КА для аналізу динамічних систем — [7], використання КА для моделювання дорожнього руху — в роботах [8, 9]. Наступним кроком у розвитку концепції КА моделювання транспортних потоків — використання ансамблю клітинкових автоматів із правилами еволюції, що враховують глобальну інформацію [10]. Використання глобальної інформації дає змогу більш адекватніше моделювати транспортні потоки. Поряд з тим все ж за допомогою КА досить важко змоделювати, наприклад, правосторонній рух транспортних засобів.

У цій роботі пропонуємо для моделювання транспортних потоків використовувати КА спеціальної структури, які діють у модельному Всесвіті, що представляє собою матрицю, кожен елемент якої може перебувати у 4 станах: 0 — заборонено, 1-3 — дозволено. Але на відміну від правил переходу, що описано у статті [10], рух можливий тільки у випадках:

$$1 \rightarrow 2, 2 \rightarrow 3, 3 \rightarrow 1, \\ 1 \rightarrow 1, 2 \rightarrow 2, 3 \rightarrow 3.$$

Стан модельного Всесвіту визначається заданням робочого поля U та законів еволюції. У нашому випадку модельний Всесвіт задається як

$$c = \{x, f\},$$

де: x — вектор поточних координат; f — вектор координат точки мети.

Для моделювання транспортних потоків використовується ансамбль КА, що задається у вигляді списку L . До початкових умов належать: конфігурація робочого поля U (граничні умови); множина точок входу (джерел) $\{s\}$; множина точок виходу (стоків) $\{f\}$; матриця імовірностей переходу $\langle s_m | f_n \rangle$; загальна інтенсивність потоку J .

Закони еволюції модельного Всесвіту:

- 1) З імовірністю $\varphi_{mn} = J \cdot \langle s_m | f_n \rangle$ у незайнятих точках входу створюється новий екземпляр КА і додається до списку, а відповідна точка помічається як зайнята:

$$\forall \mathbf{x} \in \{s\}, U(\mathbf{x}) = 0 \Rightarrow \\ \Pr \left(\begin{array}{l} \{s_m, f_n\} \uparrow L \\ U(\mathbf{x}) = 1 \end{array} \right) = \varphi_{mn};$$

- 2) КА, що досягнув заданої точки виходу, вилючається із списку, а відповідна точка помічається як вільна:

$$L = L \downarrow \{x, x\}, U(\mathbf{x}) = 0;$$

- 3) КА рухається в найближчу (на відстані 1) незайняту точку оптимального *впорядкованого* (правила переходу $1 \rightarrow 2, 2 \rightarrow 3, 3 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 1, 2 \rightarrow 2, 3 \rightarrow 3$) маршруту сполучення $w(\mathbf{x} \rightarrow \mathbf{f})$ (за умови, що такий існує), при цьому початкова точка помічається як вільна, а кінцева – як зайнята:

$$w = w(\mathbf{x} \rightarrow \mathbf{f}), \|w\| > 0, \mathbf{x}' = w(1),$$

$$U(\mathbf{x}') = 0 \Rightarrow \begin{pmatrix} U(\mathbf{x}) = 0 \\ U(\mathbf{x}') = 1 \\ \mathbf{x}' = \mathbf{x} \end{pmatrix}.$$

(оптимальним вважається *найкоротший 4-зв'язний впорядкований маршрут*, його можна знайти за допомогою хвильового алгоритму [11]).

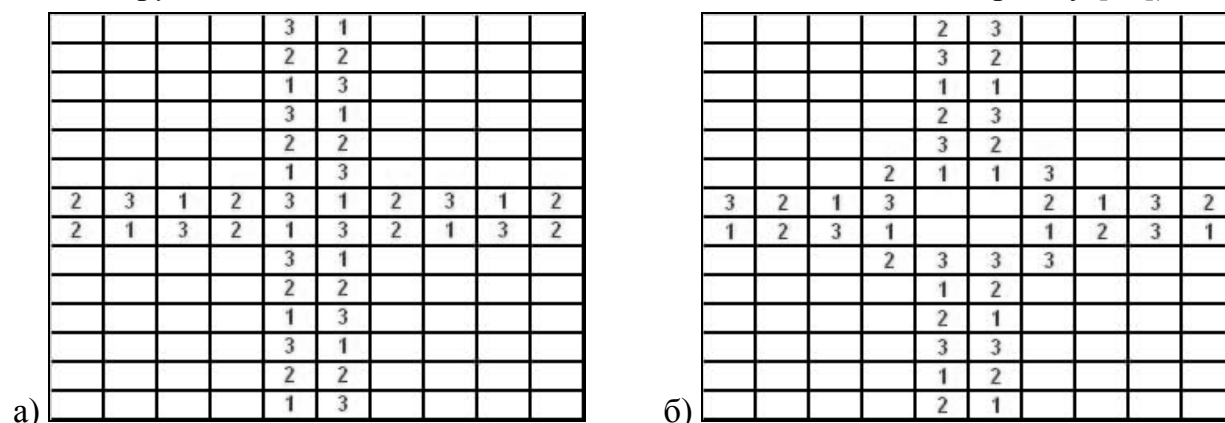


Рис. 2. Приклад опису елементів дорожньої мережі за допомогою анізотропних КА:
а) перехрестя; б) кільце

Використовуючи таку модель, можна прораховувати величину і динаміку транспортних потоків і для нестационарних конфігурацій із врахуванням *анізотронії* переміщення КА. Таким чином природно вводиться двосторонність дорожнього руху, правила руху кільцем, розворот автомобіля тощо.

Література

1. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. – М.: Мир, 1966. – 286 с.
2. Семенов В.В. Смена парадигмы в теории транспортных потоков// Препринт № 46 Ин-та прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2006.
3. Семенов В.В. Математическое моделирование транспортных потоков мегаполиса// Препринт № 34 Ин-та прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2004.
4. Neumann von J. Theory of Self-Reproducing Automata (Urbana: University of Illinois Press, 1966).
5. Wolfram S. Rev. Mod. Phys. 55 601 (1983).
6. Тоффоли Т., Марголюс Н. Машины клеточных автоматов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 280 с.
7. Ванг В.К. Исследование динамических систем методами клеточного автомата// УФН, т.169, № 5. – С. 481-505.
8. Nagel K. and Schreckenberg M. A cellular automaton model for freeway traffic, J. Physique I 2, 2221 (1992).
9. Barlovic R., Santen L., Schadschneider A. and Schreckenberg M. Metastable states in cellular automata for traffic flow, Eur. Phys. J. B 5, 793 (1998).
10. Маковейчук О.М. Моделювання транспортних потоків методами клітинкових автоматів// Наук. вісник НЛТУУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: НЛТУУ. – 2007, вип. 17.4. – С. 269-271.
11. Zhan, F. B. and Noon, C. E. 1998. Shortest Path Algorithms: An Evaluation Using Real Road Networks. Transportation Science 32, 1 (Jan. 1998), 65-73.

УДК 534.111

*Проф. Б.І. Сокіл, д-р техн. наук; Х.І. Ліщинська –
НУ "Львівська політехніка"*

ДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ У СИЛЬНО НЕЛІНІЙНИХ ДВОВИМІРНИХ СИСТЕМАХ І АТЕВ-ФУНКЦІЇ В ЇХ ДОСЛІДЖЕННІ

Розроблено методику дослідження коливних процесів сильно нелінійних двовимірних систем обмежених розмірів. Вперше використано періодичні Атев-функції при побудові одночастотних розв'язків рівнянь з частинними похідними, що описують динамічний процес вказаних систем. Це дало можливість отримати залежність частоти від геометричних розмірів, фізико-механічних параметрів і амплітуди коливань.

Prof. B.I. Sokil, Kh.I. Lishchyn'ska – NU "L'viv'ska politehnica"

Dynamic processes in strongly nonlinear bivariate systems and Ateb-functions in their research

It is developed a technique of research of oscillatory processes of strongly nonlinear bivariate systems of restricted sizes. For the first time it is used periodic functions at construction of single-frequency solutions of the equations with partial derivatives which describe dynamic process of the indicated systems. It has enabled to receive association of frequency on geometrical sizes, physicomechanical parameters and amplitudes of oscillations.

Актуальність і постановка задачі. Реально існуючі у коливних системах із багатьма ступенями вільності та розподіленими параметрами сили опору, в'язко-пружні та іншої природи сили приводять до швидкого зникання коливань із вищими частотами та встановлення у них динамічного процесу із частотою, яка близька до частоти зовнішнього періодичного збурення (за наявності такого) або першої основної частоти частотного спектру системи. Такі задачі для випадку, коли нелінійні характеристики системи прийма-