

Zastosowanie strumienia cząstek w modelowaniu wirtualnych struktur erozyjnych

Korneliusz Warszawski

Streszczenie: W artykule opisano metodę wykorzystania systemów cząstek do modelowania struktur, struktur powstałych przez długotrwałe oddziaływanie procesów erozyjnych. W przeciwieństwie do skomplikowanych i kosztownych obliczeniowo metod, w których wykorzystuje się dynamikę płynów, w proponowanej metodzie nie skupiono się na samym procesie erozji i jego powolnym wpływie na zmiany ukształtowania terenu, ale na samym końcowym efekcie tych zmian. Bazowymi modelami są ukształtowania terenu opisane przez mapę wysokościową, rozszerzoną o dodatkową informację na temat podatności każdej z jej komórek na proces erozji (mapa twardości). Proces ten wywołany jest w wyniku kolizji poruszających się w strumieniu cząstek z powierzchnią wirtualnego terenu, a gradacja wysokości zależy od masy cząstki, odległości danego obszaru krajobrazu od bezpośredniego punktu kolizji oraz jego podatności na modyfikację. Dzięki niskiej złożoności obliczeniowej metody znajdującej się w klasie $O(n)$, czas jej pracy zbliżony jest do rzeczywistego.

Słowa kluczowe: systemy cząstek, modelowanie ukształtowania terenu, struktury erozyjne, rzeczywistość wirtualna.

1. WPROWADZENIE

Zapotrzebowanie na coraz wydajniejsze algorytmy modelowania ukształtowania terenu wzrasta w ostatnich latach dzięki większemu wykorzystaniu systemów rzeczywistości wirtualnej (VR, ang. *Virtual Reality*) oraz rzeczywistości rozszerzonej (AR, ang. *Augmented Reality*) [15]. Postęp technologiczny umożliwił zastosowanie elementów VR w wojskowych systemach szkoleniowych [2], architekturze, rekonstrukcji zabytków [19] oraz w kinematografii i produkcji gier video.

Wydajne obliczeniowo algorytmy modelujące ukształtowanie terenu bazują na metodach fraktalnych. Najczęściej wykorzystywane metody są oparte na algorytmie przemieszczenia punktu środkowego [7][8] w wariantach różniących się doбором punktów sąsiednich, przy wyliczaniu przemieszczenia danego węzła mapy wysokościowej [6][9]. Wygenerowana za ich pomocą powierzchnia jest pozbawiona takich struktur jak koryta rzek czy kaniony, co znacznie wpływa na pogorszenie poziomu realizmu wirtualnego krajobrazu. Dopiero kolejne etapy modelowania mogą koncentrować się wyłącznie na procesach erozyjnych (np. wywołanych opadami deszczu lub wysoką temperaturą) [10].

Model struktur erozyjnych, w których wykorzystuje się metody bazujące na dynamice płynów, np. CFD (ang. *Computational Fluid Dynamics*), symulujących zachowanie cieczy za pomocą równań fizycznych, umożliwia bardzo dokładne odwzorowanie takich struktur [4][14]. Wadą takich metod, ze względu na czas działania jest olbrzymi koszt obliczeniowy zastosowanych algorytmów, co wyklucza je z możliwości wykorzystania w systemach czasu rzeczywistego oraz w komercyjnych rozwiązaniach, w który istnieje potrzeba modelowania większej liczby powierzchni w stosunkowo krótkim czasie.

2. STRUMIEŃ CZĄSTEK

Klasycznym obszarem wykorzystania systemu cząstek jest modelowanie w czasie rzeczywistym obiektów o nieregularnym, dynamicznym kształcie tj. dym, mgła, chmury, ogień czy eksplozje [7][11][12][13]. Systemy cząstek są również wykorzystywane w modelowaniu roślinności [11][12] oraz specyficznych modelach symulujących przepływ mas wody [3]. Wydajność oraz elastyczność modelowania za pomocą systemu cząstek umożliwia również zastosowanie go jako alternatywy dla modelujących powierzchnię algorytmów fraktalnych [16][17].

Podobnie jak w klasycznym przypadku również w syntezie strumienia erozyjnego wykorzystuje się system cząstek. Tak jak w klasycznym przypadku, również proponowanej metodzie składa się on z emitera oraz kolekcji sparametryzowanych cząstek. Pozycje początkowe kolejno wprowadzanych cząstek są określone wewnątrz przestrzeni wyznaczonej przez okno emisji emitera. Ponadto rozmiar tego okna określa bazową wielkość strumienia, umożliwiając precyzyjne określenie obszaru jaki będzie poddawany modyfikacjom (erozji). Również każda cząstka w kolekcji zdefiniowana jest przez zestaw parametrów określających jej zachowanie w wirtualnym środowisku (m.in. pozycja, kąt kierunkowy, prędkość) oraz siłę z jaką wpływa na zmiany ukształtowania terenu (masa cząstki).

3. RUCH CZĄSTEK

Symulowanie procesu powstawania struktur erozyjnych z wykorzystaniem cząstek wymaga dla nich

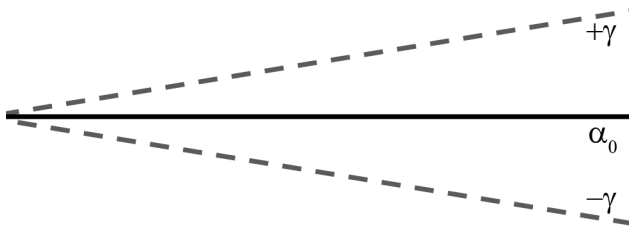
określenia modelu poruszania się w taki sposób, aby uwzględnić twardość struktury.

Z chwilą umieszczenia cząstki w wirtualnym środowisku określone zostają jej podstawowe parametry. Bazowy kąt kierunkowy (α) określa kierunek poruszania się cząstki w przestrzeni. Kąt ten jest uzależniony od prędkości (v) danej cząstki, maksymalnej wartości kąta (α_{max}) oraz maksymalnej prędkości (v_{max}) jaką cząstka może osiągnąć w danym wirtualnym środowisku.

$$\alpha = \alpha_{max} - \frac{v * \alpha_{max}}{v_{max}} \quad (1)$$

Kolizja cząstek z ukształtowaniem terenu wymusza zmianę aktualnego kąta kierunkowego strumienia (α_n) na wartość odpowiadającą tej, przy której struktura terenu ma najmniejszą twardość. Wyznaczenie nowej wartości dla tego kąta w kierunku, w którym teren jest najbardziej podatny na erozję odbywa się przy zachowaniu zależności (1). Ponadto badanym obszarem terenu pod względem twardości jest fragment ograniczony przez kąt ($\pm\gamma$) w stosunku do aktualnego kąta kierunkowego (α_0) cząstki.

$$\alpha_n \in [\alpha_0 - \gamma, \alpha_0 + \gamma] \quad (2)$$



Rys. 1. Zakres kąta kierunkowego cząstki

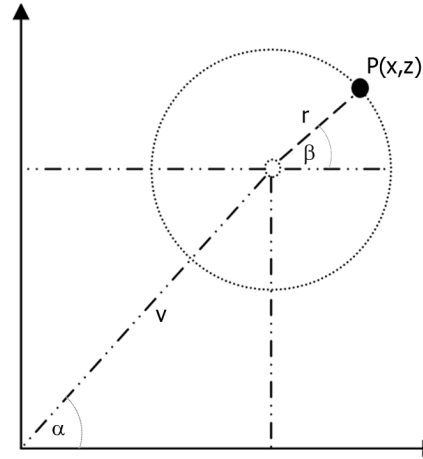
Zastosowana struktura danych opisująca dane ukształtowanie terenu nie jest w pełni obiektem przestrzennym. Wykorzystanie tego faktu umożliwia wyliczanie kolejnej pozycji cząstki (P) w wirtualnym środowisku na podstawie równania definiującego pozycję punktu na okręgu. Okrąg ten definiują: punkt środkowy, odpowiadający aktualnym koordynatom cząstki (x_i, z_i), promień, określony przez prędkość danej cząstki (v) oraz kąt, ustalony przez kąt kierunkowy tej cząstki (α).

$$P(x_i, z_i) = \begin{cases} x_i = x_{i-1} + v * \cos(\alpha) \\ z_i = z_{i-1} + v * \sin(\alpha) \end{cases} \quad (3)$$

Wykorzystanie równań z przestrzeni dwuwymiarowej jako alternatywy dla równań z przestrzeni trójwymiarowej przyspiesza cały proces modelowania terenu i jest podyktowany optymalizacją metody pod kątem systemów czasu rzeczywistego.

Ruch liniowy cząstki określony we wzorze (3) można poddać drobnej modyfikacji, która wprowadzi cząstkę w ruch obrotowy. Wprowadzone modyfikacje uwzględniają przesunięcie punktu obrotowego oraz prędkości obrotowej (r) i kąta obrotowego danej cząstki (β).

$$P(x_i, z_i) = \begin{cases} x_i = x_{i-1} + v * \cos(\alpha) + r * \cos(\beta) \\ z_i = z_{i-1} + v * \sin(\alpha) + r * \sin(\beta) \end{cases} \quad (4)$$



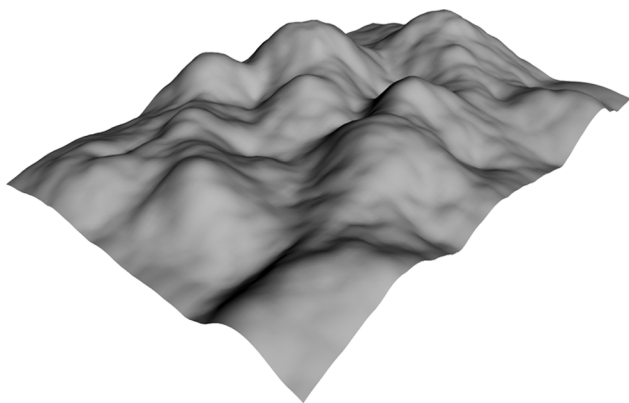
Rys. 2. Geometryczna interpretacja pozycji cząstki w ruchu obrotowym

4. MODEL UKSZTAŁTOWANIA TERENU

Klasyyczna mapa wysokościowa odzwierciedlająca wirtualne ukształtowanie terenu nie przechowuje informacji o jego odporności na procesy erozyjne. Rozwiązaniem tego problemu może być zastosowanie wielowarstwowych map wysokości [1][18]. W proponowanym tutaj rozwiązaniu wprowadzono do struktury przechowującej dane o ukształtowaniu terenu, dodatkową informację, która określa wartość współczynnika twardości.

Ukształtowanie wirtualnego krajobrazu opisane jest przez dwie macierze. Pierwszą jest klasyczna mapa wysokości (H), której elementami są punkty wysokościowe terenu. Drugą jest mapa twardości (D), przechowującą informację o podatności danego fragmentu terenu na procesy erozyjne. Koordynaty terenu określone są przez odpowiadające sobie kolumny (m) oraz wiersze (n) tych map. Obie macierze są typu $m \times n$, gdzie $m, n \in \mathbb{N}$ oraz $H, D \in \mathbb{R}^2$.

$$\begin{aligned} H &: \{1, 2, \dots, m\} \times \{1, 2, \dots, n\} \in \mathbb{R}^2 \\ D &: \{1, 2, \dots, m\} \times \{1, 2, \dots, n\} \in \mathbb{R}^2 \end{aligned} \quad (5)$$



Rys.3. Graficzna prezentacja mapy wysokościowej

Informacje dla obydwu macierzy mogą zostać zaimportowane z danych geologicznych rzeczywistej struktury np. na podstawie danych GIS (ang. *Geographic Information System*) lub DEM (ang. *Digital Elevation Model*). W przypadku modelu wykorzystywanego w systemach VR, informacje o położeniu danego punktu mogą być wygenerowane za pomocą dostępnych algorytmów generujących wartości na mapach wysokościowych [5][8][9][16]. Podobnie, uzyskanie danych na temat twardości wirtualnej struktury jest możliwe za pomocą takich algorytmów, z zastrzeżeniem, że wyjściowe dane muszą być poddane odpowiedniej obróbce, uwzględniającej różne materiały geologiczne (klasę twardości) występujące w danej strukturze krajobrazu [16][18].



Rys.4. Graficzna prezentacja mapy twardości

5. PROCES EROZJI STRUKTURY TERENU

Modyfikacja ukształtowania terenu następuje w przypadku wystąpienia kolizji cząstki z jego powierzchnią. Wpływ danej cząstki na zakres zmian zależy od jej masy oraz podatności danego obszaru terenu na modyfikację (erozję). Współczynnik określony w danym obszarze mapy twardości, jest bezpośrednio powiązany z określonym przez te same koordynaty obszarem mapy wysokości.

Wartość bazowego współczynnik gradacji terenu ($\Delta h_{x,z}$) osiąga swoje maksimum w punkcie bezpośredniej kolizji (x_0, z_0) i maleje wraz ze wzrostem odległości od tego punktu. Promień obszaru wpływu danej cząstki (λ) jest proporcjonalnie związany z jej masą. Uznaje się,

że dany fragment ukształtowania terenu wyznaczony przez współrzędne (x, z) leży poza obszarem, na który ma wpływ dana cząstka, gdy współczynnik gradacji przyjmuje wartości ujemne.

$$\Delta h_{x,z} = \sqrt{\lambda - ((x - x_0) + (z - z_0))} \quad (6)$$

Nowa wartość wysokości danego fragmentu ukształtowania terenu ($h_{x,z}$) jest mniejsza od aktualnej wysokości ($h_{x,z}^0$) o wartość uwzględniającą zależność (6) oraz współczynnik twardości ($d_{x,z}$).

$$h_{x,z} = h_{x,z}^0 - \Delta h_{x,z} * d_{x,z} \quad (7)$$

Po wykonaniu deformacji terenu cząstka wraca do kolekcji, z której ponownie jest umieszczana przez emiter w wirtualnym środowisku.

6. PODSUMOWANIE

W każdym złożonym algorytmie dokładne określenie jego złożoności obliczeniowej jest zadaniem bardzo trudnym. Jednak dzięki wyselekcjonowaniu procesów dominujących możliwym staje się oszacowanie tej wartości. W proponowanym rozwiązaniu procesem dominującym jest ruch cząstek w strumieniu. Wyselekcjonowanie operacji porównania i przypisania występujących w tym procesie umożliwia wyliczenie szacunkowej złożoności obliczeniowej, która dla tej metody wynosi $6n + 4 \rightarrow O(n)$ [18].

Dotychczas uzyskane wyniki symulacji z zaadaptowaniem systemu cząstek na potrzeby modelowania struktur erozyjnych dla obiektów przechowywanych przez mapę wysokości sugerują, że jest możliwe utrzymanie złożoności obliczeniowej algorytmu w klasie $O(n)$ oraz zastosowanie proponowanej metody w symulacjach czasu rzeczywistego, pozwalając na generowanie dużej liczby takich struktur w stosunkowo krótkim czasie. Jednakże, ostatecznym celem badań jest wykorzystanie tej metody do modelowania struktur krajobrazowych, których nie można przedstawić za pomocą mapy wysokości (np. jaskinie, klify, półki skalne), ponieważ ich geometria nie zachowuje topologii sferycznej. Dalsze prace będą głównie koncentrować się na tym zagadnieniu oraz zachowaniu możliwie niskiej złożoności obliczeniowej algorytmu.

W perspektywie dalszych badań zastosowanie metody opartej na systemie cząstek do generowania w pełni trójwymiarowych modeli ukształtowania terenu może przyczynić się do poprawienia wizualizacji otaczającej scenografii w wirtualnych środowiskach.

LITERATURA

- [1] Benes B., Forsbach R., „Layered data representation for visual simulation of terrain erosion”, *In proceedings of the 17th Spring Conference on Computer Graphics (SCCG)*, Budmerice, Słowacja, 2001, ss. 80-86.
- [2] Bonk C.J., Dennen V.P. „Massive multiplayer online gaming: a research framework for military training and education”, *Technical report for Office of the Under Secretary of Defense for Personnel and Readiness*, USA, marzec 2005.
- [3] Chae D.J., Park J.H. „An active model of water movement by activity based method for simulation of the virtual environment”, *International Journal of Information Technology*, 2006, tom 12, nr 5, ss. 80-89.
- [4] Foster N., Fedkiw R. „Practical animation of liquids”, *In proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH)*, Los Angeles, USA, 2001, ss. 23-30.
- [5] Fournier A., Fussell D., Carpenter L. „Computer rendering of stochastic models”, *Communications of the ACM*, 1982, tom 25, nr 6, ss. 371-384.
- [6] Koh E-K, Hearn D.D. „Fast generation and surface structuring methods for terrain and other natural phenomena”, *Computer Graphics Forum*, tom 11, nr. 3, 1992, ss. 169-180.
- [7] Kolb A., Latta L., Rezk-Salama C. „Hardware-based simulation and collision detection for large particle systems”, *In proceedings of the Eurographics / ACM SIGGRAPH Graphics Hardware Workshop*, Grenoble, Francja, 2004, ss. 123-131.
- [8] Mandelbrot, B.B., „Fractal landscapes without creases and with rivers”, *The Science of Fractal Images*, Nowy Jork, Springer-Verlag, 1988, ss. 243-260.
- [9] Musgrave F.K., Kolb C.E., Mace R.S. „The synthesis and rendering of eroded fractal terrains”, *In proceedings of the 16th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH)*, Boston, USA, 1989, ss. 41-50.
- [10] Nagashima K., „Computer generation of eroded valley and mountain terrains”, *The Visual Computer*, 1997, tom 13, nr 9-10, ss. 456-464.
- [11] Reeves W.T. „Particle Systems - A technique for modelling a class of fuzzy objects”, *In proceedings of the 10th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH)*, Detroit, USA, 1983, ss. 359-375.
- [12] Reeves W.T., Blau R., “Approximate and probabilistic algorithms for shading and rendering structured particle systems.” *In proceedings of the 12th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH)*, San Francisco, USA, 1985, ss. 313-322.
- [13] Sims, K. „Particle animation and rendering using data parallel computation”, *In proceedings of the 17th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH)*, Dallas, USA, 1990, ss. 405-413.
- [14] Stam J. „Stable fluids”. *In proceedings of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH)*, Los Angeles, USA, 1999, ss. 121-128.
- [15] Stone R.J., „Haptic feedback: A brief history from telepresence to virtual reality”, *In proceedings of the 1st International Workshop on Haptic Human-Computer Interaction*, Glasgow, Anglia, 2000, ss. 1-7.
- [16] Warszawski K., Nikiel S. „A proposition of particle system-based technique for automated terrain surface modeling”, *In proceedings of the 5th International North American Conference on Intelligent Games and Simulation (Game On-NA)*, Atlanta, USA, 2009, ss. 17-19.
- [17] Warszawski K. „Ground from smoke: Using particle systems for terrain modeling in C#”, *Game Developer Magazine*, USA, 2009, tom 16, nr 3, ss. 15-21.
- [18] Warszawski K., Zawadzki T. „Wstęp do komputerowego generowania koryta rzeki z wykorzystaniem systemu cząstek na potrzeby modelowania wirtualnego środowiska”, *Pomiary, Automatyka, Kontrola*, 2009, nr 7, ss. 464-466.
- [19] Zawadzki T., Warszawski K., „Virtual reconstruction Zielona Góra old town using VRML”, *In proceedings of the 7th International PhD Student's Workshop Control and Information Technology (IWCIT)*, Gliwice, Polska, 2008, ss. 227-232.



mgr inż. Korneliusz Warszawski
 Uniwersytet Zielonogórski
 Wydział Elektrotechniki, Informatyki
 i Telekomunikacji

ul. Podgórna 50
 65-246 Zielona Góra
 e-mail: k.warszawski@weit.uz.zgora.pl