

**УДК 004.925**

**О.В. РОМАНЮК, О.Н. РОМАНЮК, Д.Л. БЛАГОДИР**

Вінницький національний технічний університет

**Г.Г. СЕРГЄЄВ**

Севастопольський національний технічний університет

**ІТЕРАЦІЙНИЙ МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ РЕАЛІСТИЧНОСТІ  
ФОРМУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ РЕЛЬЄФНИХ ПОВЕРХОНЬ  
З УРАХУВАННЯМ ПЕРЕКРИТТЯ НЕРІВНОСТЕЙ**

Запропоновано ітераційний метод підвищення реалістичності формування зображень рельєфних поверхонь з урахуванням перекриття нерівностей, який базується на послідовному уточненні зміщених текстурних координат і для вибору кроку трасування видового променя використовує нові параметри, які залежать від значення висоти поверхні, що імітується, та z-координати вектора до спостерігача у поточній точці.

There had been proposed iterative method of improving the realism of relief surface image synthesis with parallax effect which was based on iterative qualifying offset texture coordinates. For choosing the step of tracing the view vector it uses new parameters, which depend on the height value of simulation surface and z-coordinate of the view vector in the current point. Ключові слова: імітація нерівностей, карта висот, карта нормалей, паралакс-меппінг, текстурні координати.

Ключові слова: формування зображення, перекриття нерівностей.

**Вступ**

Сьогодні у комп'ютерній графіці найбільш поширеними методами формування реалістичних зображень рельєфних поверхонь є методи імітації нерівностей, які не змінюють скелетну модель об'єкта, а лише створюють ілюзію нерівностей. Імітація нерівностей на поверхні полягає у збуренні векторів нормалей до точок полігона [1-5], адже для нерівних поверхонь вектори нормалі в кожній точці є різними.

До найбільш поширених методів імітації нерівностей відносять методи нормал-меппінгу [2, 3] та паралакс-меппінгу [4-10].

Метод нормал-меппінгу [2, 3] використовує наперед прораховані значення збурених векторів нормалей  $\vec{N}'$ , що зчитуються зі спеціальної карти нормалей. В подальшому отримані збурені вектори нормалей використовуються у моделі освітлення Бліна з ламбертовим дифузним відбиттям [4, 5] для отримання результуючого значення інтенсивності кольору кожного пікселя

$$I = I_a k_a + \sum_i I_{li} \cdot (k_s \cdot \max(0, \vec{H}_i \cdot \vec{N}'))^n + k_d \cdot \max(0, \vec{L}_i \cdot \vec{N}')$$

де  $I_a$  – інтенсивність розсіяного світла (часто зчитується з текстур),  $k_a$  – коефіцієнт дифузного відбиття розсіяного світла ( $0 \leq k_a \leq 1$ ),  $I_{li}$  – інтенсивність кольору  $i$ -го джерела світла,  $k_s$  – коефіцієнт спекулярного відбиття,  $\cos^n \gamma_i = (\vec{H}_i \cdot \vec{N}')$  – дистрибутивна функція відбивної здатності (ДФВЗ), яка дозволяє описувати відблиски на поверхні,  $\gamma_i$  – кут між вектором нормалі  $\vec{N}'$  до поверхні і вектором  $\vec{H}_i$ ,  $n$  – коефіцієнт спекулярності поверхні,  $k_d$  – коефіцієнт дифузного відбиття.

Цей метод дозволяє сформуванню реалістичні зображення рельєфних поверхонь у випадку, коли полігон розміщений майже перпендикулярно до видового вектора. Якщо кут зору є дуже гострим, то ілюзія нерівностей зникає і полігон здається плоским. Цей недолік дозволяють подолати методи, які враховують перекриття нерівностей, – методи паралакс-меппінгу [4-10]. Згідно з цим методом об'ємність нерівностей імітується за рахунок зміщення текстурних координат, які розраховуються для зчитування збурених векторів нормалей та базового кольору пікселя, так, що під різними кутами поверхня виглядає опуклою, хоча в реальності вона залишається плоскою.

Для досягнення реалістичного результату необхідно знаходити точку перетину видового променя з імітованою поверхнею. Однак методи, які дозволяють гарантовано знаходити точку перетину вимагають значних попіксельних обчислювальних витрат, що обмежує їх використання у засобах комп'ютерної графіки. Тому великого поширення набули методи, які апроксимують ефект паралаксу, оскільки характеризуються незначними обчислювальними витратами, але все ще можуть призводити до появи візуальних артефактів

при кутах зору, близьких до нуля.

Тому актуальним є питання підвищення реалістичності формування зображень рельєфних поверхонь при зменшенні обчислювальної складності.

### Аналіз методів паралакс-мепінгу

Потужною альтернативою методу нормал-мепінгу, яка дає змогу сформувати ще більш реалістичне відображення 3D поверхонь без великих втрат продуктивності, є метод паралакс-мепінгу [4-10]. Згідно з методом паралакс-мепінгу при накладанні текстур змінюють текстурні координати так, що поверхня під різними кутами виглядає опуклою, хоча в реальності вона залишається плоскою і не змінюється. Суть методу полягає в тому, що знаходять і використовують текстурні координати тієї точки поверхні, де видовий вектор перетинає уявну рельєфну поверхню.

Метод паралакс-мепінгу, запропонований Т. Канеко [5] (рис. 1), для модифікації текстурних координат використовує формулу

$$(u', v') = (u, v) + h(u, v) \cdot \left( \frac{V_x}{V_z}, \frac{V_y}{V_z} \right), \quad (1)$$

де  $(u', v')$  – змінені текстурні координати,  $(u, v)$  – початкові текстурні координати,  $h(u, v)$  – значення висоти в оригінальній точці, яке зчитується з карти висот,  $(V_x, V_y, V_z)$  – координати вектора до спостерігача  $\vec{V}$  з оригінальної точки поверхні.

Метод ефективний для карт висот з невеликою різницею значень, оскільки різкі зміни нерівності обробляються методом некоректно – з'являються різні артефакти, розмитість текстур і т. п. Оскільки метод базується на припущенні, що висота у зміщеній точці є такою ж, як і в оригінальній точці, то при малих кутах зору зміщення стає занадто великим. У зв'язку з цим було розроблено декілька модифікованих методів для поліпшення техніки паралакс-мепінгу.

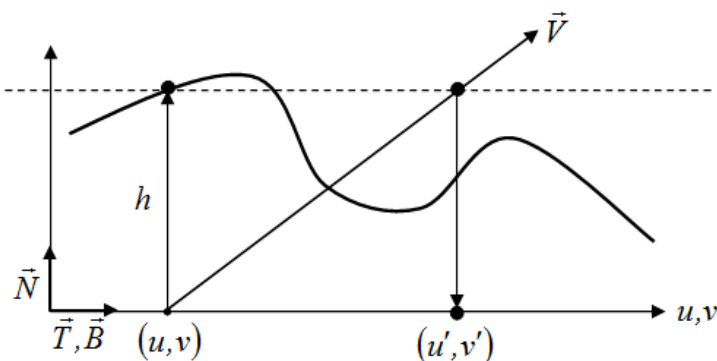


Рис. 1. Визначення  $(u', v')$  за методом паралакс-мепінгу за Т. Канеко

У 2004 році Т. Велш запропонував метод паралакс-мепінгу з обмеженням зміщення [6], ідея якого полягає в тому, щоб обмежити зміщення модифікованих координат текстури  $(u', v')$  таким чином, щоб воно ніколи не перевищувало висоту в оригінальній точці  $(u, v)$  (рис. 2). Тоді змінені текстурні координати розраховуються так

$$(u', v') = (u, v) + h(u, v) \cdot \left( \frac{V_x}{V_z}, \frac{V_y}{V_z} \right). \quad (2)$$

Формула (2) простіша з обчислювальної точки зору порівняно з формулою (1), оскільки в ній вилучена операція ділення. Однак таке спрощення може призвести до ефекту „плавання” текстури [4, 7].

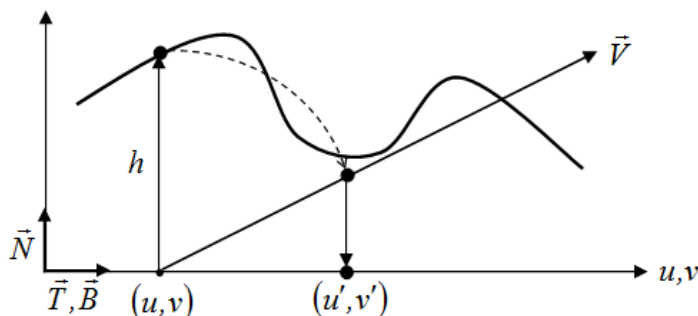


Рис. 2. Визначення  $(u', v')$  за методом паралакс-мепінгу з обмеженням зміщення

У роботі [7] запропоновано метод паралакс-меппінгу, який для визначення зміщення текстурної координати використовує формулу

$$d_i = \sqrt{(h_i/\theta)^2 - h_i^2},$$

де  $d_i$  – значення, яке використовується для зміщення текстурних координат,  $\theta$  – кут між незбуреним вектором нормалі до базової поверхні та вектором  $\vec{V}$  у поточній точці поверхні,  $h_i$  – значення висоти у поточній точці поверхні. Недоліком методу є необхідність виконувати трудомісткі операції ділення, квадратного кореня та тригонометричної операції  $\arccos$  для визначення кута  $\theta$ , що обмежує його використання для формування реалістичних зображень у режимі реального часу.

Недоліком розглянутих методів паралакс-меппінгу є те, що вони не забезпечують знаходження точки перетину видового променя з імітованою поверхнею, а тому лише апроксимують ефект паралаксу. До методів, які гарантовано знаходять найближчу до спостерігача точку перетину видового вектора з імітованою поверхнею відносять [8-10]. Однак їх велика обчислювальна складність зумовлює необхідність пошуку простіших методів, які дозволяють знаходити точку перетину без значних витрат часу.

### Постановка задачі

Метою роботи є розробка нового методу формування зображень рельєфних поверхонь з урахуванням перекриття нерівностей, який, на відміну від відомих, забезпечував би знаходження точки перетину видового вектора з імітованою поверхнею та характеризувався меншою обчислювальною складністю.

### Ітераційний метод підвищення реалістичності формування зображень рельєфних поверхонь з урахуванням перекриття нерівностей

Найбільш простим з обчислювальної точки зору та широко розповсюдженим є метод паралакс-меппінгу з обмеженням зміщення [6], але він не придатний для великих кутів зору та може призводити до ефекту плаваючої текстури [4, 7].

З метою підвищення реалістичності та спрощення розрахунків запропоновано ітераційний метод паралакс-меппінгу, який базується на послідовному уточненні зміщених текстурних координат і для вибору кроку трасування видового променя використовує нові параметри, які залежать від значення висоти поверхні, що імітується, та z-координати вектора до спостерігача у поточній точці. Принцип дії запропонованого методу наведено на рис. 3.

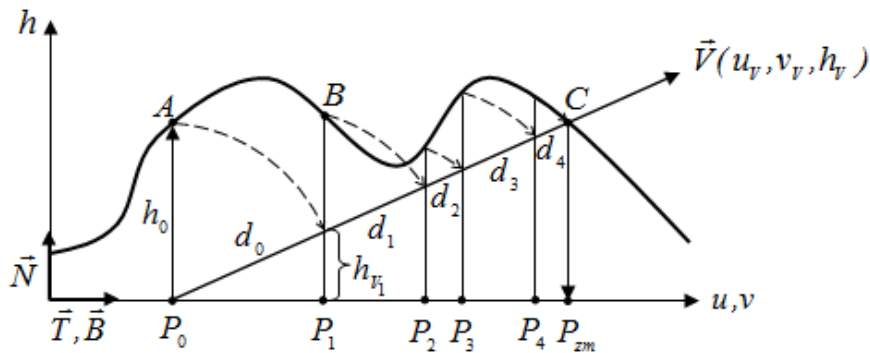


Рис. 3. Вибір кроку трасування вектора  $\vec{V}$

За умовою традиційного паралакс-меппінгу нормалізований вектор до спостерігача  $\vec{V}(u_v, v_v, h_v)$  і текстурні координати точки  $P(u, v)$  трансформовано у дотичний простір. Нехай  $P_0(u_0, v_0)$  – точка полігона, для якої потрібно знайти зміщені текстурні координати  $(u_1, v_1)$ . Згідно з методом [6] зміщені текстурні координати розраховуються так

$$P_1(u_1, v_1) = P_0(u_0, v_0) + h_0 \cdot \vec{V}(u_v, v_v). \quad (3)$$

При цьому буде знайдена точка B (рис. 3), яка не є точкою перетину вектора  $\vec{V}$  і поверхні, що імітується. Для знаходження точки перетину необхідно продовжити рух уздовж вектора  $\vec{V}$ .

У формулі (3) значення  $h_0$  можна подати як  $h_0 - h_{v_0}$ , оскільки  $h_{v_0} = 0$ . Тоді для другої ітерації формулу (3) запишемо так

$$P_2(u_2, v_2) = P_1(u_1, v_1) + (h_1 - h_{v_1}) \cdot \vec{V}(u_v, v_v).$$

У загальній формі формули запропонованого методу ітераційного паралакс-меппінгу мають вигляд

$$P_{i+1}(u_{i+1}, v_{i+1}) = P_i(u_i, v_i) + d_i \cdot \vec{V}(u_V, v_V), \quad (4)$$

$$d_i = h_i - h_{V_i}, \quad h_{V_i} = h_{V_{i-1}} + d_{i-1} h_V. \quad (5)$$

Ітерації виконуються до тих пір, поки не буде справджуватись рівність  $h_i - h_{V_i} = 0$ . Для зменшення кількості ітерацій можна ввести деяке порогове значення, при досягненні якого ітераційний процес завершується.

Якщо в результаті виконання чергової ітерації значення  $h_{V_i}$  стає більшим, ніж  $h_i$ , то крокування уздовж вектора  $\vec{V}$  відбувається у зворотному напрямі (рис. 4).

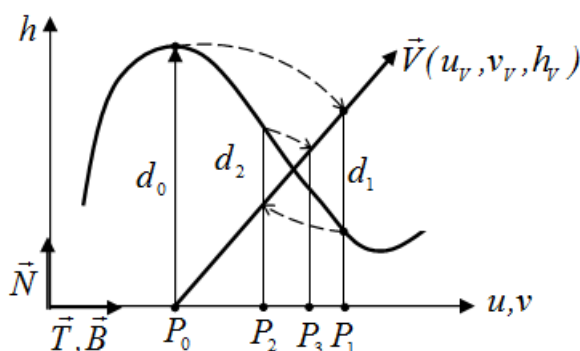


Рис. 4. Кроки уздовж вектора  $\vec{V}$  у двох напрямках

Розрахунок однієї ітерації за формулами (4) і (5) вимагає лише 3 операцій множення та 4 операцій додавання.

Приклади зображення, сформовані із застосуванням запропонованого методу та традиційного методу паралакс-меппінгу, наведено на рис. 5.

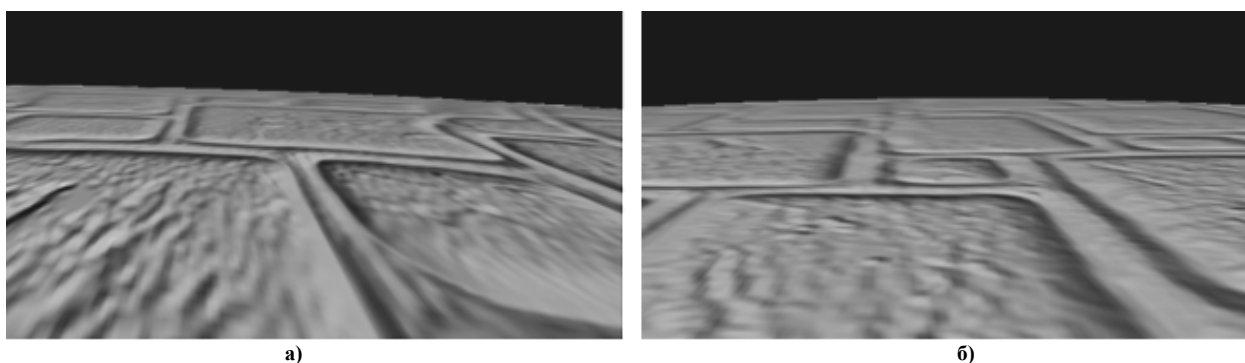


Рис. 5. Приклади формування зображень рельєфних поверхонь: а) з використанням запропонованого методу; б) із застосуванням традиційного методу паралакс-меппінгу

Для оцінки підвищення реалістичності зображень, сформованих із застосуванням розробленого методу паралакс-меппінгу, було проведено анкетне опитування 40 осіб. Узгодженість думок експертів була оцінена за коефіцієнтом конкордації, розрахованим за формулою Кендала [11]. Значення коефіцієнта становило 0,708, що свідчить про сильну узгодженість думок експертів стосовно того, що запропонований метод паралакс-меппінгу забезпечує формування реалістичніших зображень порівняно із застосуванням традиційного методу паралакс-меппінгу.

### Висновки

У роботі запропоновано ітераційний метод підвищення реалістичності формування зображень рельєфних поверхонь, в якому вперше для вибору кроку трасування видового променя використано нові параметри, які залежать від значення висоти поверхні, що імітується, та z-координати вектора до спостерігача у поточній точці. На відміну від найбільш поширеного методу паралакс-меппінгу з обмеженням зміщення, запропонований метод забезпечує знаходження точки перетину вектора до спостерігача з поверхнею, що імітується, хоча не гарантує, що ця точка буде найближчою до камери точкою перетину у випадку, коли вектор до спостерігача перетинає поверхню декілька разів. На відміну від методів, що використовують складні алгоритми трасування променів, запропонований метод використовує лише операції множення та додавання, що спрощує апаратну реалізацію.

Література

1. Blinn J. F. Simulation of wrinkled surfaces / J. F. Blinn // Computer graphics and interactive techniques. – ACM Press, 1978. – P. 286– 292.
2. Peercy M. Efficient bump mapping hardware / M. Peercy, J. Airey, B. Cabral // SIGGRAPH'97. – NY.: ACM, 1997. – P. 303– 306. – ISBN 0-89791-896-7.
3. Shirley P. Fundamentals of computer graphics / P. Shirley, S. Marschner. – AK Peters, 2009. – 752 p. – ISBN 13: 978-1568-8146-98.
4. Szirmay-Kalos L. Displacement Mapping on the GPU State of the Art / L. Szirmay-Kalos, T. Umenhoffer // Computer Graphics Forum. – 2008. – Vol. 27. – Issue 6. – P. 1467– 1492. – ISSN 1467-8659.
5. Kaneko T. Detailed shape representation with parallax mapping / T. Kaneko, T. Kakahei, M. Inami, N. Kawakami, Y. Yanagida, T. Maeda, S. Tachi // Artificial Reality and Telexistence: International Conference, 5-7 December 2001: Proceedings. – Tokyo, 2001. – P. 205– 208.
6. Welsh T. Parallax Mapping with Offset Limiting: A Per-Pixel Approximation of Uneven Surfaces / T. Welsh // Tech. rep., Infiscape Corporation. – 2004. – 9 p.
7. Gao R. Parallax Effect of rendering on the Surface with Small Detail / R. Gao, B. Yin, D. Kong, H. Si, Y. Zhang // Image and Signal Processing. – 2008. – P. 594– 597. – ISSN 978-0-7695-3119-9.
8. Dummer J. Cone Step Mapping: An Interactive Ray-Heightfield Intersection Algorithm [Електронний ресурс] / J. Dummer // Technical Report. – 2006. – Режим доступу: <http://www.lonesock.net/files/ConeStepMapping.pdf>.
9. Hart J. C. Sphere tracing: Simple robust antialiased rendering of distance-based implicit surfaces / J. C. Hart // In SIGGRAPH 93 Course Notes: Modeling, Visualizing, and Animating Implicit Surfaces. – 1993. – P. 1– 11.
10. Tatarchuk N. Dynamic parallax occlusion mapping with approximate soft shadows / N. Tatarchuk // Symposium on Interactive 3D graphics and games. – ACM Press, 2006. – P.63– 69. – ISBN: 1-595-9329-5-X.
11. Корн Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1974. – 830 с.

Надійшла до редакції  
8.5.2012 р.

УДК 681.324. 004.45

**В.Д. РУДИК, В.Д. ТРОМСЮК**

Вінницький національний технічний університет

**ПРОЕКТУВАННЯ НА ПАІС В СЕРЕДОВИЩІ ANADIGM DESIGNER2**

В статті розглянута можливість проектування компонентів аналогової обробки сигналів на основі ПАІС в середовища Anadigm Designer2. Наведена інформація про додаткові можливості середовища. Показані результати проектування та оптимізації.

In this article the possibility of designing analog signal processing components based on the FPAA in the environment Anadigm Designer2. The information on the options for protection. Results had shown the design and optimization. Ключові слова: програмовані аналогові мікросхеми, проектування компонентів аналогової обробки, фільтри, програми, результати.

**Вступ**

Вирішити проблему створення сучасних аналогових компонентів у короткі терміни, з мінімальними витратами та прийнятними параметрами дозволяє використання програмованих аналогових інтегральних мікросхем – ПАІС (ФРАА). Проектування пристроїв з використанням ПАІС дозволяє зменшити габарити пристрою, підвищити його надійність, продовжити життєвий цикл виробу, спростити настройку та регулювання [1].

**Синтез пристроїв на ПАІС**

Сучасна аналогова схемотехніка базується на математичній базі, яка дозволяє будь який аналоговий пристрій подати у вигляді сукупності обмеженого набору елементарних ланок [2]. Цей процес, наприклад, для активного фільтра НЧ 2-го порядку, починається зі складання системи рівнянь прямого перетворення його еквівалентної схеми (1), рис. 1 [3]:

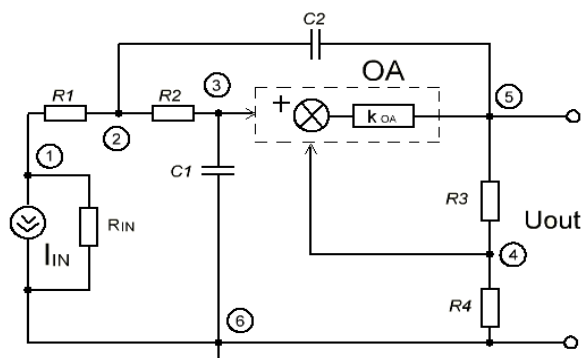


Рис. 1. Схема еквівалентна фільтра нижніх частот