

МЕТОДИ ІМІТАЦІЇ НЕРІВНОСТЕЙ НА ПОВЕРХНІ ГРАФІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ПРИ НАКЛАДАННІ ТЕКСТУР

¹Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто основні методи, що використовуються для імітації рельєфності графічного об'єкта при накладанні текстур.

Ключові слова: накладання текстур, рельєфне текстурування, паралакс-мапінг.

Abstract

The main techniques used to simulate the relief of an object when applying textures are considered in this paper.

Keywords: texture mapping, bump mapping, normal mapping, parallax mapping, steep parallax mapping, parallax occlusion mapping.

Вступ

У сфері комп'ютерної графіки та 3D-візуалізації прагнення до реалістичності – це безперервний процес. Одним з найважливіших аспектів у цьому прагненні є баланс між обчислювальною складністю та візуальною достовірністю відображеної сцени [1]. Відображення нерівностей на поверхні об'єкта є особливо ресурсомістким завданням, яке може бути оптимізоване за допомогою технік рельєфного текстурування.

Методи імітації нерівностей на поверхні при накладанні текстур

У комп'ютерній графіці рельєфне текстурування – це техніка відображення текстур, що використовується для точного та ефективного відображення деталей поверхні тривимірних об'єктів. Серед відомих сьогодні методів рельєфного текстурування можна виділити bump mapping, normal mapping, parallax mapping та його удосконалені різновиди steep parallax та parallax occlusion mapping. Розглянемо кожен із цих методів детальніше.

У 1978 році Джеймс Блінн представив метод виконання так званого *bump mapping* [1, 2, 3]. Особливістю методу є те, що відображення нерівностей на поверхні досягається без геометричних модифікацій об'єкта. Вектори нормалей заданої поверхні збурюються відповідно до карти висот (рисунок 1, а) та використовуються для розрахунків освітлення (наприклад, за допомогою моделі віддзеркалення Фонга), створюючи видимість деталей замість гладкої поверхні (рисунок 1, б).

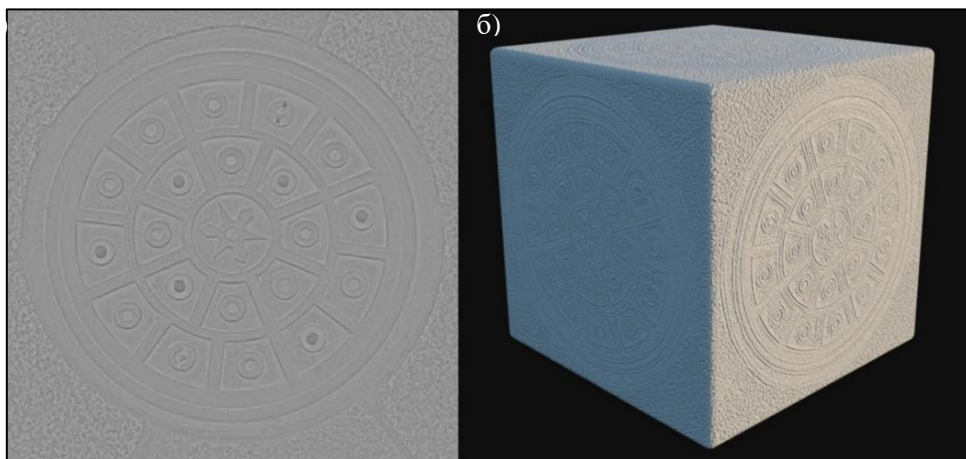


Рисунок 1 – Приклад застосування методу Bump mapping

Головний недолік bump mapping полягає в тому, що напрямки векторів нормалей необхідно обчислювати кожного разу перед нанесенням текстури, що вимагає зайвих обчислювальних витрат. Цю проблему вирішує *normal mapping* – метод, який удосконалює представлення деталей поверхні, кодує нормалі поверхні у карті нормалей.

Normal mapping використовує карти нормалей для відображення рельєфу, де кожен тексель (піксель текстури) містить інформацію про напрямки вектору нормалі поверхні в цій точці [4]. У карті нормалей напрямки нормалі поверхні на кожному текселі кодується за допомогою кольорних значень RGB як зображено на рисунку 2, а. RGB-канали карти текстури представляють компоненти X, Y та Z вектора нормалі поверхні відповідно. Зазвичай, значення кольорів у карті нормалей відображаються в діапазоні $[-1, 1]$ у кожному каналі, де значення 0 означає відсутність відхилення від початкового напрямку нормалі поверхні, а додатні або від'ємні значення вказують на відхилення вздовж відповідної осі. Приклад рельєфного текстурування об'єкта із використанням цього методу зображено на рисунку 2, б.

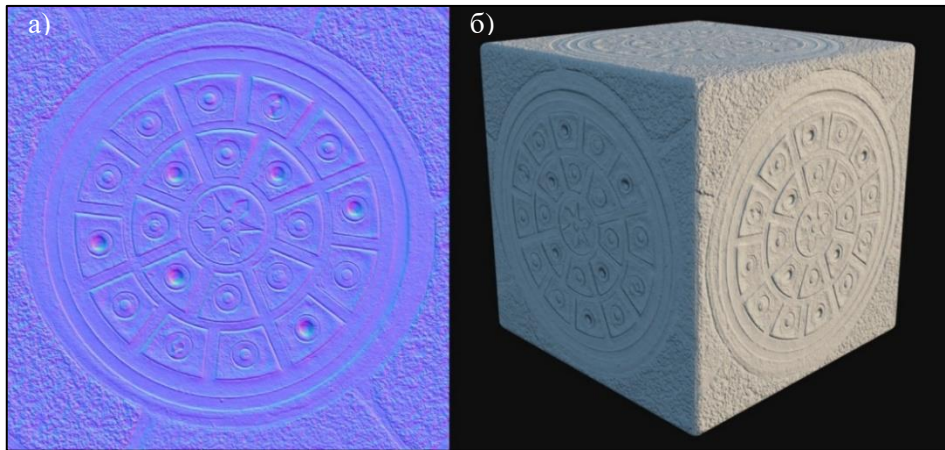


Рисунок 2 – Normal mapping

Оскільки *normal mapping* безпосередньо задає нормалі, воно може точно імітувати складні особливості поверхні і передавати тонкі ефекти освітлення, яких неможливо досягти за допомогою bump mapping. Водночас обидва підходи не позбавлені недоліку у вигляді залежності від місця розташування спостерігача: оскільки силует об'єкта незмінний, ілюзія рельєфності стає непереконливою під певними кутами.

Parallax mapping – це техніка, яка створює ілюзію глибини, імітуючи видиме зміщення текстури поверхні при зміні розташування спостерігача без зміни базової геометрії. Вона полягає у коригуванні координат текстури в заданому пікселі A, щоб імітувати вигляд текстури під дещо іншим кутом B (рисунку 3). При цьому пошук точки B виконується приблизно, оскільки точне знаходження точки перетину вектора спостереження \vec{V} з текстурою є ресурсомістким процесом.

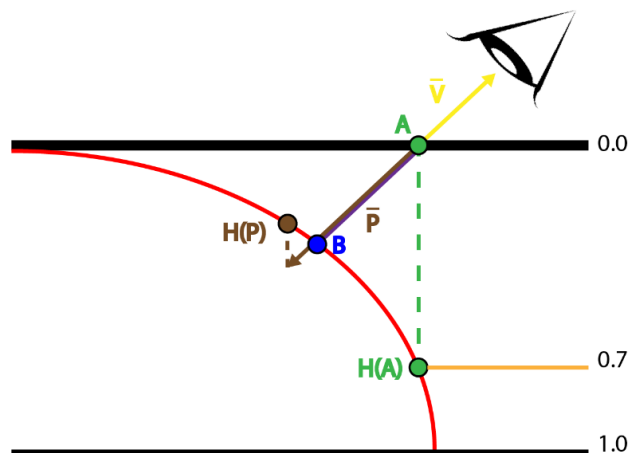


Рисунок 3 – Принцип роботи parallax mapping

Parallax mapping передбачає обчислення вектора \bar{P} шляхом віднімання вектора напрямку спостереження \bar{V} від координат текстури в точці, отриманої з карти глибин (зображення, обернене до карти висот) у точці А. Цей вектор дозволяє отримати скоригований піксель В текстури, який необхідно відобразити спостерігачеві на місці пікселя А.

Важливість цього підходу полягає в його здатності динамічно змінювати координати текстури на основі характеристик поверхні, тим самим створюючи ілюзію глибини. Однак традиційний підхід стикається з проблемами, коли висота поверхні текстури різко змінюється, що призводить до ступінчастості текстури та аліасингу.

Steep parallax mapping – це вдосконалення parallax mapping, яке дозволяє вирішити цю проблему, використовуючи декілька точок для побудови вектора \bar{P} замість однієї, за рахунок чого точність методу підвищується. Принцип роботи steep parallax mapping зображено на рисунку 4.

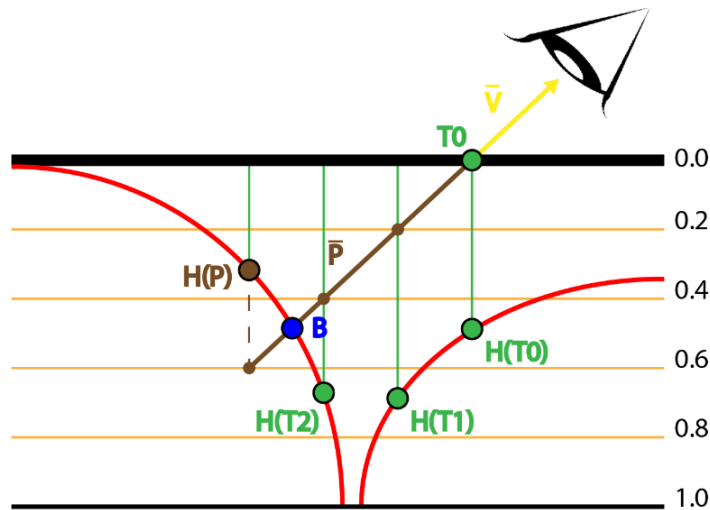


Рисунок 4 – Принцип роботи steep parallax mapping

Ідея цього підходу полягає у тому, що загальний діапазон глибин текстури рівномірно розділяється на декілька шарів. Рухаючись вздовж напрямку \bar{V} , для кожного з цих шарів необхідно знайти точки перетину з вектором \bar{P} , зсуваючи координати текстури, доки не буде знайдено значення глибини, яке буде меншим за значення глибини поточного шару. Це і буде скоригований тексель $H(P)$, який необхідно відобразити.

Представлена у 2007 році техніка *parallax occlusion mapping* дозволяє досягнути ще більшої точності у порівнянні зі steep parallax mapping [5]. Вона базується на тих самих принципах, але замість використання координат текстури що відповідають кінцю вектора \bar{P} , необхідно отримати точку між $H(T2)$ до перетину із текстурою та $H(T3)$ після цього, застосувавши лінійну інтерполяцію (рисунку 5).

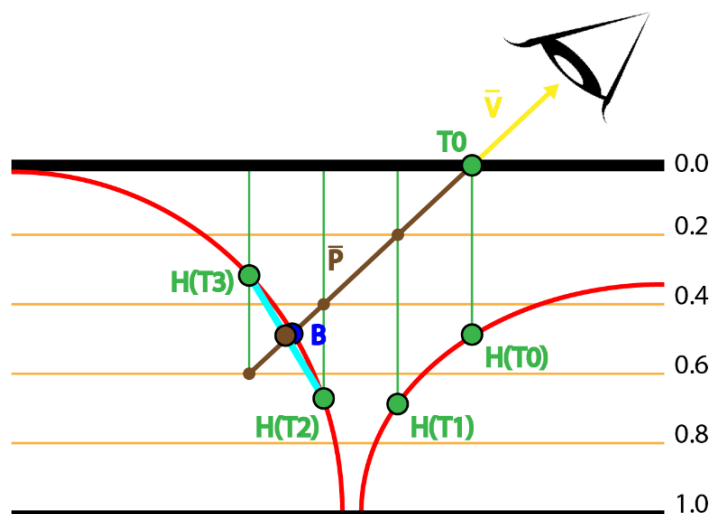


Рисунок 5 – Принцип роботи parallax occlusion mapping

Описаний метод є значним стрибком вперед у рельєфному текстуруванні. Він пропонує баланс між візуальною точністю, обчислювальною ефективністю та простотою реалізації. Хоча цей підхід не позбавлений недоліків, його численні переваги роблять його цінним інструментом для підвищення реалістичності віртуальних середовищ і оживлення цифрових сцен.

У роботах [6, 7] запропоновані різні модифікації методу *parallax occlusion mapping*, які спрямовані на підвищення реалістичності накладання текстур при формуванні зображень рельєфних поверхонь. У роботі [6] запропоновано метод *parallax occlusion mapping*, який передбачає уточнення карти відстаней до поверхні, що дало можливість знизити обчислювальні затрати при текстуруванні поверхонь із складним рельєфом без втрати точності обчислень.

У роботі [7] запропоновано ітераційний метод підвищення реалістичності формування зображень рельєфних поверхонь, в якому при виборі кроку трасування видового променя використано параметри, які залежать від значення висоти поверхні, що імітується, та z-координати вектора до спостерігача у поточній точці. В порівнянні з найбільш поширеним методом *parallax occlusion mapping*, запропонований метод використовує лише операції множення та додавання, що суттєво спрощує апаратну реалізацію.

Висновки

Отже, розвиток методів відображення текстур відіграв значну роль у підвищенні реалістичності комп'ютерних зображень. Від базових ілюзій *bump mapping* до складних імітацій глибини за допомогою *parallax occlusion mapping*, ці методи продовжують розширювати межі можливого в рельєфному текстуруванні та роблять свій внесок у досягнення ширшої мети – подолання розриву між цифровими зображеннями та реальністю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Войтко В. В. Аналіз основних підходів до формування шорстких поверхонь / В. В. Войтко, О. В. Романюк, В. О. Денисюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2007. – № 2. – С. 119–124
2. Войтко В.В Один із підходів до апаратної реалізації бамп-мепінгу // Войтко В.В., Романюк О.В. // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка», вып. 10 (153), Донецьк, ДонНТУ, 2009. – С.101-104.
3. Steve Marschner, Peter Shirley. *Fundamentals of Computer Graphics*. – Бока-Ратон, Флоріда, США: CRC Press, 2021. 716 с.
4. V. Scott Gordon, John L. Clevenger. *Computer Graphics Programming in OpenGL with C++*, Second Edition. – Герндон, Вірджинія, США: Mercury Learning and Information, 2020. 514 с.
5. Tomas Akenine-Möller, Eric Haines, Naty Hoffman. *Real-Time Rendering*. – Бока-Ратон, Флоріда, США: CRC Press, 2019. 1045 с.
6. Романюк О. Н. Модифікований метод *parallax mapping* з використанням карти відстаней до поверхні [Текст] / О. Н. Романюк, О. О. Дудник, О. В. Романюк // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. - 2017. - № 1. - С. 78-82.
7. Романюк О.В. Ітераційний метод підвищення реалістичності формування зображень рельєфних поверхонь з урахуванням перекриття нерівностей [Текст] / О. В. Романюк, О. Н. Романюк, Д. Л. Благодир, Г. Г. Сергєєв // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012. – № 2. – С. 176-180.

Ковальчук Сергій Ігорович – студент групи ІПІ-23м, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kovalchuk357@i.ua

Романюк Оксана Володимирівна – к.т.н., доцент кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: romaniukoksanav@gmail.com

Serhii Kovalchuk – student of group 4PI-19b, Faculty for Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kovalchuk357@i.ua

Oksana Romaniuk – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Software Chair, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: romaniukoksanav@gmail.com