

УДК 514.18

## **СТРУКТУРА ТРИВИМІРНОГО КЛІТИННОГО АВТОМАТУ ДЛЯ ПОБУДОВИ ЗОБРАЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ**

Ванін В.В., д.т.н.,

Залевська О.В., к.т.н.,

Чередніченко В.О.

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

*У роботі наведено структуру клітинного тривимірного автомату, з можливістю редагування та зупину процесу відбудови розвитку динамічної структури. Побудова зображення такого процесу дозволяє розширити застосування клітинних автоматів для створення різних динамічних об'єктів комп'ютерної графіки. Розглянуто утворення об'єктів як натуральних так і штучних з абстрактною формою, на прикладі печерної системи. Отримана система за допомогою клітинного автомату зможе симулювати природню генерацію та розповсюдження печери. Наведено способи ефективного використання згенерованих продуктів клітинних автоматів в контексті графічних додатків.*

*Комплексне використання 3D методів в компютерній графіці дозволяють створити модель об'єкту та показати її розвиток на прикладі відображення рівнів гри в режимі реального часу. Наведені застосунки є новими підходами до процедурної генерації, що використовують властиві обмеження процесу та непередбачуваність клітинного автомату.*

*Будуючи дослідження на простих правилах, виявлено досить багато корисних конфігурації з можливістю створення вірогідних гірських утворень, печерних систем, сталагмітів та інших складних природних або фізичних структур, при цьому вони легко параметризуються і об'єднуються.*

*Структура такого клітинного автомату буде складатись, з таких процедур та функцій, що забезпечили наступні умови:*

- можливість керування генерацією клітинного автомату;*
- зберігання стану автомату та всіх його живих клітин;*
- генерація наступної ітерації;*
- відображення клітинного автомату;*
- керування станом КА.*

*Ключові слова: клітинний автомат, генерація 3D структур, комп'ютерна графіка, печерні системи.*

**Постановка проблеми.** Клітинні автомати є універсальною математичною моделлю, що застосовується для вирішення проблем та задач у галузях математики, фізики та інформатики. Наприклад, двовимірні клітинні автомати широко застосовуються для моделювання поведінки дорожнього трафіку, для симуляції природних та фізичних явищ, таких як гідродинамічні та газодинамічні течії [2]. Серед ще не вирішених питань можна виділити теорію про самовідновлювані електричні кола.

Тривимірні клітинні автомати мають ще більший потенціал, але насправді не так часто використовуються, так як їх властивості ще не досліджені. Прогресу заважає також відсутність зручних інструментів для дослідження та генерації таких КА.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Клітинний автомат будемо розглядати як сітку регулярних комірок (клітин автомату). Кожна клітина володіє одним з кінцевих станів та змінюється синхронно за допомогою деякої функції, що керує станом самої клітини. Зазвичай стан клітини представлено як ціле чи логічне значення [3]. Сітка може мати будь-яку скінченну кількість вимірів [2]. Розглянемо тривимірну модель клітинного автомату, так як вони мають сучасні застосування в комп'ютерній графіці. Околицю клітини в одномірній сітці покажемо на рисунку 1. Клітини в найближчому оточенні показані зеленим кольором, ті, що в жовтому та червоному кольорах, являють собою розширене сусідство в радіусі 2 і 3 від клітини (відтінки сірого).



Рис. 1. Сусіди сірої клітини в одно-вимірній сітці

У кожній ітерації автомату необхідно синхронно оцінити кожен комірку та змінити сітку відповідно. Функцію, що задовільняє дані вимоги називають правилом клітинного автомату [1]. Поведінка простого правила показана на рис. 2. А кінцева одномірна сітка ініціалізується однією сірою клітиною (станом 1) посередині. Для кожної ітерації, клітина стає сірою, якщо в його сусідстві існує одна або дві сірі клітини. В іншому випадку вона перетворюється або залишається білою (стан 0) [4].

Розширення цієї концепції до двох чи трьох вимірів дає більше можливостей вибору околиці. Найпоширенішими є райони фон Неймана та Мура [1] і їх розширення.

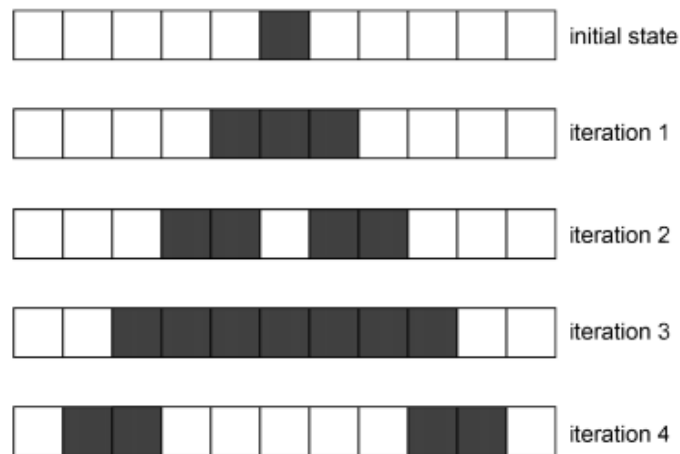


Рис. 2. Чотири ітерації правила елементарного клітинного автомата на одновимірній сітці

**Формування цілей статті.** Згенерувати печерні рівні в 3D графіці використовуючи двовимірне правило печери. Розробити та описати структуру тривимірного клітинного автомату за допомогою процедур та функцій мови програмування.

**Основна частина.** Клітинні автомати (КА) широко використовуються для генерації печерних рівнів [6]. Реалізації таких генеріцій в останніх іграх приділяють основну увагу створенню макетів двовимірного рівня. Перетворимо двомірне правило печери до трьох вимірів і дослідимо способи його вдосконалення та параметризації.

Для цього ми використовуємо автомат із двома станами твердого (1) та повітряного (0). Відповідно до цього правило автомата, кожна клітина змінює стан на основі співвідношення повітря та твердих клітин навколо неї. Параметр зв'язності визначає, наскільки важливим співвідношення станів твердих та не твердих клітин навколо. Відсоток твердих клітин в примітивній структурі називається щільністю. Структури, що відображаються на наступних рисунках, не є порожніми зсередини. Їм потрібно бути інвертованими, щоб діяти, як передбачено. У випадку, якщо ми хочемо отримати поверхню з цього шару, то остаточний результат буде таким же.

Ми спостерігаємо, що збільшення роздільної здатності моделювання призводить до повторення патерну печери, що є бажаною поведінкою у випадку, коли ми хочемо розширити наш світ для вокселів для печерних структур. Є, звичайно, шляхи масштабувати структури або підвищити рівномірність печери.

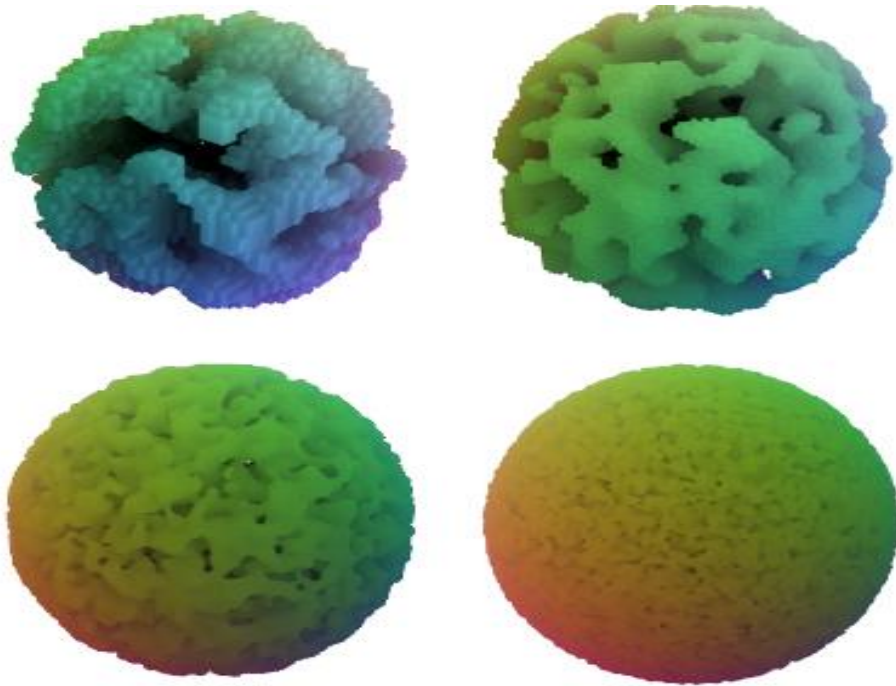


Рис. 3. Правило печери застосовано протягом 7 ітерацій для сфери з щільністю 0.5.

Радіус пошуку виставлений на 1 одиницю. Зліва-направо: 32, 64, 128, 256 розширення сітки. Параметр приєднаності: 0.5

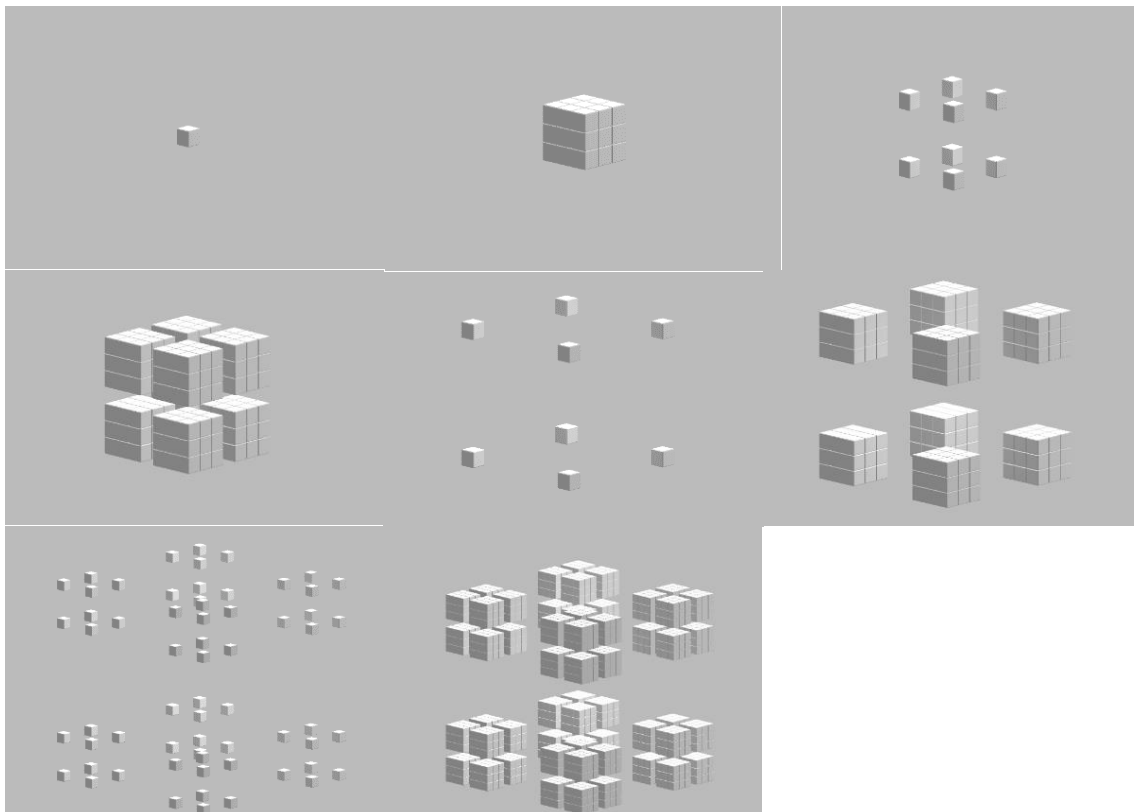


Рис. 4. Етапи генерації автомату (1-8) за правилом 1/1

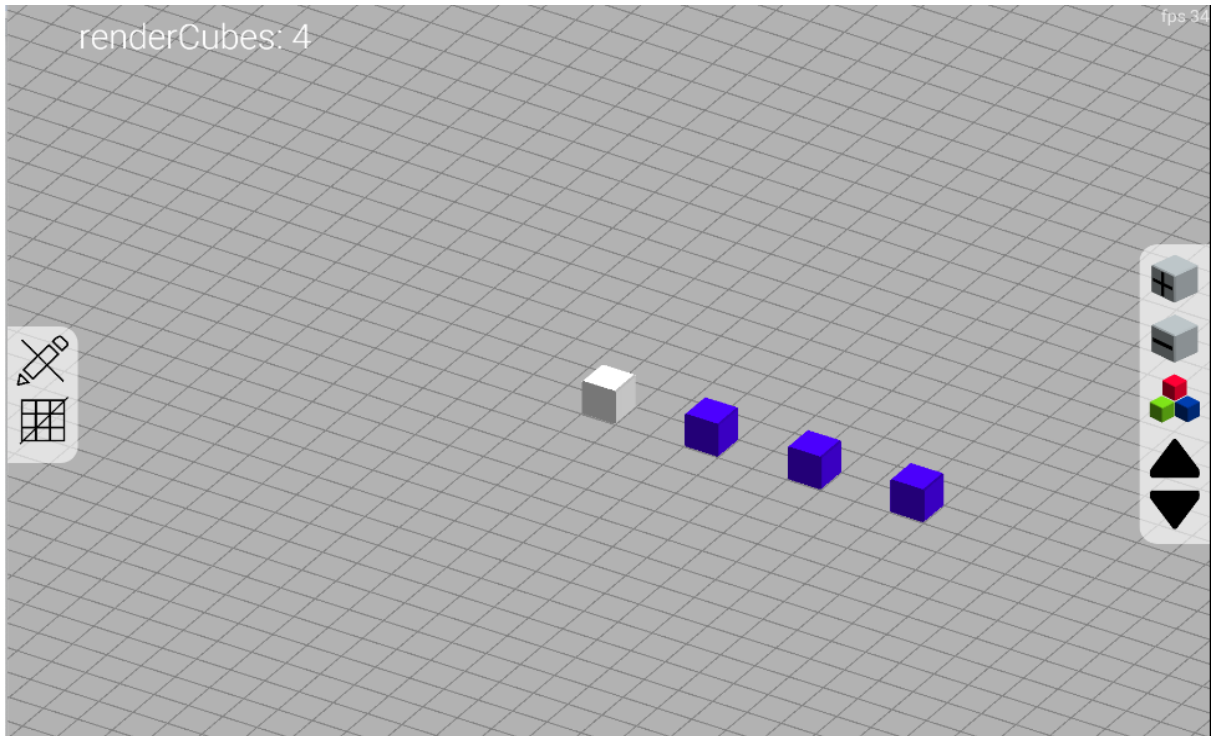


Рис. 5. Редактор клітинного автомату, додавання трьох клітин синього кольору (темно- сірого)

Для реалізації поставленої задачі було розроблено структури тривимірного автомату, що складається з таких функцій:

- Automata - модуль керування генерацією клітинного автомату (КА). Може почати генерацію, призупинити, зупинити, перейти на наступну ітерацію
- CellMap - модель зберігання стану автомату, координат всіх живих та неживих клітин, включає функціонал додавання нової клітини, видалення, зміни кольору існуючої.
- Rule - модуль що генерує наступну ітерацію КА. Інкапсулює методи знаходження сусідніх клітин, визначення стану клітини на наступній ітерації та її кольору, якщо використовується наслідування кольору. На виході методу nextIteration() ми отримаємо список клітин для відображення наступної ітерації.
- ModelRenderer - модуль відображення КА на дисплей. Перетворює об'єкти типу CellMap в координати об'єкта, для рендера.
- ApplicationInastance - головний модуль керування станом КА. Він отримує сигнали введення даних користувачем та через адаптер передає їх в модуль Automata. Automata, в свою чергу, отримує нову ітерацію. Після формування карти нової ітерації викликається метод updateRenderer, що малює КА в візуально наглядному вигляді.

На рис. 4 зображено проміжні етапи генерації клітинного автомату та показано можливість редагування поточного стану КА (рис.5).

**Висновки.** Більшість існуючих програмних засобів для клітинних автоматів не відповідають встановленим вимогам або взагалі не пристосовані для роботи із тривимірними автоматами. На основі проведеного огляду виявлена потреба в розробці нових методів дослідження еволюції тривимірних клітинних автоматів під впливом зовнішніх факторів та розробці нового програмного забезпечення, що реалізує увесь необхідний функціонал та надасть зручний інтерфейс для роботи з ним.

### *Література*

1. Andrew Adamatzky and Genaro J Martinez. ' Designing Beauty: The Art of Cellular Automata. Vol. 20. Springer, 2016. 191 p.
2. Alonso-Sanz and Martin. Elementary cellular automata with memory. ' Complex Systems 14.2 (2003), P. 99–126.
3. Bays. A note about the discovery of many new rules for the game of threedimensional life. Complex Systems. 2006. Vol 16 (4)., P. 381.
4. Conway. The game of life. Scientific American, 1970. Vol. 223.4, P. 4.
5. Culik and Dube. Fractal and recurrent behavior of cellular automata. Complex Systems. 1989. Vol. 3.3, P. 253–267.
6. RL Dobrushin, VI Kriukov and AL Toom. Stochastic cellular systems: ergodicity, memory, morphogenesis. Manchester University Press, 1990. 541 p.
7. Fisch. Cyclic cellular automata and related processes. Physica D: Nonlinear Phenomena, 1990. Vol. 45, Is, 1-3, P. 19–25.

## **СТРУКТУРА ТРЕХМЕРНОГО КЛЕТОЧНОГО АВТОМАТУ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Ванін В.В., Залевська О.В., Чередниченко В.О.

*В работе представлена структура клеточного трехмерного автомата, с возможностью редактирования и остановки процесса восстановления развития динамической структуры. Построение изображения такого процесса позволяет расширить применение клеточных автоматов для создания разных динамических объектов компьютерной графики. Рассмотрено образование объектов как натуральных так и искусственных с абстрактной формой, на*

*примере пещерной системы. Полученная система, с помощью клеточного автомата, сможет симулировать естественную генерацию и распространение пещеры. Приведены способы эффективного использования сгенерированных продуктов клеточных автоматов в контексте графических дополнений.*

*Комплексное использование 3d методов в компьютерной графике позволяют создать модель объекта и показать ее развитие на примере отражения уровней игры в режиме реального времени. Приведённые программные реализации являются новыми подходами к процедурной генерации, которые используют свойственные ограничения процесса и непредсказуемость клеточного автомата. Строя исследование на простых правилах, выявлено достаточно много полезных конфигурации с возможностью создания достоверных горных образований, пещерных систем, сталагмитов и других сложных естественных или физических структур, при этом они легко параметризуются и объединяются.*

*Структура такого клеточного автомата будет складываться из таких процедур и функций, которые смогут обеспечивать следующие условия:*

- возможность управления генерацией клеточного автомата;*
- хранение состояния автомата и всех его живых клеток;*
- генерация следующей итерации;*
- отражения клеточного автомата;*
- управление состоянием КА.*

*Ключевые слова: клеточный автомат, генерация 3d структур, компьютерная графика, пещерные системы.*

## **STRUCTURE THREE-DIMENSIONAL CELLULAR TO AUTOMAT FOR CONSTRUCTION OF IMAGE OF DYNAMIC SYSTEMS**

Vanin V., Zalevska O., Cherednichenko V.

*In-process resulted structure cellular three-dimensional to the automat, with possibility of editing and stop of process of renewal of development of dynamic structure. The construction of image of such process allows to extend application of cellular automats for creation of different dynamic objects of computer graphics. Formation of objects is considered both natural and artificial with an abstract form, on the example of the spelaeon system. Got system by means of cellular to the*

*automat, able to simulate a natural generation and distribution of cave. Methods over of the effective use of the generated products of cellular automats are brought in the context of graphic additions.*

*The complex use 3d methods allow in computer graphics to the object and to show her development on the example of reflection of the pвiнiв playing the real-time mode. Застосунки over is brought are the new going near a procedural generation, that use peculiar limitations of process and unforeseeableness cellular to the automat. Building research on simple rules, it is educed much enough useful to configuration with possibility of creation of reliable mountain formations, spelaean systems, stalagmites and other difficult natural or physical structures, here they easily параметризуються and unite.*

*Structure such cellular to the automat will be folded, from such procedures and functions, that забезпечили next terms:*

- is possibility of management a generation cellular to the automat;*
- it is storage of the state to the automat and all him living cages;*
- it is a generation of next iteration;*
- reflection cellular to the automat; it is a management the state of KA.*

*Keywords: cellular automat, generation 3d structures, computer graphics, spelaean systems.*