

А.А. ЗУЕВ (г. Харьков)

МЕТОД УПАКОВКИ ПОЛЕЙ ВЫСОТ

У статті розглянутий метод зменшення об'єму пам'яті яку займає поле висот яке представляє ландшафт. Запропонована методика дозволяє стискати поля висот з втратами, зменшуючи об'єм потрібної для зберігання поля пам'яті в 4 рази, що дозволяє або підвищити дискретизацію по горизонталі в 2 рази, або збільшити розмір модельованого простору в 2 рази при тому ж об'ємі займаної пам'яті, що і у незжатого поля.

In this article is described the method of diminishing of memory is occupied the height field presenting a landscape. The offered method allows to compress the height fields with losses, diminishing the memory requirements for field storage in 4 times, that allows either to promote accuracy on a horizontal axis in 2 times or multiply size of the designed space in 2 times with the memory requirements, what has the uncompressed field.

Обучение операторов транспортных средств на реальных машинах и в реальных условиях очень дорого и зачастую опасно для жизни. Применение средств компьютерной графики для синтеза окружающей обстановки, которая максимально приближена к реальности - позволяет оператору приобрести необходимые навыки управления транспортным средством, без значительных материальных затрат и износа дорогостоящей техники.

Важной частью моделирования окружающей обстановки для тренажерных комплексов наземной техники является моделирование и визуализация ландшафта [1, 2], с высокой точностью. Такое моделирование позволяет имитировать сложные условия управления транспортным средством.

В настоящее время существуют различные методики хранения данных описывающих ландшафт, основные из которых - триангулированные сетки [3, 4] и поля высот [5, 6]. Поля высот представляют наибольший интерес для тренажеров наземной техники, вследствие высокой скорости вычисления высоты в заданной точке и простоты синтеза таких полей [7]. Недостатком такого метода хранения является большой объем памяти необходимый для хранения полей с высокой дискретизацией. Для хранения поля высот с дискретизацией 1 метр, размером 4 на 4 км требуется 32 Мб памяти, при 16 битном представлении высоты. Но уже при размере ландшафта 8x8 км и 16x16 км, при тех же параметрах требуется соответственно 128 Мб и 512 Мб памяти.

В статье рассмотрен метод уменьшения объема памяти занимаемой полем высот. Общим свойством полей высот описывающих реальные ландшафты является относительная плавность изменения высоты, но сто-

ит учесть, что искусственные сооружения, такие как окопы, траншеи, различные инженерные заграждения могут вносить резкие перепады в структуру поля.

Уменьшить объем занимаемый полем можно, уменьшив дискретизацию по вертикали. Но, так как зависимость объема памяти занимаемой полем от дискретизации по вертикали линейная, то значительного уменьшения объема занимаемой памяти не произойдет. Например, если уменьшить точность представления высоты с 16 до 12 бит, объем занимаемой памяти уменьшится на 25%, что недостаточно для увеличения дискретизации или геометрических размеров поля. Дальнейшее уменьшение дискретизации до 8 бит, ведет к значительной потере точности передачи контуров ландшафта, исчезновению мелких деталей, появлению ступенек и различного рода артефактов. Очевидно, что величина дискретизации по горизонтали зависит от перепада высот и для равнинных ландшафтов может быть меньше чем у холмистых и горных. При величине дискретизации по вертикали менее 5 см визуальных артефактов на ландшафте не наблюдается. Зная, что диапазон высот ландшафтов, характерных для равнинной и слабохолмистой местности Украины, составляет менее $\Delta H = 100$ метров, можно вычислить количество уровней N , необходимое для хранения высоты с дискретизацией $d = 0,05$ м по следующей формуле

$$N = \frac{\Delta H}{d} = \frac{100}{0,05} = 2000. \quad (1)$$

Зная количество уровней, получим количество бит n необходимых для такого представления высоты

$$n = \log_2(N) = \log_2(2000) = 10,96578. \quad (2)$$

Округлив к ближайшему целому, получаем 11, таким образом, для представления высот равнинных и слабохолмистых ландшафтов необходимо порядка 11 бит на хранение высоты.

Суть метода состоит в следующем. Поле высот разбивается на блоки размером 4×4 отсчета, т.е. каждый блок состоит из 16 высот h_0, h_1, \dots, h_{15} . Каждый из полученных блоков кодируется независимо от других согласно следующему алгоритму.

1) Находится минимальная высота в блоке

$$h_{min} = \min(h_0, h_1, \dots, h_{15}).$$

2) Находится максимальная высота в блоке

$$h_{max} = \max(h_0, h_1, \dots, h_{15}).$$

3) Рассчитываются четыре высоты (опорные высоты) для кодирования блока h_i^c следующим образом

$$h_0^c = h_{min},$$

$$h_1^c = 0,66 \cdot h_{min} + 0,33 \cdot h_{max},$$

$$h_2^c = 0,33 \cdot h_{min} + 0,66 \cdot h_{max}, \quad (3)$$

$$h_3^c = h_{max}.$$

4) Для каждой высоты в блоке h_i выбирается соответствующая ей высота кодирования h_j^c , дающая минимальную ошибку при замене

$$|h_i - h_j^c| \rightarrow \min. \quad (4)$$

5) Формируется блок кодированных высот. Для задания каждой высоты используется двухбитный код величины j , соответственно для опорных высот коды будут следующими: $h_0^c = \{00\}$, $h_1^c = \{01\}$, $h_2^c = \{10\}$, $h_3^c = \{11\}$. Производится запись соответствующего кода в буфер.

6) Синтезируется блок поля высот 4×4 , состоящий из двух опорных высот h_0^c и h_3^c , и блока кодированных высот. Вид кодированного блока показан на рисунке 1.

При представлении высоты 16 битами, размер кодированного блока составляет 64 бита. Эквивалентный декодированный блок занимает 256 бит.

При определении высоты в точке с координатами x и z производится декодирование блока по следующему алгоритму.

1) Определяется номер блока n_b , к которому относится точка, в которой необходимо определить высоту

$$n_b = x/4 + w_b(z/4), \quad (5)$$

где w_b – ширина поля в блоках.

2) Вычисляется номер кодированной высоты n_h в блоке

$$n_h = x \% 4 + 4 \cdot (z \% 4), \quad (6)$$

где $\%$ – операция взятия остатка.

3) Восстанавливается высота в заданной точке. Для этого вычисляются опорные высоты, использовавшиеся для кодирования h_i^c по формуле (3). Зная что $h_{min} = h_0^c$, а $h_{max} = h_3^c$, высоты h_0^c и h_3^c можно не восстанавливать – они уже вычислены и записаны в начале блока.

4) Зная номер кодированной высоты в блоке - выбирается необходимая высота.

Для ускорения вычислений по формуле (5) и (6) операции умножения, деления и взятия остатка можно заменить операцией битового сдвига

влево (\ll), вправо (\gg) и побитного логического И ($\&$) соответственно, т.к. размер блока является степенью 2-х. Тогда выражения для вычисления n_b и n_h преобразуются следующим образом:

$$\begin{aligned} n_b &= (x \gg 2) + w_b(z \gg 2), \\ n_h &= (x \& 3) + ((x \& 3) \ll 2). \end{aligned} \quad (7)$$

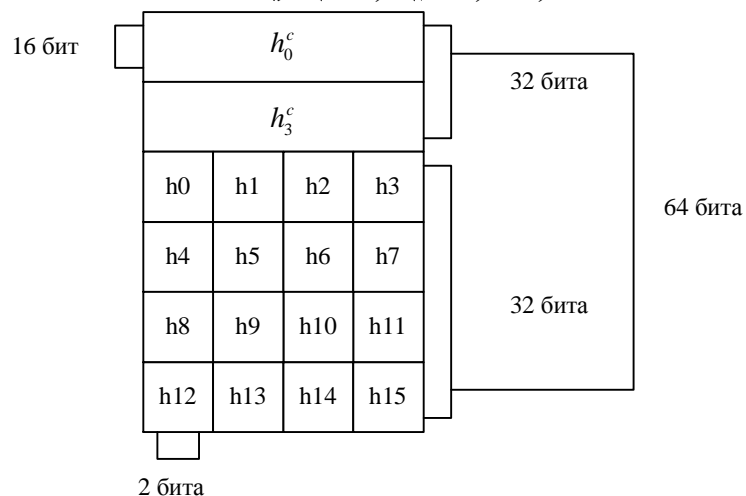


Рис. 1. Представление кодированного блока: h_0, h_1, \dots, h_{15} – двухбитные коды опорных высот

Рассмотрим величину ошибки, возникающей при кодировании блоков. Для этого проведем кодирование поля высот соответствующего типовому ландшафту, декодируем его и вычислим среднюю величину ошибки кодирования e по следующей формуле

$$e = \frac{1}{S} \sum_{i=0}^{S-1} (h_i^o - h_i^d), \quad (8)$$

где S – площадь поля высот в отсчетах; h_i^o – высоты исходного поля высот; h_i^d – высоты восстановленного поля высот.

Очевидно, что ошибка тем больше, чем больше диапазон высот входящих в блок и чем больше неравномерность распределения высот внутри блока. Для исследованных ландшафтов средняя ошибка кодирования находится в диапазоне от 0,13 до 0,11%.

Показанное выше распределение высот (3) не совсем оптимально для кодирования. Изменим алгоритм выбора опорных высот блока сле-

дующим образом, значение высоты h_0^c и h_3^c сдвинем внутрь блока на величину h_s , для равномерного распределения опорных высот по диапазону блока

$$h_s = 0,125 \cdot \Delta h, \quad (9)$$

где $\Delta h = h_{max} - h_{min}$.

Тогда выражение (3) примет вид

$$\begin{aligned} h_0^c &= h_{min} + h_s, \\ h_1^c &= 0,66 \cdot h_{min} + 0,33 \cdot h_{max}, \\ h_2^c &= 0,33 \cdot h_{min} + 0,66 \cdot h_{max}, \\ h_3^c &= h_{max} - h_s. \end{aligned} \quad (10)$$

Соответственно, для правильного декодирования блока необходимо вместо высот h_0^c и h_3^c сохранять значения h_{min} и h_{max} , соответственно.

Такое изменение позволяет минимизировать ошибку кодирования высот за счет более равномерного распределения опорных высот. Для используемых ландшафтов средняя ошибка кодирования после внесенных изменений находится в диапазоне от 0,10 до 0,08 %, что для ландшафта с диапазоном высот в 100 м составляет около 10 см.

Предлагаемая методика позволяет сжимать поля высот с потерями, уменьшая объем требуемой для хранения поля памяти в 4 раза, что позволяет либо повысить дискретизацию по горизонтали в 2 раза, либо увеличить размер моделируемого пространства в 2 раза при том же объеме занимаемой памяти, что и у несжатого поля.

Список литературы: 1. Balmelli Laurent, Ayer Serge, and Vetterli Martin. Efficient algorithms for embedded rendering of terrain models. In Proceedings IEEE ICIP 98, pages 914–918, 1998. 2. Balog Andras. Real-time visualization of detailed terrain// Konzulens, Rajacsics Tamas, Budapest, 2003. 3. Fowler J. Robert and Little J. James. Automatic extraction of irregular network digital terrain models. Computer Graphics (SIGGRAPH' 79 Proc.), 13(2): 199-207, August 1979. 4. Gerstner Thomas. Multiresolution compression and visualization of global topographic data. Technical Report 29, Institut fur Angewandte Mathematik, Universitat Bonn, 1999. 5. Lindstrom Peter, Koller David, Ribarsky William, Hodges E. Larry, Faust Nick, and Turner A. Gregory. Real-time, continuous level of detail rendering of height fields. In SIGGRAPH' 96 Proc., pages 109 - 118, August 1996. 6. Roettger S., Heidrich W., Slussallek P., Seidel H.P.: Real-Time Generation of Continuous Levels of Detail for Height Fields, Proc. 6th Int. Conf. in Central Europe on Computer Graphics and Visualization, pp. 315-322, 1998. 7. Perlin K. ACM SIGGRAPH 84 conference, course in "Advanced Image Synthesis".

Поступила в редколлегию 20.11.07