

POWSTAWANIE TEKSTUR W DWUWYMIAROWYCH AUTOMATACH KOMÓRKOWYCH

Anna POREBSKA

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydz. EAIiE, Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki,
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
tel: 12 617 28 19 e-mail: porebska@agh.edu.pl

Streszczenie: W tekście przedstawiono klasyfikację tekstur i opisano proces ich generowania za pomocą dwuwymiarowych automatów komórkowych. Automaty te, ze względu na swą architekturę, w naturalny sposób odpowiadają zastosowaniom w grafice komputerowej i w przetwarzaniu obrazów. W oparciu o komputerową symulację binarnych automatów komórkowych wygenerowano tekstury przynależne do różnych klas.

Słowa kluczowe: tekstury, automaty komórkowe, grafika komputerowa.

1. WPROWADZENIE

Słowo tekstura pochodzi z łaciny i oznacza tkaninę. Pierwotnie oznaczało nierówności utkanej powierzchni. Aktualnie tego terminu używa się zarówno na określenie własności powierzchni jak i na opisanie struktury brył czy rozkładu światła na obiektach lub też składowych muzyki - w zależności od dziedziny w której się terminem tekstury posługujemy. Dlatego też pojęcie to nie ma jednoznacznej i powszechnie stosowanej definicji. Tekstury wykorzystuje się do opisu procesów krystalizacji, struktury skał, w procesie tworzenia obrazów, do przetwarzania obrazów o zróżnicowanej fakturze, dwu i trójwymiarowych, lub obrazów słabo wykontrastowanych (zdjęcia satelitarne, ultrasonogramy) [1]. Tekstury mają zastosowanie w programach symulacyjnych, w tworzeniu grafiki komputerowej (w szczególności w grach komputerowych), ale także w sztuce komputerowej [2].

Dwuwymiarowe automaty komórkowe można opisać jako sieć komórek w których równocześnie, w dyskretnych chwilach czasu, zachodzi przetwarzanie sygnału wejściowego według zadanej reguły. W każdym kroku automat komórkowy wchodzi w nowy globalny stan, który może być traktowany jako swoista tekstura. W przypadku klasy automatów stabilnych w skończonym czasie generowany jest finalny, niezmienny lub cykliczny stan, zależny od podanego na wejście sygnału (dla automatów binarnych może być to dwukolorowy obraz, dla wielostanowych - wielobarwny), posiadający swoistą charakterystykę i powtarzalność występujących struktur. Dlatego też automaty komórkowe są źródłem

dwuwymiarowych tekstur. Najbardziej znane przykłady takich automatów komórkowych to tzw. „Gra w życie” oraz „Mrówka Langtona”. Jednakże nie są one jedynymi, generującymi ciekawe tekstury. Ze względu na architekturę, dwuwymiarowe automaty komórkowe w naturalny sposób odpowiadają zastosowaniom w grafice komputerowej, dlatego też będziemy się koncentrować na graficznym znaczeniu pojęcia tekstura.

W kolejnych częściach tekstu zostaną zaprezentowane sposoby wykorzystania automatów komórkowych do tworzenia tekstur i same tekstury wygenerowane przez automaty komórkowe o odpowiednio utworzonych regułach. Komputerowa symulacja pozwoliła na wyodrębnienie szeregu automatów komórkowych, które generują tekstury różnego typu. Te charakterystyczne tekstury tworzone są w krótkim czasie i mogą być użyteczne w warunkach zmieniającej się sceny graficznej.

2. TEKSTURY

2.1. Klasy tekstur

Pojęcie tekstury (faktury) może być formułowane na różne sposoby w zależności od obszaru jego zastosowań: powszechnie - jest to wizualna i wyczuwalna jakość powierzchni; w grafice komputerowej - „Dwuwymiarowy obiekt graficzny (rysunek lub fotografia) nakładany na powierzchnię trójwymiarowych elementów” [3]. Najczęściej proponowaną definicją tekstury w zastosowaniach graficznych jest opisanie jej jako własności powtarzającego się motywu (wzorca), wypełniającego całą rozważaną płaszczyznę [4].

Odwołując się do pewnych prawidłowości obserwowanych w strukturze tekstury, wyróżnia się następujące klasy tekstur [5]:

- U - silnie uporządkowane; tekstury posiadają charakterystyczne, powtarzające się ułożenie specyficznych klas elementów (tzw. prymitywów) i można je opisać poprzez podanie geometrycznych relacji między tymi elementami
- SU - słabo uporządkowane (zwane też zorientowanymi); tekstury wykazują lokalnie dominującą orientację w każdym punkcie tekstury, orientacja ta może się dowolnie zmieniać – takich tekstur nie można opisać ani w

kategoriach statystycznych, ani strukturalnych, a jedynie wyróżniając pola orientacji

- NU - nieuporządkowane; tekstury nie wykazują ani powtarzalności, ani jakiegokolwiek orientacji elementów i mogą być opisane wyłącznie na bazie ich nieuporządkowania
- K - kompozycyjne; tekstury powstały w wyniku działania kompozycyjnych reguł, lub ich kombinacji, na tekstury U, SU i NU.

Najbardziej znanym zbiorem tekstur jest tzw. album Brodaty [6]. 91% zawartych w nim obrazów należy do trzech pierwszych kategorii tekstur. Tekstury te określa się mianem tekstur elementarnych. Pozostałe 9%, to tekstury klasy K. Przykładem tekstury typu U może być dachówka pokrywająca dach; typu SU - kora drzewa; typu NU – chmury. W Internecie można znaleźć wiele katalogów z teksturami dostępnymi za darmo lub odpłatnie. Przykładowe znajdują się na stronie CGTextures [7] lub Arroyo-textures [8].

2.2. Synteza tekstur

Tekstury, ze względu na sposób ich opisu możemy podzielić na:

Obrazy bitmapowe – oparte na arytmetyce liczb całkowitych; często zdjęcia rzeczywistych powierzchni (ściany, tkaniny, kora drzew);

Tekstury proceduralne – parametryzowane wzory generowane programowo (szachownica, marmur, drewno, chmury).

Najważniejsze techniki syntezy tekstur proceduralnych oparte są na: funkcjach zapisanych bezpośrednio matematyczną formułą, zakłóceniach (do algorytmu wprowadza się pewną funkcję zakłócenia), fraktalach, funkcji reakcji/dyfuzji.

Ze względu na sposób generowania, tekstury dzielimy na deterministyczne (makroskopowe) i stochastyczne (mikroskopowe).

3. WYKORZYSTANIE AUTOMATÓW KOMÓRKOWYCH DO TWORZENIA TEKSTUR

3.1. Automaty komórkowe jako źródło tekstur

Dwuwymiarowe automaty komórkowe zbudowane są z komórek, które zmieniają swój stan dyskretnie, w zależności od stanu komórek tzw. sąsiedztwa, według zadanej reguły. Najczęściej definiowane sąsiedztwo to 5-elementowe sąsiedztwo von Neumanna (komórka centralna i komórki rozmieszczone obok niej w 4 podstawowych, geograficznych kierunkach) lub 9-elementowe sąsiedztwo Moore'a (komórka centralna i wszystkie komórki sąsiadujące z nią bezpośrednio w sieci). Ponieważ w symulacjach istotna jest optymalizacja obliczeń, warto posługiwać się najmniejszym sąsiedztwem. Jednakże te najbardziej popularne automaty komórkowe wykorzystywane w tworzeniu tekstur oparte są na sąsiedztwie Moore'a [9]. Stan wszystkich komórek w danej iteracji jest globalnym stanem automatu komórkowego.

Automaty komórkowe deterministyczne generują tekstury makroskopowe, często charakteryzujące się regularnymi wzorami. Automaty komórkowe probabilistyczne tworzą bardziej jednolicie wypełnione

tekstury o plazmoidalnym wyglądzie – tekstury mikroskopowe.

Metoda generowania tekstur proceduralnych przez binarne automaty komórkowe z losowo wygenerowaną regułą i białym szumem jako stanem początkowym, zaprezentowana jest w pracy Borovsky'ego [10]. Automaty komórkowe jako wirtualna siatka w której komórkach prowadzone są równoległe obliczenia są efektywnym, użytecznym narzędziem komputerowych symulacji. W przypadku sąsiedztwa von Neumanna istnieje 2^{32} możliwych 32 bitowych wektorów (tablic logicznych) definiujących regułę automatu komórkowego będącą równocześnie procedurą tworzenia tekstury. Borovsky pokazuje, że wybór początkowego białego szumu nie miał wpływu na charakterystykę tworzonych animacji, a jedynie na liczbę i pozycję typowych lokalnych struktur. Dlatego też globalny stan automatu komórkowego z zadaną regułą może być traktowany jako jedna, binarna, proceduralna tekstura. Tak więc 32 bitowy wektor definiuje dowolną binarną teksturę możliwą do wygenerowania w dwuwymiarowym, binarnym automacie komórkowym. Potencjalnie można stworzyć 4 294 967 296 takich tekstur. Należy podkreślić, że wiele automatów komórkowych jest trywialnych, to znaczy ich finalny globalny stan jest zerowy. Jednakże i te mogą być źródłem tekstur, zdefiniowanych w tym przypadku jako obrazy wygenerowane przed osiągnięciem stabilnego stanu, a po zadanej liczbie iteracji.

3.2. Tekstura automatu komórkowego typu „Gra w życie”

W grafice komputerowej najczęściej wykorzystywane są automaty komórkowe typu „Gra w życie” – automatu stworzonego w 1970 r. przez J.H. Conway'a. W tym przypadku, w każdej iteracji dla sąsiedztwa Moore'a przeliczane są wszystkie komórki według reguły f określanej jako „wzrost ze współzawodnictwem” (klasyfikacja T. Toffoli i N.H. Margolus [11]): komórka centralna pozostaje bez zmian jeśli dwóch z pozostałych ośmiu sąsiadów jest "1", komórka centralna staje się "1" jeśli trzech z pozostałych ośmiu sąsiadów jest "1", w pozostałych przypadkach staje się "0".

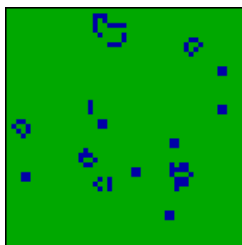
Liczba niezerowych komórek w sąsiedztwie Moore'a może zmieniać się od 0 do 9. Przyporządkujemy każdej takiej liczbie niezerowych sąsiadów odpowiednią wartość (lub wyrażenie) reguły, przy czym po lewej stronie ukośnej kreski zapiszemy nowy stan komórki centralnej dla liczb od 0 do 4, a po prawej odpowiednio od 9 do 5. Według takiej konwencji regułę „Gry w życie” można zapisać jak poniżej:

$$f = \{0/0, 0/0, 0/0, 1/0, CC/0\} \quad (1)$$

gdzie: CC - stan komórki centralnej w chwili t

W tym automacie komórkowym w każdej iteracji uzyskuje się tekstury zawierające charakterystyczne wzory i motywy ułożone w zależności od układu początkowych niezerowych komórek. Po kilkunastu lub więcej cyklach osiągnany jest globalny stan stabilny (niezmienny lub cyklicznie powtarzany w pewnych obszarach). Jako tekstura może być wykorzystany zarówno globalny stan przejściowy jak i stan finalny. Przykładowa tekstura, uzyskana dla początkowej niewielkiej liczby przypadkowo rozmieszczonych niezerowych komórek, pokazana jest na rysunku 1.

Automaty typu „Gra w życie” przekształcają duży wejściowy zbiór niezerowych komórek w tzw. eksplodujący (narastający) lub chaotyczny zbiór komórek. Dzięki temu są w stanie tworzyć możliwie zróżnicowane, zbliżone do obserwowanych w naturze, „widoki”.



Rys. 1. Gra w życie - obraz utworzony na siatce 50x50, po kilkudziesięciu krokach, dla przypadkowego zbioru niezerowych komórek.

Dzięki temu można posługiwać się nimi do tworzenia tekstur dla trójwymiarowych powierzchni ziemi w grach komputerowych, animacjach komputerowych, symulacjach lotu itp. [9].

Do tej rodziny można zaliczyć także automat komórkowy Porosty (Lichens) generowany przez regułę f typu „ograniczony wzrost” : komórka centralna staje się "1" jeśli trzech lub siedmiu lub ośmiu z pozostałych ośmiu sąsiadów jest "1", w pozostałych przypadkach pozostaje bez zmian. W opisanej powyżej notacji przyjmuje postać:

$$f = \{0/1, CC/1, CC/1, 1/CC, CC/CC\} \quad (2)$$

„Porosty” startując nawet od niewielkiej liczby niezerowych komórek rozrastają się na coraz większej powierzchni sieci.

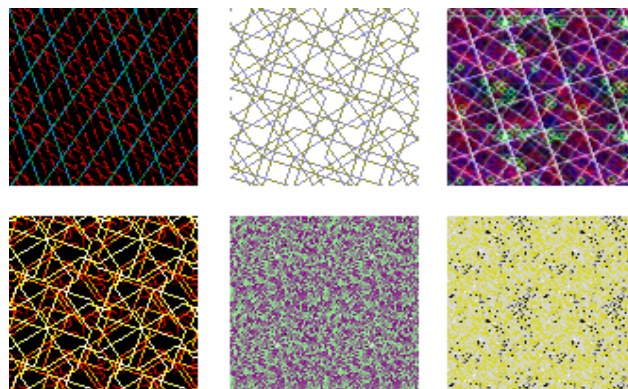
Oba powyższe automaty komórkowe działają na 9-elementowym sąsiedztwie. Tworzone przez nie tekstury proceduralne są generalnie teksturami nieuporządkowanymi. Są szczególnie pożądane, jeśli oparta na nich scena graficzna ma wyglądać realistycznie.

3.3. Tekstura automatu komórkowego „Mrówka Langtona”

Mrówka Langtona w przeciwieństwie do poprzednich automatów komórkowych w każdej iteracji przelicza nowy stan tylko jednej komórki [12]. Pomiędzy iteracjami pamiętane są dwa parametry: bieżąca pozycja mrówki i kierunek (jeden z czterech lub jeden z ośmiu). W każdym kroku „mrówka” modyfikuje kierunek i komórkę w której się znajduje oraz przemieszcza się w zmodyfikowanym kierunku o jedną komórkę. W efekcie, po tysiącach kroków, globalny stan tego automatu komórkowego jest zawsze nieuporządkowany, chaotyczny. Tekstury uzyskane w automatach komórkowych opartych na Mrówce Langtona pokazane są na rysunku 2.

3.4. Generowanie tekstur w automatach komórkowych z sąsiedztwem von Neumanna

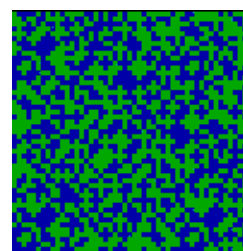
Rozbudowywanie sąsiedztwa lub większa złożoność reguły (np. przez wprowadzenie reguł probabilistycznych) pozwala zbliżać generowane w automatach komórkowych tekstury do obrazów obserwowanych w naturze. Jednakże prowadzi to równocześnie do komplikacji obliczeń i wydłużenia czasu działania procedur graficznych. Dlatego też pożądane jest generowanie tekstur w oparciu o możliwie małe sąsiedztwo jakim jest sąsiedztwo von Neumanna. Także wtedy możliwe jest powstawanie zarówno uporządkowanych jak nieuporządkowanych tekstur. W [10] podaje się, że na 5 losowo wygenerowanych reguł uzyskano 1 ciekawą teksturę.



Rys. 2. Zbiór tekstur utworzonych przez automaty komórkowe oparte na Mrówce Langtona [12]

W tekście pokazujemy tekstury utworzone w autorskim programie do generowania automatów komórkowych. Używana powyżej notacja zapisu reguł odwzorowuje sposób tworzenia reguły. Odpowiadająca jej tablica przejść podzielona jest na obszary związane z różną liczbą niezerowych komórek w sąsiedztwie. Jeżeli modyfikujemy pozycje tablicy tylko w jednym z takich obszarów odpowiadającym 2 lub 3 niezerowym sąsiadom, możemy spodziewać się automatów komórkowych o podobnych własnościach (nietrywalnych), ale generujących różne tekstury.

Zróżnicowana, nieuporządkowana tekstura pokazana na rysunku 3 generowana jest w automacie komórkowym, którego reguła jest symetryczna, to znaczy przyjmuje przeciwstawne wartości dla danego sąsiedztwa i jego negacji.



Rys. 3. Dwuwymiarowy automat komórkowy z siatką 50x50 zadany regułą $f = (CC, W-N, W-N-S)$ – globalny stan po 50 krokach.

Wykorzystując tę własność, możemy ograniczyć się do podania wyłącznie formuły występującej po lewej stronie ukośnej kreski w notacji reguły (dla prawej strony jest identyczna).

$$f = \{CC, W-N, W-N-S\} \quad (3)$$

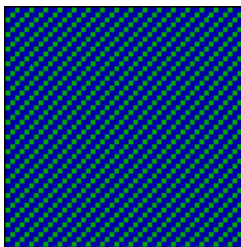
gdzie: $W-N$ oznacza formułę $\text{if } CC=W \text{ then } N \text{ else } W$
 $W-N-S$ oznacza $\text{if } E=N \text{ then } W \text{ else if } E=W \text{ then } N \text{ else } S$

Inny typ tekstury uzyskujemy w automacie komórkowym z regułą:

$$f = \{CC, E-S, CC-S\} \quad (4)$$

gdzie: $E-S$ oznacza formułę $\text{if } CC=E \text{ then } S \text{ else } E$
 $CC-S$ oznacza $\text{if } (CC=\text{not } W \text{ and } N=S) \text{ then } CC \text{ else } S$

W tym przypadku generowane są ukośne pasy, zależne od początkowego stanu. Jeżeli obraz wejściowy jest regularny, to uzyskujemy teksturę uporządkowaną jak na rysunku 4, jeśli nie, to pasy są lekko zdeformowane, ale zachowują kierunek i równoległe ułożenie.

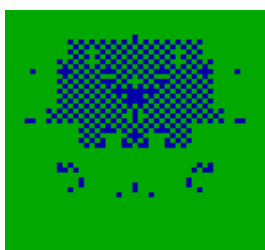


Rys. 4. Dwuwymiarowy automat komórkowy z siatką 50x50 zadany regułą $f = (CC, E-S, CC-S)$ – globalny stan po 100 krokach.

Teksturę słabo uporządkowaną generuje automat komórkowy z regułą:

$$f = \{CC, CC, 1/0\} \quad (5)$$

Powtarzającym się motywem jest szachownica. Na rysunku 5 stanowi ona dominujący element tekstury uzyskanej po podaniu jako stanu wejściowego tzw. chińskiego znaku.



Rys. 5. Dwuwymiarowy automat komórkowy z siatką 50x50 zadany regułą $f = (CC, CC, 1/0)$ – globalny stan po 800 krokach.

4. PODSUMOWANIE

Automaty komórkowe są dobrym narzędziem do generacji tekstur różnego typu. Przy możliwie małym sąsiedztwie i prostych regułach, umożliwiają szybkie działanie procedur graficznych. Dlatego też znajdują szerokie zastosowanie w programach komputerowych do przetwarzania i generowania obrazów. Bazując na swoistej strukturze reguły z sąsiedztwem von Neumanna

można poszukiwać automatów komórkowych tworzących nie mniej skomplikowane tekstury niż te o większym sąsiedztwie czy bardziej złożonej formule.

5. BIBLIOGRAFIA

1. M. Petrou, and P. G. Sevilla, "Image Processing: Dealing with Texture", Wiley, 2006, s.618, ISBN: 0-470-02628-6
2. Franzini P.: Generating abstract digital art textures with cellular automata, Abstract Digital Art Gallery, pfranzini.com/news/?p=7, wrzesień 2010
3. www.mlody.opoka.net.pl/leksykon.html#tekstura, wrzesień 2010
4. Tadeusiewicz R., Flasiński M.: Rozpoznawanie obrazów, PWN, Warszawa, 1991, s.217, ISBN 83-01-10558-5
5. Rao R. A.: A Taxonomy for Texture Description and Identification, Springer - Verlag, New York, 1990, s.197, ISBN 0-387-97302-8
6. Brodatz P., "Textures: A Photographic Album for Artists and Designers", Dover Publications, New York, 1966, s.112, ISBN 0486216691
7. Vijfwinkel M.: CGTextures, www.cgtextures.com, wrzesień 2010
8. www.arroway-textures.com, wrzesień 2010
9. Sinvhal S.: Mapping textures on 3D Terrains: A hybrid cellular automata approach, A Master Thesis Texas A&M University, December 2005, repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/4774/etd-tamu-2005C-CPSC-Sinvhal.pdf?sequence=2, wrzesień 2010
10. Borovsky P.: Procedural Textures Created on Cellular Automata, Bratislava, 2003, www.sccg.sk/~borovsky/rigorous_thesis/version111.htm, wrzesień 2010
11. Toffoli T., Margolus N.: Cellular Automata Machines, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1987, s.259, ISBN 0-262-20060-0
12. Sawicki A.: Automaty komórkowe i ich zastosowanie, II Ogólnopolska Konferencja Twórców Gier Komputerowych, Siedlce, 2005, www.gamedev.pl/articles.php?x=view&id=4&print=1 wrzesień 2010

TEXTURES FORMATION IN TWO-DIMENSIONAL CELLULAR AUTOMATA

Key-words: texture, cellular automata, computer graphics

In this text a textures classification and process of their generating in two-dimensional cellular automata is described. Due to their parallel architecture, cellular automata are good tools in a computer graphic creation and pictures processing. Different types of textures were obtained, based on the computer simulation of binary cellular automata.