



УДК 519.688

## ВИКОРИСТАННЯ КЛІТИННОГО АВТОМАТА ДЛЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ МУЗИЧНОГО РЯДУ В ВІЗУАЛЬНИЙ

**Волковський О. С., к.т.н.**

**Стародінов М. О., магістр\***

*Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара*

*Тел. (056) 374-97-04*

**Анотація** — у роботі запропоновані алгоритми клітинного автомату, за допомогою якого можлива геометрична інтерпретація музичних творів. Для вирішення задачі був використаний двовимірний, лінійний, однорідний, з недетермінованим однорідним правилом та околицею фон Неймана автомат першого роду. За клітину автомату було обрано шестикутну зірку. Розроблені та програмно реалізовані наступні алгоритми: СА6 – обробки кроку життя клітинного автомату(КА); Extractor – інтерпретація вхідних сигналів; Harmonia – вплив вхідного сигналу на правила КА.

**Ключові слова** — теорія клітинних автоматів, моделювання, інтерпретація музики, скінченні автомати.

**Постановка проблеми.** З кожним роком людина отримує все більше обчислювальних можливостей. Для використання цих можливостей можна знайти безліч шляхів. Один із основних - це моделювання все складніших процесів. На даний момент у цьому напрямку розвивається декілька підходів, один з яких є теорія клітинних автоматів.

Клітинний автомат - дискретна модель, яка вивчалася в математиці, теорії обчислюваної фізики, теоретичної біології та мікромеханіці. Включає регулярну решітку кліток, кожна з яких може знаходитися в одному з кінцевої кількості станів [4].

У роботі пропонується не стандартний підхід до клітинного автомату: використання останнього у музичних композиціях.

---

© Волковський О. С., Стародінов М. О.

\* Науковий керівник – к.т.н., доцент Волковський О. С.



Середовище, яке представляють собою клітинні автомати, володіє великими можливостями для моделювання сукупності взаємопов'язаних однорідних об'єктів. Сюди можна віднести моделювання фізичних процесів у фізиці частинок і ядерній фізиці, моделювання руху потоків рідини, моделювання взаємодіючих клітинних систем в біології та медицині, використання моделей на основі клітинних автоматів в нанотехнологіях і т. д. Крім того, клітинні автомати є за визначенням паралельними структурами і тому використовуються для вирішення проблем моделювання дискретних паралельних процесів.

Серед цих множинних застосувань має місце і використання клітинних автоматів у музиці. Варто зазначити, що будь-яка музика, як набір звуків, є системою дискретною та замкнутою. Вона може бути змодельована або відображена в різних інтерпретаціях. У музиці виділяють усього 12 різних звуків, які не імітуються по октавах. Тобто кожні 12 різних, послідовних звуків (півтонів) починають повторюватись тільки на порядок вище. З фізичної точки зору такий ефект зумовлений тим, що коливання кожного 12-го півтону починає приходити до резонансу. Крім того, усі гармоніки базуються на певних закономірностях, які полягають у відстанях (в півтонах) між задіяними в гармоніках звуках. Тобто гармонік теж дискретна кількість.

Підкреслимо, що до уваги беремо те, що властивості КА дуже схожі з деякими аспектами мелодії. Наприклад, лейтмотив КА (складна поведінка з простих правил) є поруч зі складними комбінаціями простих гармонік (три звуки) музики.

Отже, було визначено доцільним розвинути використання КА для моделювання та генерації музичного ряду.

*Аналіз останніх досліджень.* Теорія клітинних автоматів, пов'язана з іменами фон Неймана і Конрада Цузе, має фундаментальне значення для всієї науки і різноманітне прикладне застосування. Починаючи з робіт Т. Тоффолі і Н. Марголуса 80-х рр. [1], клітинні автомати стали використовуватися в моделях фізико-хімічних процесів. До середини 90-х рр. моделювання, за допомогою КА стало використовуватися при вивченні мультиагентних систем в урбаністиці (натовп, транспортна пробка). Оглядова стаття В. Ванага по імовірнісним КА легітимізувала для вітчизняних дослідників клітинні автомати як метод математичного моделювання [2]. Останнє десятиліття ознаменувалося бумом публікацій в різних розділах науки, пов'язаних з КА-моделями [3]; одночасно з цим продовжує розвиватися і математична теорія клітинних автоматів [4].



У вітчизняній літературі не було знайдено джерел відносно саме ідеї інтерпретації музики за допомогою клітинного автомату.

*Формулювання цілей статті.* Виходячи з вищезгаданої інформації були сформульовані наступні завдання:

- розробити алгоритм для подання вхідних сигналів на клітинний автомат (один вхідний сигнал - один крок життя клітинного автомату);
- розробити алгоритм впливу вхідного алфавіту на правила клітинного автомату;
- розробити алгоритм для формування нових мелодій на основі станів клітинного автомату які були сформовані при впливі іншої мелодії.

*Основна частина.* Розглянемо клітинний автомат у вигляді детермінованого скінченого автомату, на вхід якого подається музичний ряд (алфавіт) і який, у свою чергу, впливає на правила поведінки КА та рухає моменти життя автомату вперед.

Отже, ми маємо залежність скінченого автомату від вхідного сигналу, можливого набору станів, початкового стану, функції переходів, та набір кінцевих станів.

Сам вплив (функція переходу) буде полягати у тому, що в залежності від вхідного сигналу (музичного звуку) враховується або не враховується вплив на кожну клітину іншої із околиці першої. Також після кожного завершеного звуку синхронно рухається життя КА в часі. Діапазони життя та народження клітинного автомату протягом розвитку не змінюється.

Стан клітини визначає її силу, тобто кількість життів, а також скільки моментів часу вона зможе прожити без сприятливих умов для життя. Наприклад: ми маємо клітину зі станом «3» вона зможе прожити «3» моменти часу без сприятливих умов для життя. І навпаки, якщо з'являються умови для народження, клітина накопичує стани. Тобто стан клітини буде відображати кількість її народжень. Мертву клітину буде зручно позначати станом 0.

Також необхідно створити гнучку конфігурацію усіх не закріплених параметрів КА – це розмір поля, умови життя та народження, закономірності, за якими впливає вхідний сигнал на правила та максимальна кількість станів клітин.

Головною ідеєю є пряме проектування музичного ряду на поведінку КА.

На основі набору станів еволюції КА, який розвивався під впливом певного вхідного сигналу (музики), потрібно формувати інший сигнал, який мав би аналогічний вплив на КА (рис 1).

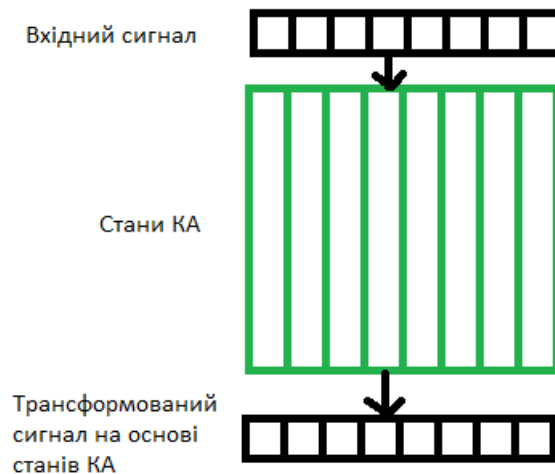


Рис.1. Зображення принципу формування станів клітинного автомату та трансформованих сигналів

Для вирішення задачі необхідно враховувати вплив усіх можливих звуків музичного ряду на КА. В нотному стані усього 12 різних півтонів. Для створення КА, в основі якого клітина має 12 вхідних сигналів, які впливають на околицю з всіх прилягаючих клітин, необхідно брати за основу клітину, у якої буде 12 способів взаємодії з клітинами в околиці.

Після перебору різних варіантів було знайдено один найбільш відповідний. В основу клітини КА було взято шестикутну зірку (рис. 2).

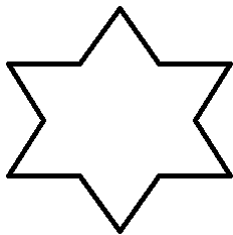


Рис. 2. Шести-кінцева зірка.

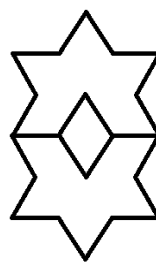


Рис. 3. Поле із двох зірок.

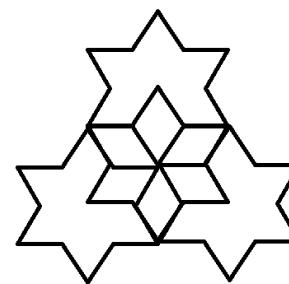


Рис. 4. Поле із 3-х зірок.

Вона має 12 ребр, по яким і буде здійснюватися взаємодія з околицею та реакція на чутливість яких і буде впливати вхідний сигнал.

В основі своїй зірка не може складуватися в суцільне поле. Тому було здійснено накладання цих зірок як вказано на рис. 3. На цьому рисунку зображено 2 зірки що є знаходяться сусідами.

Далі ми розглянемо випадок із 3-х зірок рис 4. Повний вигляд зірки і усіх її сусідів зображено на рис. 5.

Подальший розвиток поля буде мати вигляд поданий на рис. 6.

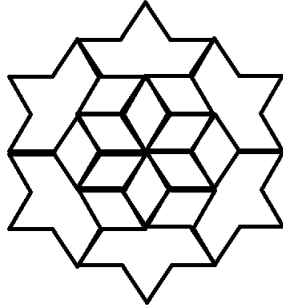


Рис. 5. Вигляд поля із семи зірок.

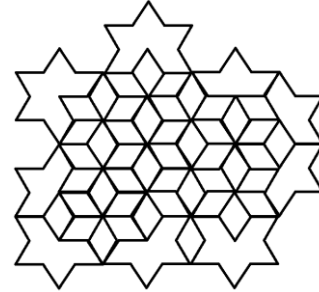


Рис. 6. - Вигляд шматка поля.

Для початку необхідно обрати спосіб унікальної ідентифікації кожної клітини поля. Поле у нас двомірне, тобто кожна клітина буде задаватися двома значеннями. Система координат обрана косокутна з кутом нахилу 60 градусів. Точка підрахунку в лівому верхньому куту як зображено на рис 7.

З цього ж рисунку ми бачимо, як зручно даний підхід працює.

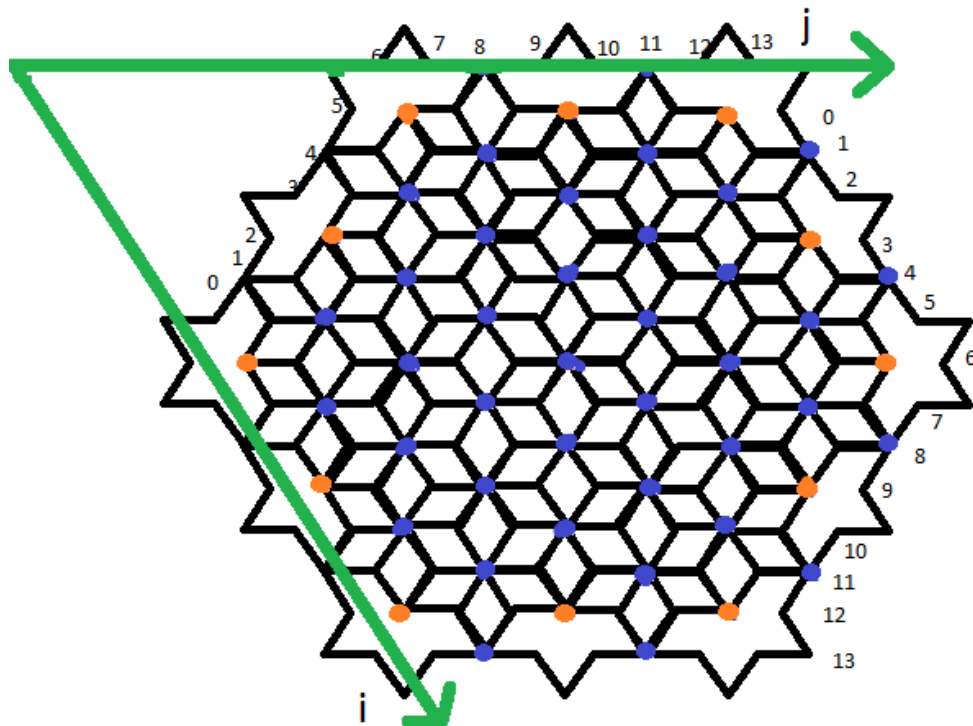


Рис. 7. Поле розмірами (3, 3, 3) з координатами

Далі задаємо три величини  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , які підраховуються по наступним формулам (1), де  $x$  - це розмір поля в напрямку осі  $J$ ;  $y$  - це розмір в напрямку прямої  $j=-i$ ;  $z$  - це розмір поля в напрямку осі  $i$ . Ці три величини в геометричному вигляді проілюстровані на рис. 8.

$$\begin{aligned} a &= (x + z - 2) * 3 + 2 \\ b &= (y + z - 2) * 3 + 2 \\ c &= (z - 1) * 3 + 1 \end{aligned} \quad (1)$$

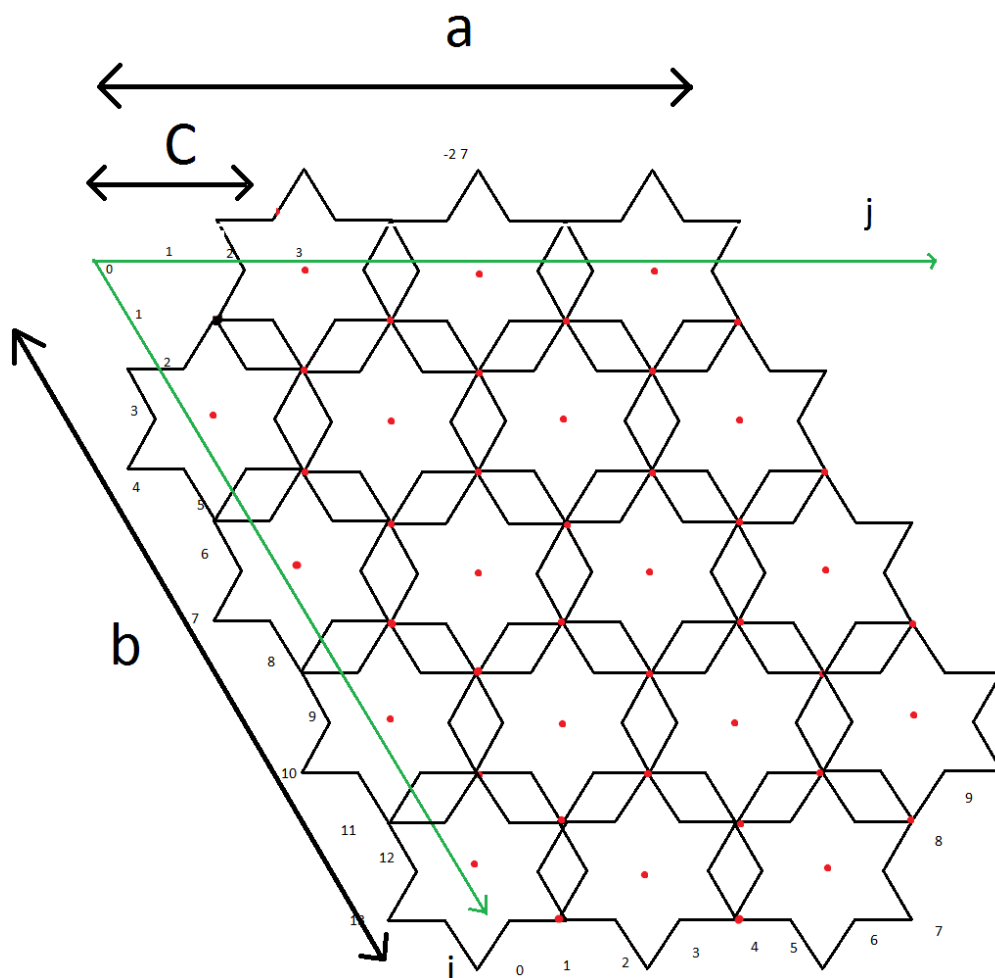


Рис.8. Поле з розмірами (2, 3, 4)

Далі розраховуємо формули по створенню тору. Це повинні бути формули, за допомогою яких буде можливим «звертатися» до клітин, які знаходяться за розміткою поля напроти клітини з іншого краю. У цілому, виходить тор закручений по трьом напрямкам.

Всі 6 формул переходів подані в таблиці 1.



Таблиця 1. Відповідності напрямку переходу до формули

Напрямок переходу по границі тору	Формула переходу	
Вгору ( $i < 0$ )	$j = j - c$	$i = i + b$
Вниз ( $i \geq b$ )	$j = j + c$	$i = i - b$
Вліво ( $j < 0$ )	$j = j + a$	$i = i - c$
Вправо ( $j \geq a$ )	$j = j - a$	$i = i + c$
Вліво-вгору ( $i < c - j$ )	$j = j + a - c$	$i = i + b - c$
Вправо-вниз ( $j \geq a + b - c - i$ )	$j = j - a + c$	$i = i - b + c$

Розглянемо базові алгоритми.

Extractor – алгоритм подання та перетворення вхідних сигналів.

Тут створюється одна команда (буква алфавіту) для КА на основі вхідного сигналу. Вхідний сигнал – це одне повідомлення події MIDI файлу на натиснення клавіші (note on – натиснення клавіші або end of file – кінець файлу), яке складається з таймінгу (часу спрацьовування ноти в ticks, які дорівнюють BPM x PPQ x millisecond) та значення одного звуку в діапазоні від 0 до 127, причому 0 це нота C (do). Команда є масив розміром 12 байтів, у якому буде записано кількість спрацьовувань кожного півтону.

Відштовхуючись від таких умов та від концептуальних поглядів на формування алфавіту, можливо зробити дві різні реалізації extractor:

1. Extractor mono (рис. 9) на основі послідовної обробки кожного звуку. Тобто якщо навіть звуки пролунали одночасно кожен з них буде викликати окремий крок життя КА.

2. Extractor poly (рис. 10), який буде слідкувати за звуками, які пролунали одночасно, та буде їх накопичувати доки не прийде звук, який прозвучав пізніше. В цей момент і буде спрацьовувати крок життя КА.



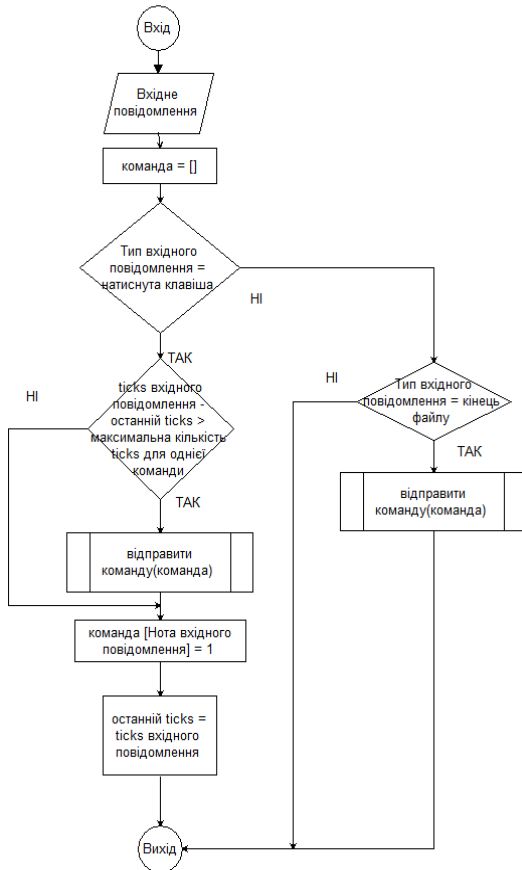


Рис. 9. Блок схема алгоритму Extractor poly

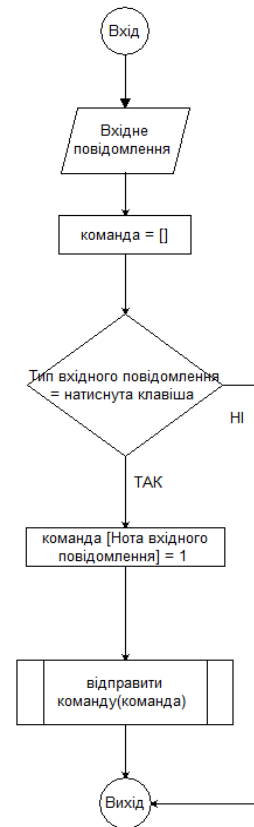


Рис. 10. Блок схема алгоритму Extractor mono

Harmonia – алгоритм впливу команди на правила КА. Цей алгоритм повинен приймати на вході масив розміром 12 байтів (команду), у якому зберігається кількість спрацьовувань кожного півтону за вхідний сигнал та створювати вплив на правила КА. У даному алгоритмі фігурує змінна стратегії, в якій знаходиться масив закономірностей впливу на правила КА. Правила КА представляють собою масив, у якому зберігається набір байтів, кожен з яких відповідає за чутливість клітин до відповідних сусідів. Алгоритм поданий на рис. 11.

Він спрацьовує кожного разу, коли приходить готова команда з Extractor алгоритму.

СА6 – алгоритм обробки кроку життя клітинного автомату.

Цей алгоритм повинен приймати на вході команду, викликати алгоритм Harmonia для обробки правил і потім здійснити один крок еволюції поля клітинного автомату. Цей рекурсивний алгоритм поданий на рис. 12.

Таким чином, операції здійснюються без використання додаткових сховищ даних та громіздких циклів.



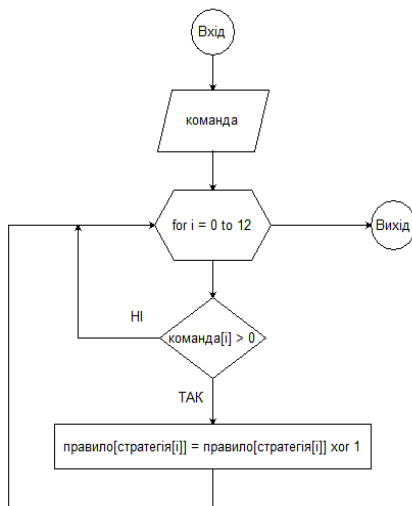


Рис. 11. Блок схема алгоритму  
Harmonia



Рис. 12. Блок схема  
алгоритму СА

*Висновки.* Використання КА є досить популярним та актуальним, оскільки може вирішити багато проблем у середовищі різних наук. Інтерпретація музичних творів за допомогою КА – новий спосіб використання теорії клітинного автомату, а також сприйняття музики як такої. Створений лінійний, однорідний, збалансований, синхронний, нерухомий, детермінований, з не детермінованим однорідним правилом та околицею фон Неймана клітинний автомат першого роду. Він може відобразити музичну гармонію та тримати у собі всі закономірності музики, як один із прийнятних ходів еволюції автомату. За клітину автомату було взято шестикутну зірку.

Результати досліджень можуть бути застосовані при створенні нових музичних композицій та при формуванні зображень на основі музики.

Існує перспектива розвитку напрямлення інтерпретації вхідних сигналів клітинними автоматами.

### Література

1. *Тоффоли Т.* Машини клеточных автоматов /Тоффоли Т., Марголус Н. . - М.: Мир: 1991. - 280 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу:  
<http://libarch.nmu.org.ua/bitstream/handle/GenofondUA/60796/9f7dbebb31db5672055237c38536f0ae.pdf?sequence=1>
2. *Астафьев Г.Б.* Клеточные автоматы: Уч-мет. пос. Саратов/ Астафьев Г.Б., Короновский А.А., Храмов А.Е. «Колледж»,



2003. 24с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://nonlin.sgu.ru/data/papers/Train/CellAutomat.pdf>
3. Лобанов А.И. Модели клеточных автоматов [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://vst.ics.org.ru/uploads/crmissues/kim\\_2010\\_2\\_3/crm10304.pdf](http://vst.ics.org.ru/uploads/crmissues/kim_2010_2_3/crm10304.pdf)
4. Аладьев В. Классические однородные структуры. Клеточные автоматы - [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elib.grsu.by/katalog/134963-249078.pdf>

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КЛЕТОЧНОГО АВТОМАТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МУЗЫКАЛЬНОГО РЯДА В ВИЗУАЛЬНЫЙ

О. С. Волковский, М. А. Стародынов

*Аннотация* - в работе предложены алгоритмы клеточного автомата, с помощью которого возможна интерпретация музыки. Для решения поставленной задачи был использован двумерный, линейный, однородный, с не детерминированным однородным правилом и окраинной фон Неймана автомат первого рода. В качестве клетки автомата использовалась шестиугольная звезда. Разработаны и программно реализованы следующие алгоритмы: CA6 - обработка шага жизни клеточного автомата (КА); Extractor - интерпретация входных сигналов; Harmonia - влияние входного сигнала на правила КА.

## USAGE OF CELLULAR AUTOMATA TO SOLVE THE PROBLEM TRANSFORMATION FROM MUSIC TO VISUAL SERIES

O. Volkovskyy, M. Starodynov

### *Summary*

In this article is the results of the development of cellular automata algorithms by which the possible interpretation of the music. The basis of the solution of problem was two-dimensional, linear, and homogeneous, with no deterministic uniform rule and the outskirts Von Neumann of the first kind. As automatic cell was hexagonal star. During the work, following algorithms have been developed: CA6 - processing step of life in a cellular automaton (CA); Extractor - the interpretation of the input signals; Harmonia - the impact of the input signal to the CA rules.