

Scientific journal
PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION
Has been issued since 2013.

ISSN 2413-158X (online)
ISSN 2413-1571 (print)

Науковий журнал
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА
Видається з 2013.



<http://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/>

Кобильник Т.П. Кліткові автомати як засіб моделювання складних систем. Фізико-математична освіта. 2018. Випуск 4(18). С. 71-75.

Kobylynyk Taras. Cellular Automata As A Means Complex Systems Modelling. Physical and Mathematical Education. 2018. Issue 4(18). P. 71-75.

DOI 10.31110/2413-1571-2018-018-4-011

УДК 378:004.8

Т.П. Кобильник

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
kobylynyktaras@gmail.com

КЛІТКОВІ АВТОМАТИ ЯК ЗАСІБ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Анотація. Стаття присвячена характеристиці кліткових автоматів як методу моделювання складних систем. Багато складних явищ та процесів, таких як самовідтворення, ріст, розвиток тощо складно описати за допомогою диференціальних рівнянь та їх систем. Проте це вдається легко змоделювати за допомогою кліткових автоматів. Відповідно зростає популярність моделей, побудованих на їх основі. Клітковий автомат характеризується дискретним простором і часом. Така структура є зручною для моделювання різноманітних фізичних, біологічних та інформаційних процесів. Застосування кліткових автоматів дозволяє змоделювати складну поведінку об'єктів чи явищ без використання складного і громіздкого математичного опису. Популярність кліткових автоматів пояснюється їх відносною простотою у поєднанні з великими можливостями використання для моделювання сукупності однорідних взаємозв'язаних об'єктів. Поряд з цим відзначають і слабкий загальний теоретичний фундамент кліткових автоматів, недостатнє вивчення питань збіжності обчислювальних експериментів та стійкості отриманих результатів.

Для дослідження використовувалися такі методи як системний науково-методологічний аналіз підручників і навчальних посібників, монографій, статей і матеріалів науково-методичних конференцій; спостереження навчального процесу; аналіз результатів навчання студентів у відповідності до проблеми дослідження; синтез, порівняння та узагальнення теоретичних положень, розкритих у науковій та навчальній літературі; узагальнення власного педагогічного досвіду та досвіду колег з інших закладів вищої освіти.

У статті наводиться історична довідка з розвитку теорії кліткових автоматів. Пропонується схема реалізації кліткових автоматів. Детальніше описується гра «Життя».

Подальші дослідження будуть зосереджені на аналізі можливостей використання кліткових автоматів для моделювання складних систем та методиці навчання моделювання на основі кліткових автоматів для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти педагогічного університету у межах дисципліни «Основи штучного інтелекту».

Ключові слова: клітковий автомат, моделювання, штучний інтелект, гра «Життя».

Постановка проблеми. Відомий вислів А. Ейнштейна: «Все слід робити настільки простим, наскільки це можливо, але не простішим». Марвін Мінський, один з провідних науковців у галузі штучного інтелекту, у праці [9] зазначав, що важливим є вивчення різноманітних шляхів виникнення складної поведінки з простих пристроїв, дій, описів чи концепцій. Одним з засобів для цього є кліткові автомати.

Багато складних явищ та процесів, таких як самовідтворення, ріст, розвиток тощо, які складно описати за допомогою диференціальних рівнянь та їх систем, вдається легко змоделювати за допомогою кліткових автоматів. Відповідно зростає популярність моделей, побудованих на їх основі. Про це свідчить поява кількох фундаментальних монографій з цього напрямку дослідження, зокрема [1, 19, 25].

Клітковий автомат – це математичний об'єкт з дискретним простором та часом. Під простором розуміють поле (площину) з набором кліток, що утворюють деяку решітку (сітку). Час – це набір кроків або поколінь. Стан кожної клітки визначається як функція від стану кліток у деякому її оточенні на попередньому кроці і, можливо, від її стану на поточному кроці. Ця функція є однаковою для всіх кліток поля. Таким чином, клітковий автомат – це система, поведінка якої повністю визначається поточним станом поля і локальними взаємодіями. Іншими словами, клітковий автомат – це набір кліток, що утворюють деяку решітку з заданими правилами переходу, за якими визначається стан клітки на наступному кроці через стан кліток на поточному з врахуванням стану сусідніх кліток і, можливо, її поточного стану. Така структура є зручною для моделювання різноманітних фізичних, біологічних, соціально-економічних та інформаційних процесів.

Застосування кліткових автоматів дозволяє змодельовати складну поведінку об'єктів чи явищ без використання складного і громіздкого математичного опису.

Популярність кліткових автоматів пояснюється їх відносною простотою у поєднанні з великими можливостями використання для моделювання сукупності однорідних взаємозв'язаних об'єктів. Крім того, оскільки кліткові автомати є паралельними структурами, вони прекрасно підходять для моделювання дискретних паралельних процесів, для створення паралельних алгоритмів опрацювання даних [6].

Аналіз актуальних досліджень. У передмові до монографії В.З. Аладьєва зазначається, що «основні сучасні тенденції перспективних архітектур обчислювальної техніки, проблеми моделювання дискретних паралельних процесів, теорія паралельних дискретних динамічних систем, дискретна математика і синергетика, задачі штучного інтелекту і робототехніки, паралельні опрацювання даних і алгоритми, фізичне і біологічне моделювання... визначають ... збільшення інтересу до різного типу формальних кліткових моделей, найважливішими серед яких є однорідні структури (синонім – кліткові автомати)» [1, с.9]. Слід відзначити, що при апаратній реалізації кліткові автомати, як правило, називають, однорідними структурами.

У книзі [25] автор Стивен Вольфрам (Stephen Wolfram) пропонує описувати системи не через складні математичні формули, а через взаємодію простих програм. Тобто через простий опис можна легко отримати складну поведінку системи. Там же автор описує нездатність різних галузей науки до розвитку, яку необхідно подолати, використовуючи новий вид науки: штучний інтелект, штучне життя, теорія катастроф, теорія складності, кібернетика, теорія динамічних систем, теорія еволюції, експериментальна математика, фрактальна геометрія, загальна теорія систем, нанотехнологія, самоорганізація, статистична механіка.

У монографії [4] описується розроблена на основі теорії кліткових автоматів модель автотранспортного потоку, у якій враховується структура, стан дорожнього покриття і швидкісні обмеження. Крім того, описується досвід моделювання технічних, соціальних, економічних біологічних об'єктів з використанням кліткових автоматів. У статті [12] описується формалізована схема роботи кліткових автоматів для перехрестя, у роботі [11] розроблена схема роботи кліткових автоматів для Т-подібного перехрестя. У праці [7] розглядається клітково-автоматний метод моделювання ситуацій, що виникають під час руху пішоходів, особливо під впливом непередбачуваних зовнішніх факторів та наведено клітково-автоматні моделі, здатні відтворювати більшість явищ цього руху. У статті [3] для задачі вибору варіанта маршруту польоту авіадарної авіації для ураження наземних цілей розроблено метод розв'язування з використанням апарату кліткових автоматів.

У роботі [8] описується процес розв'язування задачі комівояжера з використанням кліткових автоматів. У статті [5] розглянуто особливості розробки інформаційної технології розпізнавання символів тексту, в основу якої покладено новий тип кліткових автоматів – конкуруючі кліткові автомати та визначено переваги цієї технології – простота правил взаємодії, можливість легкого розпаралелювання процесу розпізнавання, а також розпізнавання спотворених і частково накладених символів. У праці [2] автори описують кілька програмних реалізацій моделей розповсюдження інфекцій, аналізу руху транспортних та пішохідних потоків, розпізнавання образів на основі використання кліткових автоматів.

Мета статті: аналіз кліткових автоматів як методу моделювання.

Методи дослідження. Для дослідження використовувались такі методи: системний науково-методологічний аналіз підручників і навчальних посібників, монографій, статей і матеріалів науково-методичних конференцій з проблеми дослідження; спостереження навчального процесу; аналіз результатів навчання студентів у відповідності до проблеми дослідження; синтез, порівняння та узагальнення теоретичних положень, розкритих у науковій та навчальній літературі; узагальнення власного педагогічного досвіду та досвіду колег з інших закладів вищої освіти.

Виклад основного матеріалу. Наведемо коротку історичну довідку про кліткові автомати.

Кліткові автомати набули популярності на початку 90-х років ХХ ст. після публікації монографії Toffoli T., Margolus N. Cellular automata machines: A New Environment for Modeling (1987). Проте, як зазначено у [21], кліткові автомати винаходили багато разів під різними назвами, і дещо відмінні один від одного поняття використовувались з однаковим змістом. Сьогодні теорію клітинних автоматів широко використовують у комп'ютерних науках, математиці, фізиці, біології, фізиці та в інших галузях науки.

Побутує думка, що вперше кліткові автомати як ефективні дискретні моделі були запропоновані Дж. фон Нейманом (János Lajos Neumann) у 40-х роках ХХ ст. Він як співробітник Лос-Аламоської національної лабораторії працював над теорією самовідтворюючих систем [23]. У той же час інший співробітник цієї ж лабораторії Станіслав Улам (Stanisław Marcin Ulam) досліджував математичну модель росту кристалів [22]. Обмін думками між науковцями призвів до виникнення клітково-автоматної моделі еволюції систем. Приблизно в той же час у Массачусетському технологічному інституті (Massachusetts Institute of Technology (MIT)) Норберт Вінер (Norbert Wiener) і Артуро Розенблют (Arturo Rosenblueth) створили модель для дослідження поширення імпульсів у нервових вузлах, зокрема у серцевому м'язі, з використанням кліткових автоматів [24]. Слід відзначити вагомий внесок в розвиток теорії кліткових автоматів і Конрада Цузе (Konrad Zuse) – німецького інженера і розробника першого в світі програмованого (у сучасному розумінні слова) комп'ютера Z3 та першої мови програмування високого рівня. Він розглядав кліткові автомати (під назвою «обчислювальних просторів» (Rechnender Raum)) як можливу архітектуру обчислювальних систем. К. Цузе опублікував книгу [26], де припускав, що за своєю суттю Всесвіт – це гігантський клітковий автомат. Першу фундаментальну книгу про кліткові автомати, опрацювавши чернетки та завершивши незакінчені статті Дж. фон Неймана, видав у 1966 році Артур Беркс (Arthur Walter Burks) [23]. С. Вольфрам створив класифікацію кліткових автоматів як математичних моделей самоорганізуючих систем [25].

З більш детальнішими відомостями про історію розвитку теорії кліткових автоматів можна ознайомитися у таких джерелах як [1, 15, 16, 18, , 19, 20, 21, 23].

Як видно з аналізу літературних джерел та історичної довідки, галузь застосування кліткових автоматів різноманітна і практично не має меж. Це пояснюється їх паралелізмом, простотою та універсальністю. Дослідник, з

допомогою кліткових автоматів, має можливість моделювати складні процеси, явища, системи, використовуючи достатньо простий математичний апарат формалізації їх функціонування та набір правил, який може доповнювати.

Класичний клітковий автомат – це впорядкований набір комірок. У загальному випадку розглядається n -мірна решітка. Проте на практиці найчастіше для дослідження використовуються кліткові автомати малої розмірності – з одно- або двомірними решітками. Структура просторової решітки залежить від форми комірок, з яких вона складається. Наприклад, у двомірному випадку, можна розглядати комірки трикутної, квадратної, шестикутної форм (Рис. 1). Слід зазначити, що найбільшій популярності набули кліткові автомати, в яких клітки є квадратними, а решітка – прямокутна.

Варто зауважити, що виділяють два напрями розвитку кліткових автоматів:

- 1) кліткові автомати як засіб моделювання;
- 2) кліткові автомати як самостійний об'єкт дослідження.

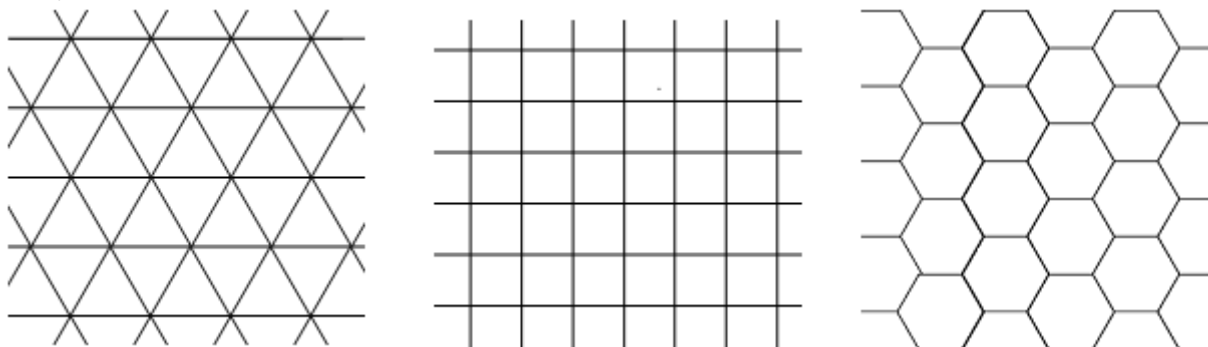


Рис. 1

Кожна комірка пам'яті кліткового автомата може зберігати одне значення із деякої скінченної множини значень. Час для кліткового автомата є дискретним (змінюється дискретними кроками – тактами). Зміна значень всіх комірок решітки відбувається синхронно і одночасно відповідно до правил переходу, за якими визначається нове значення кожної комірки як функція від поточних значень сусідніх комірок.

Класичні кліткові автомати характеризуються такими властивостями [10]:

- паралельність обчислень. Класичний клітковий автомат – це дискретна динамічна система з паралельним обчисленням значень комірок пам'яті;
- властивість локальності. Значення кожної комірки пам'яті на наступному такті роботи кліткового автомата залежить від поточних значень комірок у деякому її околі (i , можливо, від значення власне у самій комірці);
- властивість однорідності. Правила переходу є однаковими для всіх комірок кліткового автомата;
- множина станів кліток є скінченною.

Кліткові автомати можна реалізувати таким чином:

1. Оголошуються два масиви для зберігання стану кліток. Перший містить поточний стан кожної клітки, другий – для зберігання нового покоління.
2. Визначається функція переходу для кліток решітки. Для визначення наступного стану решітки у функцію переходу передаються як параметри поточний стан сусідніх кліток, можливо включаючи саму клітку.
3. На першому кроці заповнюється перший масив початковими даними.
4. Обчислення нових станів виконується у циклі. На кожній ітерації, використовуючи елементи першого масиву, для кожної клітки обчислюється її новий стан, що записується у другий масив.
5. Після виконання п.4. значення елементів другого масиву записуються у перший.
6. Здійснюється візуалізація вмісту першого масиву.

Гра «Життя». Класичним прикладом використання кліткових автоматів є гра «Життя». Вона була створена Джоном Хортоном Конвеем (John Horton Conway) і стала відома світу у 1970 році завдяки праці Мартіна Гарднера (Martin Gardner) [14].

Площина розбивається на клітки, які можуть знаходитися у двох станах: «живому» (значення у клітинці дорівнює 1) і «мертвому» (значення у клітинці дорівнює 0).

Моделюються такі біологічні процеси: народження, виживання, загибель.

Нове покоління одержується з попереднього за такими правилами:

- 1) клітинка «оживає», якщо «мертва» клітинка межує з трьома «живими»;
- 2) клітинка «виживає», якщо вона межує з двома або трьома «живими»;
- 3) клітинка « гине», якщо вона межує з більш ніж трьома «живими» (від перенаселення) або з менше ніж дві (від самотності).

Математично ці правила можна записати так:

$$x_{ij}^{t+1} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x_{ij}^t = 0 \text{ і } k = 3, \\ 1, & \text{якщо } x_{ij}^t = 1 \text{ і } k = 2 \text{ або } k = 3, \\ 0, & \text{якщо } k < 2 \text{ або } k > 3. \end{cases}$$

Тут x_{ij}^t – стан клітинки у момент часу t , k – кількість «живих» кліток, що межують з кліткою x_{ij} , у момент часу t .

Гравець фактично не бере участі у власне грі. Він тільки може задавати початкову конфігурацію «живих» («мертвих») кліток, які взаємодіють відповідно до визначених правил. Початкові конфігурації змінюються доти, поки їхній стан не набуває одного із можливих варіантів:

- повне зникнення у зв'язку з перенаселенням або від самотності;

- формування стабільної конфігурації, що залишається незмінною;
- утворення конфігурацій, що повторюють свою форму через дві або більше ітерації (періоди).
Було показано, що гра «Життя» еквівалентна універсальній машині Тьюринга, що пояснюється наявністю у ній процесів, еквівалентних універсальним обчисленням [17].

Висновки. Кліткові автомати, враховуючи їх простоту у використанні для моделювання складних процесів і об'єктів, використовуються у різноманітних галузях науки. Проте є і певні негативні моменти, які стримують розвиток цього методу моделювання. Тут слід відзначити достатньо слабкий загальний теоретичний фундамент кліткових автоматів, недостатнє вивчення питань збіжності обчислювальних експериментів та стійкості отриманих результатів. Подальші дослідження будуть аналізу можливостей використання кліткових автоматів для моделювання складних систем та методиці навчання моделювання на основі кліткових автоматів для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти педагогічного університету у межах дисципліни «Основи штучного інтелекту».

Список використаних джерел

1. Аладьев В.З. Классические однородные структуры: Клеточные автоматы. CA: Palo Alto, Fultus Books, 2009. 535 с.
2. Аноприенко А.Я., Коноплёва А.П., Плотников Д.Ю., Малёваный Е.Ф. Применение клеточных автоматов для моделирования динамических процессов: опыт ДонНТУ. Материалы 4-й международной научно-технической конференции «Моделирование и компьютерная графика. 2011». Донецк, 5-8 октября 2011 г. С. 271-278.
3. Воробйов Є.С, Павленко М.А., Хлебніков Є.Ю., Гладішев М.Г. Використання кліткового автомату у методі вибору варіанту маршруту польоту ударних літаків щодо ураження наземних цілей. Системи озброєння і військова техніка. 2018. № 1(53). С. 84-90.
4. Долгушин Д.Ю., Мызникова Т.А. Применение клеточных автоматов к моделированию автотранспортных потоков: монография. Омск: СИБАДИ, 2012. 112 с.
5. Жихаревич В.В., Миронів І.В., Остапов С.Е. Алгоритм розпізнавання символів тексту на основі конкуруючих клітинних автоматів. Радіоелектроніка, Інформатика, Управління. 2015. № 4 (35). С. 39-44.
6. Жуков В.Е. Клеточные автоматы в криптографии. Часть 2. Вопросы кибербезопасности. 2017. №4(22). С.47-66.
7. Макаренко О.С., Крушинський Д.А. Моделювання руху пішоходів на основі клітинних автоматів. Системні дослідження та інформаційні технології. 2010. № 1. С. 100-109.
8. Мацюк Н.А., Жихаревич В.В. Решение задачи коммивояжера средствами клеточных автоматов. Моделювання регіональної економіки. 2015. №2 (26). С. 263-272.
9. Минский М. Вычисления и автоматы. М.: Мир, 1971. 366 с.
10. Наумов Л.А., Шапыто А.А. Клеточные автоматы. Реализация и эксперименты. Мир ПК. 2003. №8. С.64-71.
11. Омарова Г.А., Казанцев Г.Ю. Применение клеточных автоматов для моделирования транспортных потоков. Проблемы информатики. 2015. №3. С.15-21.
12. Петровский А.В. Клеточные автоматы в моделировании работы перекрестка. Науковий вісник ХДМІ №1 (2), 2010. С.78-83.
13. Burks A.W. Essays on Cellular Automata. Urban, IL: University of Illinois Press, 1970. 375 p.
14. Gardner M. The Fantastic Combinations of John Conway's New Solitaire Game Life. Scientific American, Vol. 223, No. 4. 1970. pp. 120-123.
15. Mainzer K. Thinking in complexity. The computational dynamics of matter, mind, and mankind. Berlin: Springer, 2007.
16. Mainzer K., Chua L. The Universe as automaton. Springer, 2012. 112 p.
17. Rendell, P.: A universal Turing machine in Conway's Game of Life. In: Proceedings of HPCS'11, the 2011 International Conference on High Performance Computing and Simulation, pp. 764-772 (2011)
18. Sarkar P. A brief history of cellular automata. ACM Computing Surveys. 2000. vol. 32, No. 1. P. 80-107.
19. Schiff J.L. Cellular automata. A Discrete View of the World. A John Wiley & Sons Inc., Publication. University of Auckland, 2008. 279 p.
20. Sutner K. Classification of cellular automata. Encyclopedia of Complexity and Systems Science. Springer, 2009.
21. Toffoli T., Margolus N. Cellular Automata Machines: A New Environment for Modeling. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1987. 280 p.
22. Ulam S. On some mathematical problems connected with patterns of growth of figures. Proceedings of Symposia in Applied Mathematics. 1962. 14. P. 215-224.
23. Von Neumann, J. Theory of self-reproducing automata (edited and completed by A.W. Burks). – Urbana, IL: University of Illinois Press, 1966. 388 p.
24. Wiener N., Rosenbluth A. The mathematical formulation of the problem of conduction of impulses in a network of connected excitable elements, specifically in cardiac muscle. Arch. Inst. Cardiol. Mex. 1946. 16. P. 205-265.
25. Wolfram S. A new kind of science. Champaign, IL: Wolfram Media Inc., 2002. 1280 p.
26. Zuse K. Rechnender Raum. Braunschweig: Friedrich Vieweg & Sohn, 1969. 70 p.

References

1. Aladjev V.Z. Classical Homogeneous Structures. Cellular Automata. SA: Palo Alto, Fultus Books, 2009. 535 s. (in Russian)
2. Anoprienko A.Ja., Konopljova A.P., Plotnikov D.Ju., Maljovanyj E.F. The use of cellular automata for modeling dynamic processes: the experience of DonNTU. Proceedings of the 4th International Scientific and Technical Conference "Modeling and Computer Graphics. 2011". Doneck, 5-8 October 2011. S. 271-278. (in Russian)
3. Vorobiov Ye.S, Pavlenko M.A., Khliebnikov Ye.Iu., Hladyshhev M.H. The Use of a Cellular Automata in the Method of Choosing a Variant of the Flight Plan of Shock Planes for Damage to Ground Targets. Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika. 2018. № 1(53). S. 84-90. (in Ukrainian)

4. Dolgushin D.Ju., Myznikova T.A. Use of Cellular Automata to Transport Flow Modeling: monograph. Omsk: SibADI, 2012. 112 s. (in Russian)
5. Zhykharevych V.V., Myroniv I.V., Ostapov S.E. Character Recognition Algorithm on The Base of Competitive Cellular Automata. Radioelektronika, Informatyka, Upravlinnia. 2015. № 4 (35). S. 39-44. (in Ukrainian)
6. Zhukov V.E. Cellular Automata in Cryptography. Part 2. Voprosy kiberbezopasnosti. 2017. №4(22). S.47-66.
7. Makarenko O.S., Krushynskyi D.A. Modeling of pedestrian traffic on the basis of cellular automata. Systemni doslidzhennia ta informatsiini tekhnolohii. 2010. № 1. S. 100-109. (in Ukrainian)
8. Matsiuk N.A., Zhykharevych V.V. Solving the Traveling Salesman Problem with the Using of Cellular Automata. Modeliuvannia rehionalnoi ekonomiky. 2015. №2 (26). S. 263-272. (in Russian)
9. Minskij M. Calculations and Automata. M.: Mir, 1971. 366 s. (in Russian)
10. Naumov L.A., Shapyto A.A. Cellular Automata. Implementation and Experiments. Mir PK. 2003. №8. S.64-71. (in Russian)
11. Omarova G.A., Kazancev G.Ju. The Use of Cellular Automata for Modeling Traffic Flow. Problemy informatiki. 2015. №3. S.15-21. (in Russian)
12. Petrovskiy A.V. Cellular Automata in the Intersection Simulation. Naukovyi visnyk KhDMI №1 (2), 2010. S.78-83. (in Russian)
13. Burks A.W. Essays on Cellular Automata. Urban, IL: University of Illinois Press, 1970. 375 p.
14. Gardner M. The Fantastic Combinations of John Conway's New Solitaire Game Life. Scientific American, Vol. 223, No. 4. 1970. pp. 120-123.
15. Mainzer K. Thinking in Complexity. The Computational Dynamics of Matter, Mind, and Mankind. Berlin: Springer, 2007.
16. Mainzer K., Chua L. The Universe as Automaton. Springer, 2012. 112 p.
17. Rendell P. A universal Turing Machine in Conway's Game of Life. Proceedings of HPCS'11, the 2011 International Conference on High Performance Computing and Simulation. 2011. pp. 764-772.
18. Sarkar P. A Brief History of Cellular Automata. ACM Computing Surveys. 2000. vol. 32, No. 1. P. 80-107.
19. Schiff J.L. Cellular Automata: a Discrete View of the World. A John Wiley&Sons inc, Publication. University of Auckland, 2008. 279 p.
20. Sutner K. Classification of Cellular Automata. Encyclopedia of Complexity and Systems Science. Springer, 2009.
21. Toffoli T., Margolus N. Cellular Automata Machines: A New Environment for Modeling. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1987. 280 p.
22. Ulam S. On Some Mathematical Problems Connected with Patterns of Growth of Figures. Proceedings of Symposia in Applied Mathematics. 1962. 14. pp. 215-224.
23. Von Neumann, J. Theory of Self-Reproducing Automata (edited and completed by A.W. Burks). – Urbana, IL: University of Illinois Press, 1966. 388 p.
24. Wiener N., Rosenbluth A. The Mathematical Formulation of the Problem of Conduction of Impulses in a Network of Connected Excitable Elements, Specifically in Cardiac Muscle. Arch. Inst. Cardiol. Mex. 1946. 16. P. 205–265.
25. Wolfram S. A New Kind of Science. Champaign, IL: Wolfram Media Inc., 2002. 1280 p.
26. Zuse K. Rechnender Raum. Braunschweig: Friedrich Vieweg & Sohn, 1969. 70 p.

CELLULAR AUTOMATA AS A MEANS COMPLEX SYSTEMS MODELLING

Taras Kobylnyk

Drohobych Ivan Franko Pedagogical University, Ukraine

Abstract. *The article is devoted to the characterization of cellular automata as a method for modeling complex systems. Many complex phenomena and processes, such as self-reproduction, growth, development, etc. are difficult to describe by using differential equations and their systems. However, this can be easily modeled by using cellular automata. Accordingly, models have become more popular built up from them. The cellular automata is characterized by discrete space and time. This structure is convenient for modeling a variety physical, biological and information processes. The use of cellular automata allows you to simulate the complex behavior of objects or phenomena without the use of complicated and cumbersome mathematical descriptions. Cellular automata is popular because of its relative simplicity in combination with the great possibilities of using for modeling a set of homogeneous interconnected objects. Along with this, we note the weak general theoretical foundation of cellular automata, the insufficient study of the problems of convergence of computational experiments and the stability of the results.*

We used methods such as systematic review of textbooks and manuals, monographs, articles and materials of scientific and methodical conferences; analysis of student learning outcomes in accordance with the research problem; synthesis, comparison and synthesis of theoretical positions described in scientific and educational literature; generalization of our own pedagogical experience and experience of colleagues from other higher educational institutions.

In the article we present a historical background on the development of the cellular automata theory. We propose the implementation scheme of cellular automata and describe the Conway's Game of life in more detail.

We will focus further research on the analysis of the possibilities of using cellular automata for the modeling of complex systems and teaching methodology of modeling based on cellular automata for students of the second (master's) level of higher education at a pedagogical university within the discipline "Fundamentals of Artificial Intelligence".

Key words: *Cellular Automata, Modeling, Artificial Intelligence, Conway's Game of Life.*