

УДК 636.5252/58:62 503.51.

А.В.Баськова

В.В.Лотиш

Луцький національний технічний університет

## КЛІТИНКОВИЙ АВТОМАТ ДЖ.КОНУЕЯ "ЖИТТЯ" ТА КОНФІГУРАЦІЯ "САД ЕДЕМУ"

*В статті приведений аналіз клітинкового автомата Конуея "Життя", розглянуто взаємодії між елементами автомата та способи пошуку конфігурації "Сад Едему".*

**Ключові слова:** клітинковий автомат, гра "Життя", "Сад Едему".

**Постановка проблеми.** Клітинкові автомати застосовуються не тільки в математиці і фізиці, а також у біології, економіці, соціології, інформатиці і т.д. За допомогою клітинкових автоматів успішно вирішувалися задачі моделювання течій з вільним кордоном, поширення теплових потоків, опису руху натовпу. Їх можна використовувати при побудові генетичних алгоритмів. В інформатиці вони використовуються для кодування та стиснення даних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Клітинкові автомати застосовуються при реалізації ефективної системи розпізнавання образів. Один з можливих шляхів її створення - побудова динамічної системи. Використовувати клітинкові автомати можна і при вирішенні оптимізаційних задач. Часто в різних сферах діяльності виникають задачі знаходження оптимального варіанту з необмеженого числа можливих. Точного рішення, як правило, не потрібно, але іноді не можливо навіть приблизно отримати оптимальний результат. Таким чином, клітинкові автомати знайшли і знаходять широке застосування в багатьох сферах людської діяльності [1],[2],[3].

**Метою роботи** є вивчення клітинкового автомата Дж.Конуея "Життя", та зокрема конфігурації "Сад Едему".

**Виклад основного матеріалу.** Теорія клітинних автоматів бере свій початок з середини п'ятдесятих років, коли Джон фон Нейман поставив перед собою завдання довести можливість існування автоматів, що самовідтворюються. Якщо таку машину забезпечити належними інструкціями, вона побудує точну копію самої себе. У свою чергу обидві машини зможуть побудувати ще дві; чотири машини побудують вісім і т.д. Нейман вперше довів можливість існування таких машин. У його доказі використовувалося поняття "однорідного клітинного простору", еквівалентного шахівниці нескінченних розмірів. Кожна клітина такого простору може перебувати в будь-якому, але кінцевому числі "станів", в тому числі і в стані спокою (званому порожнім, або нульовим, станом). На стан будь-якої клітини впливає кінцеве число сусідніх клітин. У часі ці стани простору змінюються дискретно, відповідно з деякими "правилами переходу", які необхідно застосувати до цих кліток. Клітини відповідають основним частинам автомата з кінцевим числом станів, а конфігурація з «живих» клітин - ідеалізованої моделі такого автомата. Саме в такому клітинному просторі і розгортається дія придуманої Конуеєм гри "Життя".

У жовтні 1970 р. в журналі "Scientific American"[1] Мартін Гарднер розглядає клітинковий автомат, винайдений математиком кембріджського університету Джоном Хортоном Конуеєм. Цей клітинковий автомат описує зміну станів деяких "організмів" у просторі та часі відповідно до заданих законів розмноження та вимирання. Розробляючи ці закони, Конуей врахував помилки своїх попередників, які пропонували подібні ігри.

Основні правила гри „Життя”:

- Місце дії цієї гри - "всесвіт" - це розмічена на клітини поверхня або площина - безмежна, обмежена, або замкнута (в межі - нескінченна площина).
- Кожна клітина на цій поверхні може знаходитися в двох станах: бути "живою" або бути "мертвою" (порожньою). Клітка має вісім сусідів (оточуючих клітин).
- Розподіл живих клітин на початку гри називається першим поколінням. Кожне наступне покоління розраховується на основі попереднього за такими правилами: в порожній (мертвій) клітці, поруч з якою рівно три живі клітини, зароджується життя; якщо у живої клітини є два або три живі сусіди, то ця клітина продовжує жити; в іншому випадку (якщо сусідів менше двох або більше трьох) клітина вмирає ("від самотності" чи "від перенаселеності").

- Гра припиняється, якщо на полі не залишиться жодної "живої" клітини, якщо при черговому кроці жодна з клітин не змінює свого стану (складається стабільна конфігурація) або якщо конфігурація на черговому кроці в точності (без зрушень і поворотів) повторить себе ж на одному з попередніх кроків (складається періодична конфігурація).

Ці прості правила призводять до величезного розмаїття форм, які можуть виникнути в грі. Гравець не приймає прямої участі в грі, а лише розставляє або генерує початкову конфігурацію "живих" клітин, які потім взаємодіють згідно з правилами вже без його участі (він є спостерігачем).

Незабаром після опублікування правил, було виявлено кілька цікавих шаблонів (варіантів розстановки живих клітин в першому поколінні). Деякі такі фігури залишаються незмінними у всіх наступних поколіннях, стан інших періодично повторюється, в деяких випадках зі зміщенням всієї фігури. Існує фігура (Diehard) всього з семи живих клітин, нащадки якої існують протягом 130 поколінь, а потім зникають. Конуей спочатку припустив, що ніяка початкова комбінація не може привести до необмеженого розмноження і запропонував премію в 50 доларів тому, хто доведе або спростує цю гіпотезу. Приз був отриманий групою з Массачусетського технологічного інституту, яка придумала нерухому повторювану фігуру, яка періодично створювала рухомі «планери». Таким чином, кількість живих клітин могло рости необмежено. Потім були знайдені рухомі фігури, що залишають за собою "сміття" з інших фігур.

На цей час склалася така система їхньої класифікації[1]:

- Стійкі фігури - фігури, які залишаються незмінними за кожної ітерації
- Періодичні фігури - фігури, стан яких повторюється через деяку кількість поколінь.
- Фігури, що рухаються - фігури у яких стан повторюється, але з деяким зсувом у просторі.
- Гармати - фігури у яких стан повторюється, але кожен цикл вони додатково створюють фігури, що рухаються.
- Паротяги - фігури що рухаються, які залишають за собою сліди у вигляді стійких або періодичних фігур.
- Пожирачі - стійкі фігури, які можуть при зіткненні з деякими фігурами, що рухаються зберігають свій стан, знищуючи рухому фігуру.

У клітинкових автоматах, "сад Едему" - це конфігурація, яка не може з'явитися на решітці після виконання операцій, незалежно від початкової конфігурації. Іншими словами, це конфігурації без попередників. Вони нагадують концепції Едемського саду в авраамічних релігій, який був створений на порожньому місці, звідси і назва. За словами Мура (1962), ця назва була придумана Джоном Тьюки в 1950 році.

"Сад Едему" - це конфігурація на всій решітці (як правило, це одно-або двовимірний нескінченний прямокутний решітка). Кожна конфігурація містить хоча б одну кінцеву модель, яка не має попередника, незалежно від того, як оточуючі клітини будуть заповнені. Така модель називається сиротою. Сирота - це частина "саду Едему", деяка кількість живих і мертвих клітинок, яка не може утворитися "природним" шляхом, тобто по правилам "Життя".

Хоча будь-яка конфігурація у грі "Життя", породжує тільки одну конфігурацію-спадкоємця, зворотне твердження є невірним, оскільки у даній конфігурації може виявитися дві або кілька конфігурацій-попередників. З цим, зокрема, пов'язана основна складність машинного пошуку комбінації типу "сад Едему" - адже необхідно переглянути всіх можливих попередників на кожному зворотному ході.

Для пошуку конфігурації "саду Едему" можливо створити комп'ютерну програму для знаходження моделей сиріт шляхом систематичного вивчення всіх можливих моделей, за рахунок збільшення розміру, та перевіряючи всіх можливих попередників для кожного шаблону. Тим не менше, кількість моделей, які повинні бути створені таким чином, щоб знайти "саду Едему", має експонентальну залежність відносно площі малюнка. Ця величезна кількість шаблонів робить даний тип пошуку дуже дорогим, навіть при відносно невеликих розмірах моделі.

Жан Ардуен (1972/73, 1974) вперше запропонував [2] більш ефективний обчислювальний підхід для знаходження моделей сиріт, заснованих на теорії формальних мов, тобто експонентну залежність ширини шаблону, а не всієї його області. Основна ідея полягає в тому, що для будь-якої фіксованої ширини, відносно просто побудувати не детермінований кінцевий автомат, який розпізнає шаблони заданої ширини, що мають попередника. Вхідні символи цієї машини

описують кожен рядок структури і стани машини описують сусідні ряди та можливих попередників частини зразка, введені до цих пір. Можна побудувати для цієї машини інший кінцевий автомат, який розпізнає додатковий набір фігур, які не мають попередників, шляхом перетворення не детермінованого кінцевого автомата в детермінований кінцевий автомат, а потім доповнювати його безліччю кінцевих станів. Шлях пошуку від початкового стану до кінцевого, якщо він існує, дає опис кожного рядка візерунку сироти.

Перший відомий "саду Едему" в грі Конуея "Життя", в прямокутнику розміром  $9 \times 33$  і мав 226 клітин, був запропонований Роджером Бенксом в 1971 році(рис. 1) [3].

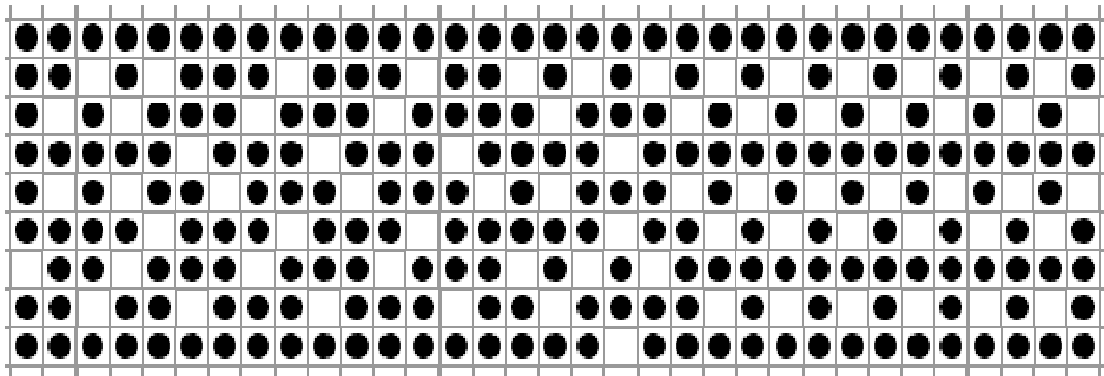


Рис. 1. Конфігурації "саду Едему" Р.Бенкса

Жан Ардуен виявив ще двох сиріт за допомогою комп'ютерного пошуку в 1973 році, які обмежені прямокутниками розміром  $122 \times 6$  і  $117 \times 6$ . Його метою було знайти Сади Едему з мінімальною висотою. Вважається, що мінімальна можлива висота "саду Едему" 5. Багато невеликих "садів Едему", були знайдені в останні роки. Другий був знайдений Ахімом Фламменкампом в 1991 році, він містив 143 клітини, і обмежувався прямокутником розміром  $14 \times 14$  (рис. 2). Крім цього у 2004 році Фламменкамп відкрив ще два "сади Едему", перший містив 81 клітину та був обмежений прямокутником розміром  $13 \times 12$  (рис. 3), другий - 72 клітини та обмежений прямокутником  $12 \times 11$  (рис. 4).

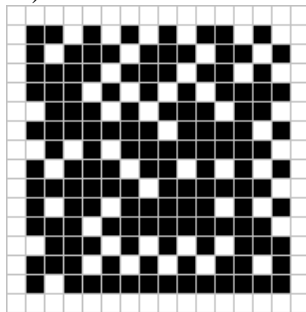


Рис. 2. Конфігурації "саду Едему" А. Фламменкампа

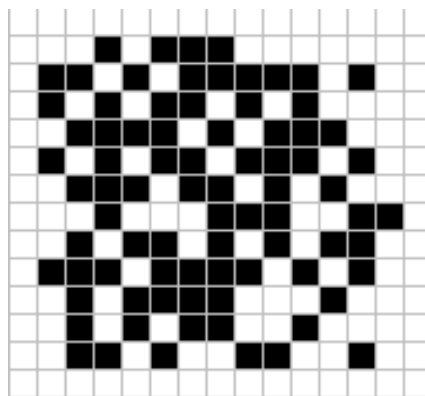


Рис. 3. Конфігурації "саду Едему" А. Фламменкампа

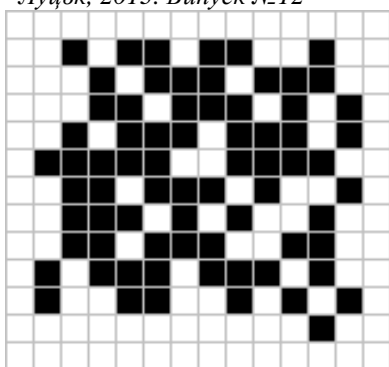


Рис. 4. Конфігураці "саду Едему" А. Фламмента

На сьогоднішній день найменшим відомим прикладом "саду Едему" є конфігурація, яка містить 69 живих клітин і обмежена прямокутником  $11 \times 11$  (рис. 5). Її було виявлено Миколою Белученком 6 вересня 2009 року [3]. Ця конфігурація також має назву "квітка Едему".

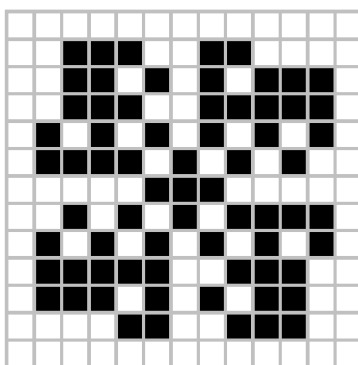


Рис. 5. Конфігураці "саду Едему" М.Белученка

У клітинкового автомата, два кінцеві шаблони називаються близнюками, якщо один може бути замінений на інший, без зміни майбутніх станів. Клітинковий автомат називається ін'єктивним якщо кожна пара різних конфігурацій автомата залишається різними після зміни стану автомата, і локально ін'єктивним, якщо він не має близнюків. Клітинковий автомат називається сюр'єктивним, якщо кожна конфігурація має попередника. Автомат, який є одночасно ін'єктивним і сюр'єктивним називається оборотним клітинковим автоматом.

У теоремі про "саду Едему" Едвард Ф. Мур (1962) стверджує, що клітинний автомат в евклідовому просторі локально ін'єктивний, тільки тоді коли він сюр'єктивний. Іншими словами, він стверджує, що клітинний автомат має "саду Едему", лише тоді коли має близнюків. Більше того, кожний не локально ін'єктивний клітинковий автомат має сироту. Безпосереднім наслідком є те, що ін'єктивний клітинковий автомат повинен бути сюр'єктивним.

**Висновок.** Таким чином сад Едему - це конфігурація, яка не може з'явитися у всесвітній гри життя в результаті розвитку за законами цієї гри. Це об'єкт внесений в даний клітинковий простір з іншого простору, що живе за іншими правилами. Об'єкт, який не підкоряється законам природи в рамках правил гри «Життя».

1. *Scientific American* 223 (October 1970): 120-123. The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life"
2. Hardouin-Duparc, J. (1972/73), "À la recherche du paradis perdu", Publ. Math. Univ. Bordeaux Année 4: 51-89.
3. Information Processing and Transmission in Cellular Automata. Author: Banks, Edwin Roger. Issue Date: 1971-01-01
4. [www.ericweisstein.com/encyclopedias/life/GardenofEden.html](http://www.ericweisstein.com/encyclopedias/life/GardenofEden.html) Конфігурація "саду Едему"
5. <http://www.beluch.ru/life/> Клітинковий автомат Дж.Конуея "Життя"
6. <http://www.beluch.ru/life/subscr/008.htm> Рассылка.Игра Жизнь.
7. Культин Н.Б. Программирование в Delphi 2010. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 448с.
8. Нил Дж. Рубенкинг. Язык программирования Delphi для «чайников». Введение в Borland Delphi 2006 = Delphi for Dummies. - М.: Диалектика, 2007. - 336 с.
9. Хавьер Пашеку. Программирование в Borland Delphi 2006 для профессионалов = Delphi for .NET Developer's Guide. - М.: Вильямс, 2006. - 944 с.
10. А. Н. Вальвачев, К. А. Сурков, Д. А. Сурков, Ю. М. Четырько. Программирование на языке Delphi. Учебное пособие, 2005. – 225с.