

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ

УДК 004.925.4

О. Н. Романюк, О. О. Дудник, О. В. Романюк

МОДИФІКОВАНИЙ МЕТОД PARALLAX MAPPING З  
ВИКОРИСТАННЯМ КАРТИ ВІДСТАНЕЙ ДО ПОВЕРХНІ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. Запропоновано модифікацію метода Донеллі, яка полягає в уточненні карти відстаней до поверхні для виконання parallax mapping. Основа ідея уточнення полягає в урахуванні умови видимості точок, що формують карту відстаней, при визначенні мінімальної відстані від точки до поверхні. В результаті застосування методу зменшується кількість ітерацій трасування видового вектора при накладанні текстур на поверхні з складним рельєфом, що дає можливість знизити обчислювальні затрати та підвищити продуктивність без втрати точності обчислень. Метод може бути використано в системах високореалістичної комп'ютерної графіки.

**Ключові слова:** текстурування, рельєфне текстурування, parallax mapping, карта відстаней, карта висот.

Аннотация. Предложена модификация метода Донелли, которая заключается в уточнении карты расстояний до поверхности для выполнения parallax mapping. Основная идея уточнения заключается в учете условия видимости точек, формирующих карту расстояний, при определении минимального расстояния от точки до поверхности. В результате применения метода уменьшается количество итераций трассировки видового вектора при наложении текстур на поверхности со сложным рельефом, что дает возможность снизить вычислительные затраты и повысить производительность без потери точности вычислений. Метод может быть использован в системах високореалистичной компьютерной графики.

**Ключевые слова:** текстурирование, рельефное текстурирование, parallax mapping, карта расстояний, карта высот.

Abstract. The paper proposes a modification of the method of Donnelly, which is a refinement of the map distance to the surface to perform parallax mapping. The basic idea of the refinement is taking into account the conditions for the visibility of points, forming a map of distances to determine the minimum distance from the point to the surface. The result of the method decreases the number of iterations of the trace species of the vector in the texture mapping on surfaces with complex topography that makes it possible to reduce the computational cost and increase productivity without loss of precision. The method can be used in computer graphics rendering systems with a high degree of realism.

**Key words:** texture mapping, parallax mapping, distance functions, heights mapping.

## Вступ

Комп'ютерна ефективно розвивається у напрямку підвищення реалістичності відтворення реальних об'єктів і процесів [1]. При формуванні фотореалістичних зображень широко використовують методи текстурування [1, 2]. Використання текстур для імітації нерівностей на поверхні передбачає встановлення співвідношення між екранними координатами об'єкта та координатами текстури. Для реалістичного відтворення нерівностей використовують різні методи рельєфного текстурування: bump mapping, displacement mapping, normal mapping, parallax mapping. При цьому, найвищий рівень реалістичності забезпечує parallax mapping [1 - 4].

Parallax mapping використовується для процедурної генерації тривимірної текстурованої поверхні з використанням карт висот замість генерації побудови геометрії. Parallax mapping виконують шляхом зміщенням текстурних координат таким чином, щоб поверхня здавалася об'ємною. Основна ідея методу полягає в тому, щоб визначити колір пікселя за текстурними координатами в тій точці, де видовий вектор перетинає поверхню (рис. 1). Для визначення точки перетину видового вектора з поверхнею виконують трасування вектора до карти висот [4 - 6].

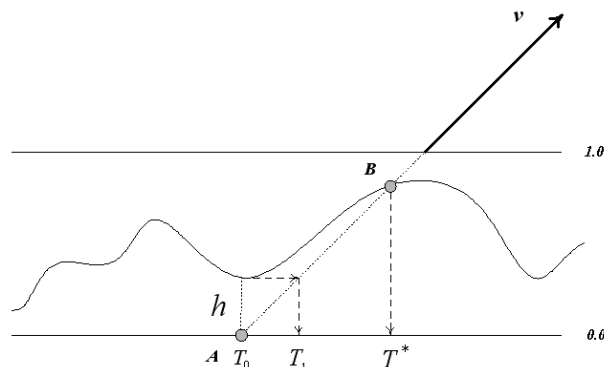


Рисунок 1 – Parallax mapping із обмеженням зміщення

Трасування видового вектора - достатньо ресурсомістка процедура, а тому потребує використання спрощених методів обчислень для забезпечення високої продуктивності при відтворенні графічних зображень у реальному часі.

© О. Н. Романюк, О. О. Дудник, О. В. Романюк, 2017

### Актуальність

Для забезпечення високої продуктивності при побудові зображень у реальному часі використовують спрощені методи обчислень: parallax mapping із обмеженим зміщенням та різні варіації ітеративних методів трасування вектора [2, 3].

При використанні parallax mapping із обмеженням зміщення текстурні координати визначають за формулою:

$$T_1 = T_0 + h \cdot v_{xy} / v_z,$$

де  $T_1$  - текстурні координати;  $T_0$  - текстурні координати без урахування рельєфу поверхні;  $h$  - висота поверхні в точці  $T_0$ ;  $v$  - видовий вектор. Метод корекції текстурних координат є лише наближенням, зокрема коли вектор  $v$  має гострий кут нахилу до поверхні, то використання розглянутої формули призводить до значних похибок (рис. 1)

Основною ідеєю всіх ітеративних методів є розбиття діапазону значень висот на кілька проміжків (шарів). Тоді наближене значення точки на поверхні знаходять шляхом простого перебору шарів, починаючи з самого зовнішнього, тобто відповідного найбільшому значенню висоти шару (рис. 2) [2].

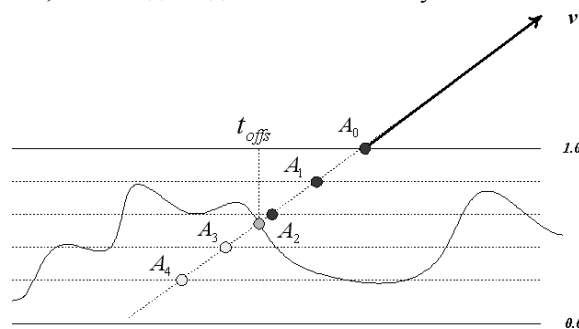


Рисунок 2 – Ітеративні методи Parallax mapping

Однак використання невеликого числа шарів може давати суттєві похибки. Ця похибка пов'язана з тим, що перевірка на перетин променя проводиться лише в обмеженому числі шарів, що відповідають дискретному набору висот. Тому при різких змінах висоти та/або при напрямку погляду, близькому до дотичного, подібна "шаруватість" поверхні стає явно видимою.

Для уникнення неточностей при використанні ітеративних методів використовують ряд методик, в тому числі ітеративні методи з уточненням кроку. Ідея ітеративних методів з уточненням кроку полягає в тому, що відстань між шарами не є рівною і не визначається до початку трасування променя, а обчислюється після кожної ітерації трасування таким чином, щоб пропустити якомога більший відрізок, на якому гарантовано немає перетину видового вектора з поверхнею.

Високу точність і достатню продуктивність забезпечує ітеративний метод з уточненням кроку забезпечує метод Доннеллі, що базується на використанні додаткової тривимірної текстури – карти відстаней до поверхні. Ця текстура будується на основі карти висот, де в якості третього виміру використовується висота. При цьому значення кожного текселя є найближча відстань до поверхні, заданої картою висот [6].

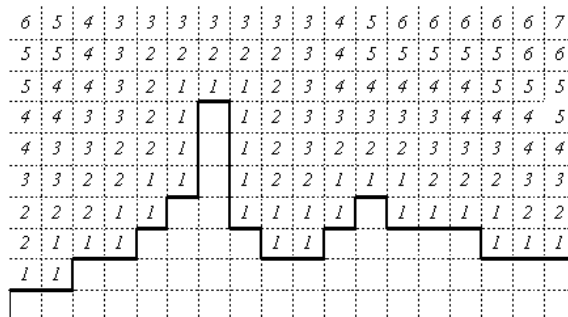


Рисунок 3 – Двовимірний фрагмент карти відстаней до поверхні

Згідно з методом Доннеллі, як і при використанні інших ітеративних методів, здійснюється покрокове трасування променя, але в якості величини чергового кроку вздовж променя в напрямку поверхні використовується значення з цієї допоміжної текстури. Оскільки воно є найближчою відстанню до пове-

рхні, то при збільшенні довжини вектора на цю величину перетину з поверхнею гарантовано не відбудеться (рис. 4).

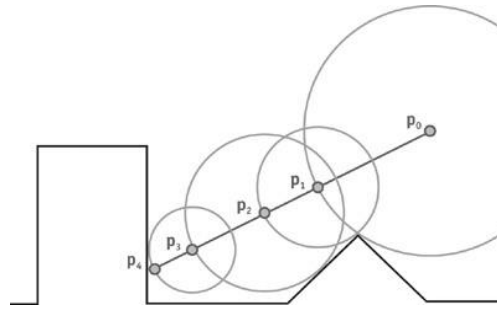


Рисунок 4 – Трасування видового променя за методом Донеллі

Метод Доннеллі гарантує високу точність визначення точки перетину видового променя з поверхнею, проте на поверхнях із складним рельєфом і різкими перепадами висот продуктивність може знизитись. Це пояснюється тим, що збільшення перепадів висот рельєфу призводить до збільшення загальної площі поверхні, а отже, і пікселів, що її формують. Тому велика кількість точок допоміжної текстури знаходиться на невеликій відстані від поверхні. В результаті на кожен крок припадає менша відстань, що призводить до збільшення кількості необхідних ітерацій. Тому існує потреба в розробці оптимізації методу Доннеллі для поверхонь із складним рельєфом.

**Мета**

Метою статті розробка модифікованого методу parallax mapping з використанням карти відстаней до поверхні, особливістю якого є використання уточненої карти відстаней, що дозволяє знизити кількість ітерацій трасування видового вектора та підвищити продуктивність.

**Задачі**

1. Аналіз методу parallax mapping з використанням карти відстаней.
2. Визначення шляхів підвищення продуктивності методу.
3. Розробка модифікованого методу.

**Розв’язання задач**

Розглянемо приклад на рисунку 5. Видові вектори  $V_1$  і  $V_2$  проходить через точку  $C$ . Мінімальна відстань від точки  $C$  до поверхні – 3 піксела. Відповідно до методу Доннеллі для знаходження точки перетину  $V_1$  з поверхнею достатньо дві ітерації з кроком 5 і 1 піксел відповідно.  $V_1$  перетинає поверхню в точці  $A$ . Оскільки точка перетину знайдена, то подальше трасування не виконується. Аналогічно, вектор  $V_2$  вперше перетинає поверхню в точці  $B$ . Оскільки точки  $A$  і  $B$  лежать на спільних векторах з точкою  $C$ , але знаходяться ближче до початку вектора, вони роблять невидимою точку  $C$ . Таким чином, відстань від точки  $C$  до поверхні не має значення при трасуванні векторів  $V_1$  і  $V_2$ , не дивлячись на те що вони проходять через неї.

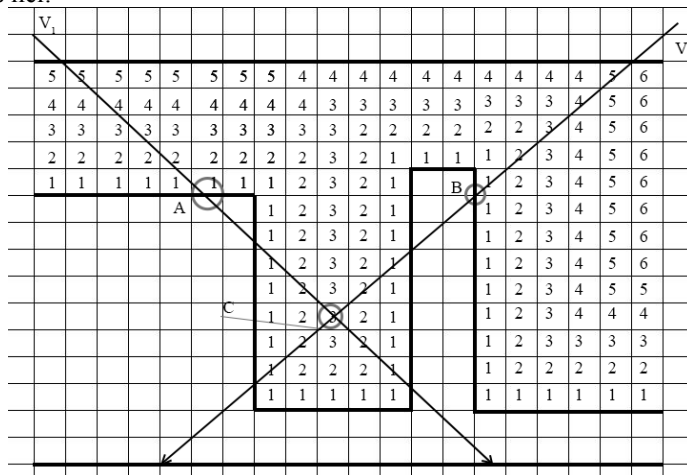


Рисунок 5 – Трасування видового променя, що перетинає поверхню в кількох місцях з використанням карти відстаней до поверхні

Розглянемо випадок, коли видові вектори не перетинають поверхню до проходження через точку  $C$  (рис. 6).

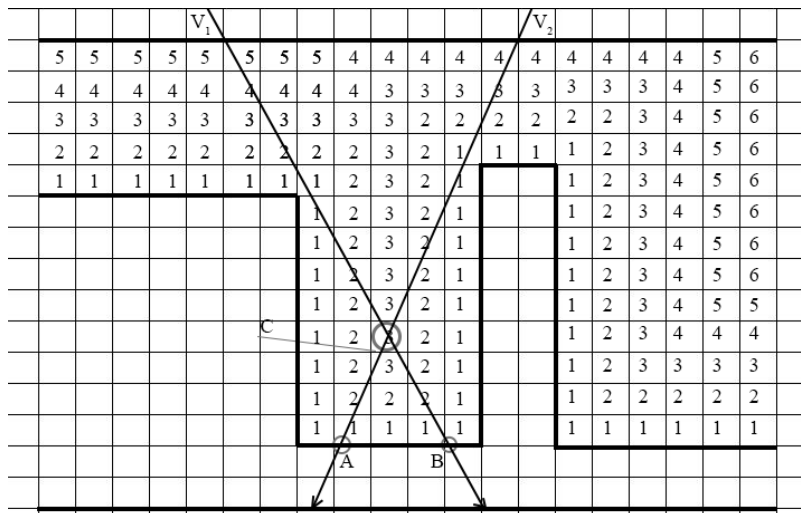


Рисунок 6 – Трасування видового променя, що перетинає поверхню один раз, з використанням карти відстаней до поверхні

Виконаємо трасування вектора  $V_1$  для визначення координат точки  $A$ . Після кількох ітерацій трасування промінь  $V_1$  потрапляє в точку  $C$ . Так як мінімальна відстань від точки  $C$  до поверхні – 3 пікселя, виконується ще одна ітерація із кроком 3. Оскільки точка  $A$  все ще не досягнута, то виконується остання ітерація з кроком 1. Таким чином відстань від точки  $C$  до точки  $A$  складає 4 піксели. Трасування вектора  $V_2$  аналогічне.

Отже можна зробити висновок, що вектора  $V$ , який проходить через деяку точку  $P$ , що лежить над поверхнею, і перетинає поверхню таким чином, що частина вектора на проміжку від точки  $P$  до поверхні рівна мінімальній відстані від цієї точки до поверхні, і, при цьому, не перетинає поверхню на проміжку від початку вектора до цієї точки  $P$  може не існувати. В такому випадку зберігати в карті відстаней мінімальну відстань від точки  $P$  до поверхні не доцільно. Оптимальніше зберігати найменшу з можливих відстаней від точки до поверхні за умови, що вектор, який проходить через точку  $P$ , не перетинається з поверхнею на проміжку від початку вектора до точки  $P$  (рис. 7).

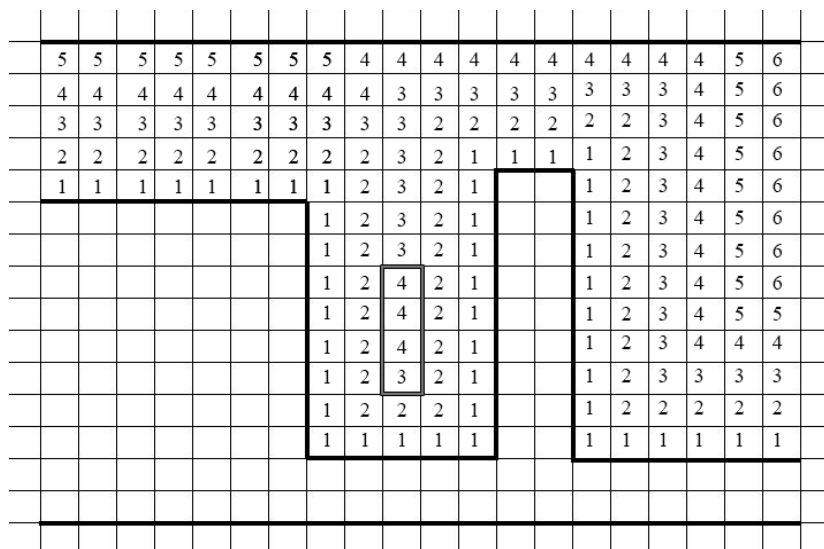


Рисунок 7 – Уточнена карта відстаней до поверхні

Виконаємо трасування променів  $V_1$  і  $V_2$  з використанням уточненої карти відстаней до поверхні (рис. 8).

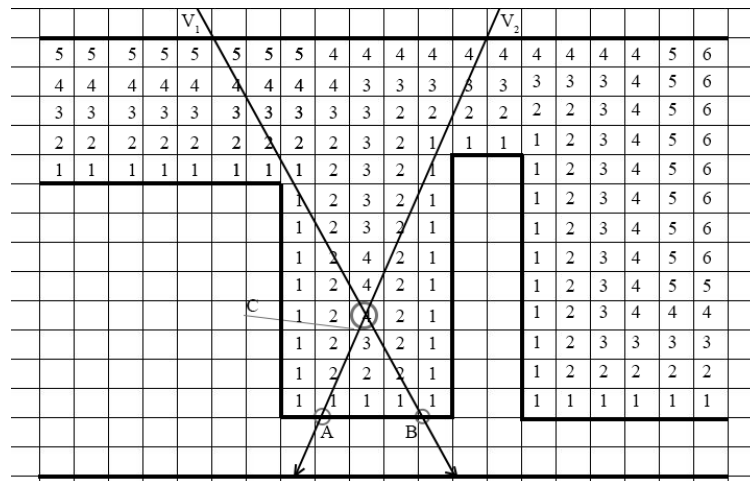


Рисунок 8 – Трасування видового променя з використанням уточненої карти відстаней до поверхні

Після уточнення карти відстаней, мінімальна відстань від точки  $C$  до поверхні складає 4 пікселя. Тому після потрапляння променя в точку  $C$  для визначення координат точок перетину променя із поверхнею ( $A$  і  $B$ ) достатньо однієї ітерації трасування.

Таким чином, уточнення карти відстаней до поверхні дає можливість зменшити кількість ітерацій трасування видового вектора при визначенні координат точок перетину вектора з поверхнею за методом Доннеллі та знизити обчислювальні затрати на виконання parallax mapping для поверхонь із складним рельєфом. Особливістю методу є те, що в результаті змін зазнають лише дані в додатковій текстурній карті, а сам алгоритм трасування залишається без змін. Це дає можливість оптимізації продуктивності роботи вже існуючого програмного забезпечення без внесення змін у його вихідний код та повторної компіляції.

### Висновки

Запропоновано модифікацію метода Доннеллі, яка полягає в уточненні карти відстаней до поверхні для виконання parallax mapping. Уточнення дає можливість знизити обчислювальні затрати при текстуруванні поверхонь із складним рельєфом без втрати точності обчислень. Метод може бути використаний як при розробці нових програмних чи апаратних засобів комп'ютерної графіки так і для оптимізації продуктивності роботи вже існуючих.

### Список літератури

1. Романюк О.Н. Високопродуктивні методи та засоби зафарбовування тривимірних графічних об'єктів Монографія. // Романюк О.Н. // Вінниця: УНІВЕСУМ-Вінниця. 2006.
  2. Романюк О.Н. Метод підвищення продуктивності перспективно-коректного текстурування. // Романюк О.Н., Дудник О.О. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. No1(22),2016
  3. 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.
  4. Kaneko T. Detailed Shape Representation with Parallax Mapping // Omomichi Kaneko, Toshiyuki Takahei, Masahiko Inami, Naoki Kawakami, Yasuyuki Yanagida, Taro Maeda, Susumu Tachi // Proceedings of ICAT 2001, pp. 205—208
  5. Татарчук Н. Practical Dynamic Parallax Occlusion Mapping - SIGGRAPH 2005
  6. Matt Pharr GPU gems 2: programming techniques for high-performance graphics and general-purpose computation Matt Pharr, Randima Fernando // Second printing, April 2005
- Стаття надійшла: 06.03.2017.

### Відомості про авторів

**Романюк Олександр Никифорович** – доктор технічних наук, професор, Перший проректор ВНТУ.

**Дудник Олександр Олександрович** – аспірант кафедри Програмного забезпечення ВНТУ.

**Романюк Оксана Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри Програмного забезпечення ВНТУ.