

УДК 514.18

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗАСОБАМИ КЛІТИННИХ АВТОМАТІВ

Залевська О.В., к.т.н.,

o.zalevska@kpi.ua, ORCID: 0000-0002-3163-1695

Ладогубець Т.В., к.т.н.,

aladog@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8700-5477

Мірошниченко І. В.

goodgod@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7383-8013

Воробйов О.М.,

voroba.ua@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5314-1075

Захаркін М.,

zaharmisha70@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4609-8130

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

Ni XuiHui

nixiuhui@outlook.com,

Institute of Oceanographic Instrumentation, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), (Qingdao, China)

Пуполяризація клітинних автоматів в різних галузях наук забезпечується їх гнучкістю конфігурації та універсальністю обчислень. Варіюючи різні параметри, можна отримати клітинний автомат необхідної конфігурації. Робота присвячена розробці алгоритмів побудови тривимірного клітинного автомату для моделювання процесу еволюції системи. Для дослідження динамічного процесу необхідно розробити програмний застосунок, що забезпечував створення клітинних автоматів різної складності. Широкий спектр застосування автоматів, також накладає додаткові вимоги до програмного забезпечення та удосконалення розв'язку існуючих проблем.

Еволюційні моделі використовують характеристики дарвінівської теорії для побудови інтелектуальних систем (методи групового обліку, генетичні методи). Такі клітинні автомати відносять до галузі штучного інтелекту – обчислювального інтелекту.

В роботі розглянуто та удосконалено базові схеми та алгоритми моделювання динамічних систем, що базуються на іграх «Життя» та «Хижак-жертва». Запропоновані модифікації алгоритмів дозволяють прогнозувати локальні змінні зв'язки між клітинними, інтенсивність яких можна регулювати за допомогою коефіцієнтів активності.

Моделювання еволюційних процесів у системах проводилося, з наступних міркувань: системи, що мають здатність до самоорганізації та еволюції, як відомо, мають бути, перш за все, відкритими.

Відкритість системи передбачає вільний обмін речовиною та енергією з навколишнім середовищем, причому фізичні властивості частинок речовини можуть мати найрізноманітніший характер. Це призводить до випадкового "виникнення" частинок з новими властивостями, що необхідно передбачити. Наприклад, глобальне правило взаємодій, однакове всім клітин поля, може містити в собі функцію пересування частинок, але якщо відповідний коефіцієнт активності деякої клітини прийме нульове значення, то частка нерухома. Мінливість локальних правил взаємодій може полягати, наприклад, у хаотичній зміні коефіцієнтів активності клітин.

Ключові слова: моделювання процесу еволюції, динамічний процес, клітинні автомати, гра «Життя», гра «хижак-жертва».

Постановка проблеми. Основні переваги використання клітинних автоматів для динамічного моделювання виділяються завдяки тому, що вони мають абсолютно дискретний характер, що дозволяє точно моделювати процес на комп'ютерному пристрої. [1]. Усі роботи в цій галузі можна звести до трьох груп. По-перше, буде розкрита модель походження молекулярно-генетичної системи обробки інформації, друге - модель описуватиме загальні закономірності еволюційних процесів, по-третє, аналіз штучних «еволюційних» моделей з метою застосування еволюційних методів пошуку практичного завдання оптимізації. Отже, виникає необхідність в удосконаленні алгоритмів та методів аналізу клітинних автоматів, що описують динамічні моделі та задовольняють вимогам науковців.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На початку сімдесятих років ХХ ст. Нобелівський лауреат М. Ейген, змоделивав систему обробки молекулярно-генетичної інформації, які виникли в ранній біосфері Землі [1]. Найвідомішою з них є «квазівидова» модель, яка описує просту еволюцію інформаційних послідовностей. Слідом за Ейгеном у 1980 році новосибірські вчені У. Ратнер і У. Шамін запропонували модель «сайзерів» [2]. Перші схеми еволюційної оптимізації були запропоновані в 1960-х роках. Ефективність цієї схеми фактично продемонстрували Л. Фогель, А. Оуенс і М. Уолш [7], І. Букатова [8] з Москви. Крім того, останнім часом спостерігається великий інтерес до вивчення та використання генетичного алгоритму, запропонованого Дж. Холландом з Мічиганського університету [9]. Схема генетичного алгоритму фактично узгоджується зі схемою квазівидової моделі, за винятком того, що в генетичному алгоритмі, окрім точкової мутації, мутаційний механізм включає ще й кросинговер — схрещування структури. Генетичні алгоритми природно «вписуються» в паралельні багатопроцесорні обчислювальні архітектури: кожній «особі» в популяції можна підібрати окремий процесор, тому можна створювати спеціалізовані комп'ютери, які

ефективно виконують генетичні алгоритми.

Формування цілей статті. Дослідити методи та алгоритми моделювання динамічного процесу засобами клітинних автоматів. Адаптувати та удосконалити існуючі алгоритми побудови клітинних автоматів для забезпечення подальшої візуалізації процесу.

Основна частина. Розглянемо модель повного клітинного автомату запропонованого Джоном Фон Нейманом в 40-х роках. Ідея реалізації клітинного автомату полягає у створенні машини, здатної імітувати мозок людини і завдяки цьому вирішувати дуже складні завдання, проте підвищення ефективності роботи комп'ютерів не було його головною метою. Він вважав, що машина з такою ж складністю, як мозок, повинна мати механізми самоконтролю та самовідтворення. Це призвело до ідеї автомата, здатного будувати себе з доступного матеріалу. Але з огляду на те, що побудувати він хотів машину для вирішення прикладних завдань, самоконструювання має бути лише можливим типом її активності, головною ж властивістю має стати здатність до універсальних обчислень – тобто будь-якого комп'ютерного алгоритму.

Більшої активності в дослідженнях КА набрали в 70-х роках з моменту уявлення про життя Джона Конвея [14]. Гра була створена як проста екологічна модель, що містить клітини, які можуть мати тільки два стани: бути живою або мертвою, що живуть і вмирають відповідно до ряду простих правил:

- Жива клітина, яка має менше двох живих сусідів, вмирає через «малонаселеність»;
- Жива клітина, що має два або три живі сусіди, продовжує жити в «наступному поколінні».
- Ці правила, які порівнюють поведінку автомата з реальним життям, можна стиснути до наступного:
 - Будь-яка жива клітина з двома-трьома живими сусідами виживає.
 - Будь-яка мертва клітина з трьома живими сусідами стає живою клітиною.
 - Всі інші живі клітини гинуть у наступному поколінні. Так само всі інші мертві клітини залишаються мертвими.

Початковий шаблон становить зародок системи. Перше покоління створюється шляхом застосування наведених вище правил одночасно до кожної клітини насіння, живої чи мертвої; народження і смерть відбуваються одночасно, і окремий момент, коли це відбувається, іноді називають тиком. Кожне покоління є чистою функцією попереднього. Правила продовжують застосовуватися повторно для створення наступних поколінь (рис.1).

Багато різних типів шаблонів трапляються в грі життя, які

класифікуються відповідно до їхньої поведінки. Поширені типи візерунків включають: натюрморти, які не змінюються від покоління до покоління; осцилятори, які повертаються до початкового стану після кінцевого числа поколінь; і космічні кораблі, які переміщуються по сітці.

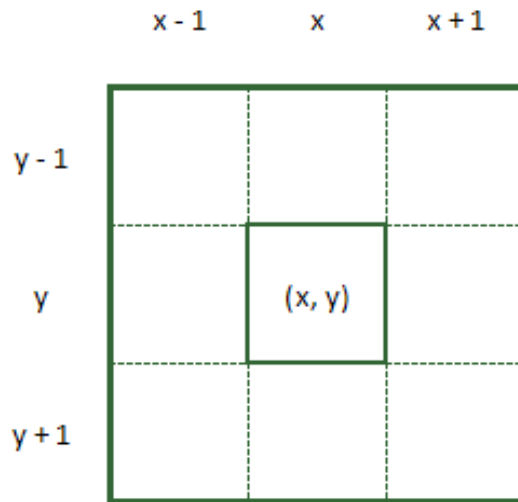


Рис. 1. Приклад математичної моделі прорахунку клітинного автомату

У зв'язку з цим виникає необхідність у модифікації даного методу деяким алгоритмом, що передбачає локальний і змінний характер міжклітинних взаємодій, інтенсивність яких можна регулювати за допомогою коефіцієнтів активності. Наприклад, глобальне правило взаємодій, однакове всім клітин поля, може містити в собі функцію пересування частинок, що призводить до зміни взаємозв'язків між частинками. Якщо відповідний коефіцієнт активності деякої клітини прийме нульове значення, то частка нерухома. Мінливість локальних правил взаємодій може полягати, наприклад, у хаотичній зміні коефіцієнтів активності клітин.

Розглянемо модель деякої системи взаємодіючих об'єктів, що є модифікацією класичної системи "хижак – жертва".[9] Суть модифікації полягає у розширенні функціональних можливостей взаємодій. Нехай як живильне середовище для "хижаків" (тобто "жертви") виступає вода у ґрунті, а "хижаками" будуть особини, для виживання яких необхідне споживання води. Приріст живильного середовища можна у вигляді мимовільного зростання рівня ґрунтових вод. Передбачимо у моделі також можливість градієнтної течії вод у ґрунті. "Хижаки", у свою чергу, можуть хаотично пересуватися по полю в пошуках води і вкопуватися в ґрунт. Ґрунт має здатність до "самовирівнювання", тобто чим глибше "хижак" вкопується в ґрунт, тим інтенсивніше місце копання засипається. При повній відсутності споживачів води та будь-

якому початковому рівні ґрунтових вод, останні з часом піднімуться на поверхню.

З появою споживачів, за умов насичення живильним середовищем, почнеться процес інтенсивного її поглинання і, інтенсивного розмноження споживачів. У міру виснаження живильного середовища зростатиме інтенсивність загибелі споживачів. Передбачимо також процес конкуренції, суть якого полягає у більшій “виживання” тих споживачів, основною функцією яких є вкопування в ґрунт, оскільки споживачі, що пересуваються, неминуче опиняться на поверхні, де живильного середовища вже буде недостатньо для розмноження. У відсутності конкуренції динаміка системи, матиме автоколивальний (хвилястий) характер, аналогічний класичній системі “хижак – жертва”. За наявності такого типу конкуренції споживачів виживуть ті з них, переважною властивістю яких є вкопування в ґрунт, і система набуде стаціонарного характеру у вигляді пористої структури.

Процес моделювання за допомогою асинхронного методу КА є ітераційним циклом автоматичних клітинних взаємодій. При цьому ми використовуємо асинхронну схему взаємодії клітинних автоматів. Схема передбачає циклічне виконання трьох типових кроків [10]:

1. На комірковому автополі випадковим чином вибираються деякі комірки $i=1$ з цілими координатами x_1, y_1, z_1 . При цьому всі комірки мають однакову ймовірність бути обраними.

2. Випадково з рівною ймовірністю вибрати кілька суміжних клітинок $i=2$ з цілими координатами x_2, y_2, z_2 , як програма сусідства. Візьмемо коло Неймана, тобто для двовимірного випадку клітина має лише чотирьох сусідів.

3. Автоматична взаємодія одиниці відбувається між двома одиницями.

Для того, щоб організувати кількісні розрахунки, необхідно встановити скільки разів клітина повинна автоматично взаємодіяти, щоб отриманий розподіл температури можна було вважати вирішенням проблеми на той момент. Таким чином, отримаємо залежність часу взаємодії клітини від розмірності поля клітини. В порів'язанні з аналогами, що надають класичний розв'язок задач теплопровідності, модель клітинного автомату обчислюється приблизно в 2 рази швидше, ніж при використанні сіткового методу..

Висновки. Еволюційне моделювання зосереджується на взаємопов'язаному відображенні змін на всіх рівнях системи еволюції, які можна розділити на дві групи:

- Технологія ресурсів і поведінковий динамічний процес, який дає змогу, зокрема, визначити стадію життєвого циклу, характерну для цієї сукупності, тобто стадію розвитку.

- Процес внутрішньої динаміки популяції: процес «популяції» виникнення, зростання та виходу, «міграція» між різними типами

поведінки.

Еволюційне моделювання системи можна розглядати, як основу для моделювання проектів процесів управління в цілому. Віно базується на загальній еволюційній теорії та методології побудови еволюційних систем, доповненій системно-критичною теорією на основі клітинних автоматів.

Література

1. Алтухов Ю. П. Молекулярная эволюция популяций. *Молекулярные механизмы генетических процессов*. М.: Наука, 1985. С. 100-131.
2. Волькенштейн М. В. Сущность биологической эволюции. *Успехи физ. наук*. 1984. Т. 143, № 3. С. 429-466.
3. Воронцов Н. Н. Адаптивность и нейтрализм в эволюции. *Экологическая генетика и эволюция*. Кишинев: Штиинца, 1987. С. 74–102.
4. Голубовский М. Д. Некоторые аспекты взаимодействия генетики и теории эволюции. *Методологические и философские проблемы биологии*. Новосибирск: Наука, 1981. С. 69-92.
5. Дубинин Н. П. Синтетическая теория эволюции. *Экологическая генетика и эволюция*. Кишинев: Штиинца, 1987. С. 7-49.
6. Камшилов М. М. Преобразование информации в ходе эволюции. М.: Знание, 1974. 64 с.
7. Красилов В. А. Предисловие. *Эволюционные исследования: Макроэволюция*. Владивосток, 1984. С. 3.
8. Красилов В. А. Теория эволюции: необходимость нового синтеза. *Эволюционные исследования: Макроэволюция*. 1984. С. 4-12.
9. Любищев А. А. О постулатах современного селектогенеза. *Проблемы эволюции*. Новосибирск: Наука, 1973. Т. 3. С. 31-56.
10. Жихаревич В., Шумиляк Л. Использование непрерывных клеточных автоматов для моделирования процессов теплопроводности в системах с фазовыми переходами первого рода. *International Journal of Computing*. 2013. (12) С. 142-150.
11. Ежовский Ю.К., Денисова О.В. Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов: учеб. пособие. СПб.: СЗТУ. 2005. 467 с.
12. Burton J.A., Prim R.C., Slichter W.P. The Distribution of Solute in Crystals Growth from the Melt. Part I. Theoretical *J.Chem. Phys.* 1991. 21 (11). pp. 254-271.
13. Жихаревич В.В., Шумиляк Л.М., Струтинская Л.Т., Остапов С.Э.

Построение и исследование непрерывной клеточно-автоматной модели процессов теплопроводности с фазовыми переходами первого рода. *Компьютерные исследования и моделирование*. 2013. 5(2). С. 141-152.

14. Tiller W.A., Rutter J.W., Jack K.A. The redistribution of solute atoms during the solidification of metals. Volume 1, Issue 4, July 1953, pp. 428-437. DOI: 10.1016/0001-6160(53)90126-6.

MODELING OF DYNAMIC PROCESS BY MEANS OF CELLULAR AUTOMATA

Olga Zalevska, Tatiana Ladohubets, Ivan Miroshnychenko,
Oleksii Vorobyov, Mikhailo Zakharkin, Ni XuiHui

Pupolarization of cellular automata in various fields of science is provided by their configuration flexibility and computational versatility. By varying various parameters, it is possible to obtain a cellular automaton of the required configuration. The work is devoted to the development of algorithms for constructing a three-dimensional cellular automaton for modeling the process of system evolution. To study the dynamic process, it is necessary to develop a software application that provides the creation of cellular automata of varying complexity. A wide range of applications of automata also imposes additional requirements for software and improvement of the solution of existing problems.

Evolutionary models use the characteristics of Darwinian theory to build intelligent systems (group accounting methods, genetic methods). Such cellular automata belong to the field of artificial intelligence - computational intelligence.

The basic schemes and algorithms for modeling dynamic systems based on the games "Life" and "Predator-Prey" are considered and improved. The proposed modifications of algorithms allow predicting local variable connections between cells, the intensity of which can be regulated by activity coefficients.

The modeling of evolutionary processes in systems was carried out for the following reasons: systems that have the ability to self-organization and evolution, as is known, should be, first of all, open. This leads to the random "emergence" of particles with new properties that must be predicted. For example, a global rule of interactions, the same for all cells of the field, may contain a function of particle movement, but if the corresponding activity coefficient of some cell takes a zero value, the particle is motionless. Variability of local rules of interactions may consist, for example, in chaotic change of activity coefficients of cells.

Keywords: modeling of evolution process, dynamic process, cellular automata, game "Life", game "predator-prey".

References

1. Altukhov Yu.P. (1985) Molecular evolution of populations. *Molekuliarni mekhanizmy henetychnykh protsesiv*. 100-131. [in Russian]
2. Volkenstein M.V. (1984) The essence of biological evolution. *Uspekhy fiz. nauk.* 143(3). 429-466. [in Russian]
3. Vorontsov N.N. (1987) Adaptability and neutralism in evolution. *Ekolohycheskaia henetyka y evoliutsyia*. 74–102. [in Russian]
4. Golubovsky M. D. (1981) Some aspects of the interaction of genetics and the theory of evolution. *Metodolohycheskye y fylosofskye problemy byolohyy*. 69-92. [in Russian]
5. Dubinin N. P. (1987) Synthetic theory of evolution. *Ekolohycheskaia henetyka y evoliutsyia*. 7-49. [in Russian]
6. Kamshilov M. M. (1974) Transformation of information in the course of evolution. M.: Znanie [in Russian]
7. Krasnylov V. A. (1984) Foreword. *Evoliutsyonni yssledovaniya: Makroevoliutsyia*. 3. [in Russian]
8. Krasnylov V. A. (1984) Theory of evolution: the need for a new synthesis. *Evoliutsyonni yssledovaniya: Makroevoliutsyia*. 4-12. [in Russian]
9. Lyubishchev A. A. (1973) On the postulates of modern selectogenesis. *Problemy evoliutsyy*. Vol. 3. 31-56. [in Russian]
10. Zhikharevych V., Shumilyak L. (2013) Use of continuous cellular automata for modeling heat conduction processes in systems with first-order phase transitions. *International Journal of Computing*. (12). 142-150. [in Russian]
11. Ezhovsky Yu.K., Denisova O.V. (2005) Physico-chemical foundations of technology of semiconductor materials: ucheb. posobyе. SPb.: SZTU. [in Russian]
12. Burton J.A., Prim R.C., Slichter W.P. The Distribution of Solute in Crystals Growth from the Melt. Part I. Theoretical *J.Chem. Phys.* 1991. 21 (11). pp. 254-271.
13. Zhikharevych V.V., Shumilyak L.M., Strutynskaya L.T., Ostapov S.E. (2013) Construction and study of a continuous cellular automatic model of heat conduction processes with phase transitions of the first order. *Kompiuternye yssledovaniya y modelyrovanye*. 5(2). 141-152. [in Russian]
14. Tiller W.A., Rutter J.W., Jack K.A. The redistribution of solute atoms during the solidification of metals. Volume 1, Issue 4, July 1953, pp. 428-437. DOI: 10.1016/0001-6160(53)90126-6.