

П.А. КАЧАНОВ, д.т.н. профессор, НТУ «ХПИ» (г.Харьков),
А.А.ЗУЕВ, ассистент, НТУ «ХПИ» (г.Харьков)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА КОДИРОВАНИЯ ПОЛЕЙ ВЫСОТ

У статті розглянутий метод зменшення об'єму пам'яті, яку займає поле висот, за допомогою кодування поліномами. Запропонований набір поліномів для компресії поля висот. Проведено дослідження величин середньої і максимальної похибок кодування.

Method of diminishing memory which is occupied by the height field is considered in article, through encoding polynomials. The set of polynomials is offered for the height field compression. Research of average and maximal errors of encoding is conducted.

Важкой частью системы визуализации тренажерных комплексов наземной техники является моделирование ландшафта с высокой точностью. Существуют различные методики хранения данных описывающих перепады высот ландшафта [1, 2], из которых поля высот представляют наибольший интерес для тренажеров наземной техники, вследствие высокой скорости вычисления высоты в заданной точке и относительной простоты синтеза таких полей автоматизированным способом. Основным недостатком такого метода хранения, является большой объем памяти необходимый для их хранения. В статье рассмотрена модификация метода компрессии поля высот при помощи полиномов, что позволяет в четыре раза уменьшить объем памяти, занимаемой полем высот. Основной идеей метода является поблочное преобразование высот поля h_i в кодированную форму h_i^c , согласно выражению

$$h_j^c = k_j \Delta h + h_{\min}, \quad (1)$$

где $\Delta h = h_{\max} - h_{\min}$; h_{\min}, h_{\max} - минимальная и максимальная высота в блоке; k_j - коэффициент полинома; j - номер коэффициента от 1 до 4.

При помощи выражения (1) при коэффициентах распределенных равномерно, например, $f(i) = \{0,05; 0,33; 0,66; 0,95\}$, с наименьшей ошибкой будут кодироваться блоки, содержащие относительно плавный переход высот от минимума к максимуму. Линейное распределение высот внутри блока для реальных ландшафтов встречается относительно редко, поэтому для минимизации ошибки кодирования целесообразно использовать для каждого блока наиболее подходящий полином $f(i)$. При этом, необходимо сохранять

для каждого блока номер полинома i и изменить алгоритм вычисления высот, чтобы при декодировании высот учитывался этот полином. Коэффициенты полиномов хранятся в отдельной таблице, уникальной для каждого ландшафта. Каждый полином представляет собой четыре коэффициента, используемых для вычисления соответствующей опорной высоты.

Для задания одной высоты ландшафта характерного для холмистой и равнинной местности достаточно использовать 12-ти битное представление высоты. При кодировании блока, сохраняется минимальная высота с точностью 12 бит и разность между максимальной и минимальной высотой Δh с точностью 12 бит. Для хранения номера полинома достаточно 8 бит, а для каждой из кодированных высот 2 бита. Таким образом, блок из 16 (4x4) высот будет занимать 64 бита, против 256 бит для исходного некодированного представления блока.

Рассмотрим процесс уменьшения разрядности величин h_{\min} и $\Delta h = h_{\max} - h_{\min}$. Для преобразования высот из 16 битного к 12 битному представлению, воспользуемся следующим выражением

$$\begin{aligned} h'_{\min} &= \lfloor h_{\min} / 2^{16-12} \rfloor, \\ \Delta h' &= \Delta h + (h_{\min} \% 2^{16-12}), \end{aligned} \quad (2)$$

где % - операция вычисления остатка от деления; $\lfloor \rfloor$ - операция округления к ближайшему меньшему целому числу.

При кодировании с помощью полиномов, возникает задача выбора оптимального набора полиномов, при котором ошибка восстановления высот будет минимальной. Процесс получения оптимального набора полиномов состоит из двух частей:

- вычисление оптимального полинома для каждого блока;
- выбор 256 наилучших полиномов.

Для определения оптимального полинома кодирования блока предлагается использовать следующий алгоритм.

- 1) Создается гистограмма распределения высот внутри блока.
- 2) Если количество столбиков гистограммы меньше либо равно 4, то наилучшими высотами для построения полинома будут высоты соответствующие положению этих столбиков, и соответственно работа алгоритма закончена.

3) Определяется два ближайших столбика в гистограмме A и B , с высотами H_A и H_B соответственно. Они заменяются одним столбиком C , расположенным между ними. Высота полученного столбика $H_C = (H_A + H_B) / 2$. Параметр, характеризующий положение C , вычисляется следующим образом

$$X_C = X_A \cdot \frac{H_A}{H_A + H_B} + X_B \cdot \frac{H_B}{H_A + H_B}, \quad (3)$$

где X_A, X_B - положение столбиков A и B на гистограмме.

4) Повторяется шаг (2) до тех пор, пока количество столбиков в гистограмме не станет равным четырем.

Предположим, что в результате работы алгоритма получилось четыре столбика D_0, D_1, D_2, D_3 с положением в гистограмме $X_0 \leq X \leq X_2 \leq X_3$ соответственно, тогда коэффициенты полинома $f(i)$ можно вычислить по формуле

$$f_j(i) = \frac{(X_j - h_{\min})}{\Delta h}. \quad (4)$$

После получения полиномов оптимальных для всех блоков, необходимо провести их квантование. Для выбора наилучших полиномов проводится их обработка методами кластерного анализа [3, 4], например методом К-средних.

Алгоритм выбора оптимальных полиномов заключается в следующем:

- 1) Выбирается набор из K произвольных, различных полиномов исходной последовательности. Эти полиномы будут являться центрами кластеров.
- 2) Группируются все полиномы исходной последовательности по K кластерам, в зависимости от величины

$$d_{i,c} = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 |f_j(i) - f_j(c)|, \quad (5)$$

где i - номер полинома в исходной последовательности; c - номер кластера.

Полином i принадлежит кластеру c , в том случае, если значение $d_{i,c}$ для данного полинома минимально.

- 3) Рассчитываются новые центры кластеров, как среднее арифметическое значений $f_c(j)$ для всех полиномов входящих в кластер.

- 4) Повторяется шаг 2 до тех пор, пока полиномы не перестанут перемещаться из одного кластера в другой, либо количество таких перемещений не станет меньше определенной, заранее заданной величины.

После окончания работы алгоритма, оптимальными полигонами будут являться центры кластеров. Величины ошибок кодирования полей высот приведены в таблице 1. Метод кодирования с выбором полинома на основе метода K -средних характеризуется: оптимальным сочетанием средней и мак-

симальной ошибки кодирования; увеличением площади точно восстановленных высот по сравнению с табличной методикой.

Таблица 1
Характер распределения и величина ошибки кодирования

Тип выбранных полиномов и метод вычисления ошибки	Ошибка, %		Ошибка, см		Площадь поля высот, ошибка кодирования на которой не превышает 5 см, %
	Средняя	Максимальная	Средняя	Максимальная	
Табличный	0,041	0,967	4,10	96,74	68,89
<i>K</i> -средних	0,034	0,728	3,41	72,79	77,51

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. *Jain, Murty, Flynn* Data clustering: a review. // ACM Comput. Surv. 31(3) , 1999. 4. *Diday E.* The dynamic clusters method in nonhierarchical clustering International Journal of Computer and Information Sciences.- 1973.-March.- Vol. 2, no. 1.- Pp. 61-88.

Поступила в редколлегию 16.02.09