

базе нейросетевых технологий / И.Л. Левчук // Математичне моделювання. – Дніпродзержинськ. – 2012. – №2. –С. 77-80.

4. Левчук И.Л. Разработка математической модели процесса каталитического риформинга в каскаде реакторов / И.Л. Левчук // Збірник наукових праць НГУ. – 2012. – №39. – С. 122 – 127.

References

1. Tsyipkin, Ya. Z. Informatsionnaya teoriya identifikatsii / Ya.Z. Tsyipkin – М.: Nauka, 1995. – 336 s.
2. Byikov V. I. Modelirovanie i optimizatsiya himiko-tehnologicheskikh protsessov / V. I. Byikov, V. M. Zhuravlev. — Krasnoyarsk: IPTs KGTU, 2002. - 298 s.
3. Levchuk I.L. Identifikatsiya matematicheskoy modeli protsessa kataliticheskogo riforminga na baze neyrosetevyih tehnologiy / I.L. Levchuk // Matematichne modelyuvannya. – Dniproderzhinsk. – 2012. – №2. –С. 77-80.
4. Levchuk I.L. Razrabotka matematicheskoy modeli protsessa kataliticheskogo riforminga v kaskade reaktorov / I.L. Levchuk // Zblrnik naukovih prats NGU. – 2012. – №39. – S. 122 – 127.

Рецензія/Peer review : 24.1.2015 р. Надрукована/Printed :24.1.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.397:004.932

Е.В. ОШАРОВСКАЯ, Н.С. САМУСЬ
Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

СТАТИСТИЧЕСКОЕ КОДИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИИ СЕТОК 3D ИЗОБРАЖЕНИЙ

Представлены результаты статистического сжатия топологии сеток, представляющих форму 3D изображений. Координаты вершин предсказываются, корректирующие векторы имеют в среднем меньшую разрядность, затем сжимаются с помощью статистического кодирования, используя, кодирование Хаффмана или арифметическое.

Ключевые слова: 3D изображение, сетка, статистическое кодирование

E.V. OSHAROVSKAYA, N.S. SAMUS
O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications

3D IMAGE MESH TOPOLOGY STATISTICAL CODING

Abstract - We have introduced a compressed representation for triangular meshes of 3D images. Implies geometric proximity of the corresponding vertices, we can predict vertex positions, and thus only need to encode the difference between predicted and actual vertex positions. When vertex coordinates are quantized, these corrective vectors have on average smaller magnitude than absolute positions and can therefore be encoded with fewer bits. The corrective terms are then compressed by statistical encoding using , Huffman or arithmetic coding.

Key words: 3D image, mesh, statistical coding.

Введение

Исследования в области технологий 3DTV в последнее время быстро развиваются, охватывая обработку процессов от создания видеосигналов до дисплеев. Различные 3DTV системы основаны на разных 3-D представлениях сцен объединяющих разные типы данных. Эффективное кодирование этих данных определяет успешность внедрения 3DTV, которое может быть представлено в виде левого и правого изображений в случае стерео телевидения, либо в виде многоакурсного телевидения. все больший интерес вызывают системы 3DTV с передачей дополнительного сигнала монохромного карт глубины. Для сжатия используются классические алгоритмы видеокодирования, но их эффективность можно повысить, если учитывать не только временную корреляцию но и корреляцию между ракурсами.

Представление объемных изображений возможно также и с помощью задания и формы и текстуры. Такие модели получили название сеточных. Они находят широкое применение в мультимедийных приложениях. Сжатие 3D сеток рассматривается в последних версиях MPEG-4 как 3DMC (3D mesh coding). Для представления мелких деталей сетка должна состоять из огромного числа ячеек, это число превышает количество элементов разложения в десятки раз. Таким образом, возникает вопрос об эффективном сжатии информации о самой сетке. Если использовать для ячеек сетки треугольники. тогда возникает необходимость передавать информацию о координатах вершин всех треугольников (геометрии сетки) и о последовательности этих треугольников (топологии сетки). Для сжатия информации о геометрии можно применять иерархические методы. А информацию о топологии необходимо передавать без потерь. [1]

В статье приводятся результаты кодирования топологии треугольных сеток с использованием статистических кодов переменной длины.

1. Сжатие статичных 3-D сеток

В последнее десятилетие было опубликовано достаточно много статей, посвященных сжатию статических сеток, описывающих форму объемных изображений. [1-7] Трехмерная сетка, полученная методом триангуляции Делоне, может быть представлена набором вершин, ребер и поверхностей, а также их связями. Кроме указанных параметров сеток передаются такие атрибуты, как нормали к поверхностям, цвет поверхностей, текстура поверхностей. Точки 3D сетки в трехмерном пространстве могут быть заданы

в виде: $\{v_1, v_2, \dots, v_n\} \in V$ В пространстве R^3 эти точки можно назвать *вершинами* 3D сетки. Дуга между двумя вершинами в пространстве R^3 , $conv\{v_n, v_m\}$ называется *ребром*. Ребро можно аппроксимировать отрезком прямой в пространстве R^3 с конечными точками в вершинах v_n и v_m . Сама ячейка треугольной сетки может быть представлена как поверхность, натянутая на трех вершинах $conv\{v_n, v_m, v_k\}$. Таким образом, часть поверхности пространства R^3 , ограниченная ребрами инцидентных вершин $v_n; v_m; v_k$. и является поверхностью треугольника. Поверхность может быть направленной и ненаправленной, направление поверхности задается вектором нормали. Дополнительная атрибуция сетки чаще всего осуществляется по вершинам. Информация о направленности может быть расширена по поверхности в направлении ребер методом линейной или другой интерполяции. Связность – это информация о том, какие элементы сетки связаны друг с другом. Ребра $\{e_1, \dots, e_n\} \in E$ инцидентны с двумя вершинами на их концах.

Поверхности $\{f_1, \dots, f_n\} \in F$ связаны с ограничивающими их ребрами и инцидентными с этими ребрами вершинами. Ребра не имеют направления. Связность сетки, в общем случае, может быть представлена двумя типами: перечнем связанных ребер и перечнем связанных поверхностей. Для треугольной сетки поверхность лежит в одной плоскости только тогда, когда все инцидентные с ней вершины лежат в этой плоскости. Для полигональных сеток число инцидентных с поверхностью вершин равно или больше четырех. Таким образом, поверхность полигональной сетки не обязательно лежит в одной плоскости. [2]. Вершины сетки могут быть инцидентны с любым числом ребер Число ребер, инцидентных одной вершине называют валентностью вершины. [3]. Число ребер, инцидентных с поверхностью получило название степени поверхности. [3]. Количество поверхностей, инцидентных ребру и количество поверхностей инцидентных к одной вершине определяют является ли сетка многообразной или нет. Многообразие второго порядка называют топологической поверхностью, где каждая точка на поверхности имеет топологическую окрестность эквивалентную открытому кругу в пространстве R^{2n} [4]. Если окрестность точки на поверхности эквивалентна половине круга, тогда сетка является многообразием с краем. [4].

Можно рассматривать отношения инцидентности как связность или топологию сетки, а позиции вершин как геометрию сетки. Большинство методов сжатия сеток оперирует над сеточной геометрией и сеточной связностью по отдельности. Еще в 1996 году Таубин (Taubin) и Россигнас (Rossignac) [5] предложили метод топологического рассечения Topological Surgery(TS), который предусматривал сжатие без потерь сеточной связности wa сжатие координат вершин сетки с контролируемыми потерями. Они разлагают соединения в так называемые вершинные и треугольные остовные деревья, которые кодируются. Кодирования с линейным предсказанием используется для сжатия информации о местоположение вершин. Они предсказываются в порядке, определяемом связностью, с использованием уже ранее закодированных местоположений. Позже, Таубин и др. [6] расширили его подход TS с тем, чтобы получить уровни детализации сетки. сжатой статически, обеспечивая прогрессивное декодирование от низкого до высокого разрешения. Они ввели схему прогрессивного разделения леса (Progressive Forest Split (PFS)), используя лес, а именно, набор деревьев, для описания связности на разных уровнях разрешения. И TS и PFS, создали основу стандарта MPEG-4 кодирования 3-D сетки (3DMC инструменты) для полного разрешения так и для прогрессивных уровней детализации статического сжатия сетки. Позже были представлены многочисленные усовершенствования приближений сетки по алгоритму TS. Отметим алгоритм Edgebreaker, предложенный Россигнасом [7]. Для описания связности сетки Россигнас предложил использовать теорию конечных автоматов. При обходе вершин треугольника последним приписывается один из пяти символов, в зависимости от конфигурации подключения соседних треугольников, направления движения и предистории. Впоследствии этот поток из всего лишь пяти различных символов статистически кодируют.

Как показано в [8] edgebreaker действует рекурсивно на правом поддереве, а затем уходит влево. Edgebreaker может сжимать связность сетки до 2 бит / вершину. Алгоритм edgebreaker обходит треугольники по спирали ("в глубину") и создает метки; по одной метки для каждого треугольника, указывающей на порядок декодирования, то есть, каким путем присоединять новые треугольники сетки с ранее восстановленными.

2. Экспериментальные результаты статистического кодирования связности сетки

Сетка построена на изображении программой MeshLab. Выбираем произвольный небольшой участок для обработки, представленный на рис. 1.

Трехмерный объект можно

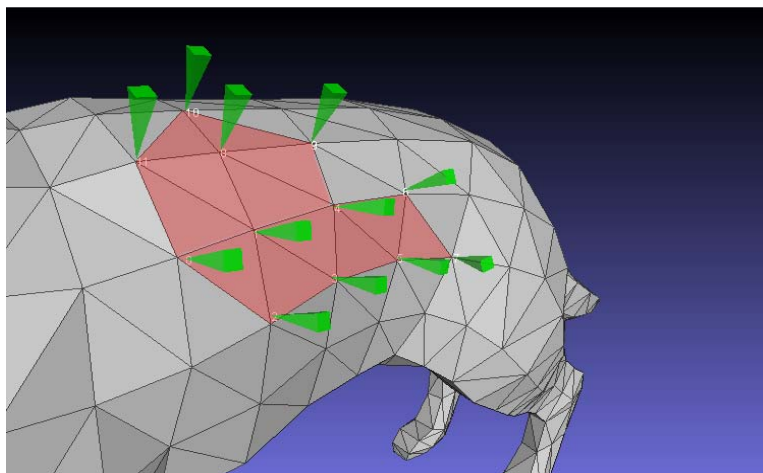


Рис. 1. Участок сеточного изображения, полученный программой MeshLab

задати в системі координат X, Y, Z. В табл. 1 приведені абсолютні значення координат вершин сітки вибраного участка.

Таблиця 1

Абсолютні координати вершин сітки досліджуваного участка

№ точки	Координата X	Координата Y	Координата Z
0	13.435	62.859	13.107
1	12.680	63.424	7.564
2	13.896	57.103	7.057
3	12.319	58.019	0.066
4	11.551	63.812	-0.719
5	10.761	57.371	-9.177
6	10.143	63.596	-9.984
7	10.631	55.474	-17.850
8	8.877	68.742	7.546
9	8.799	68.588	-0.597
10	4.420	71.392	7.741
11	8.936	68.805	13.746

В таблиці 2 приведені нормовані значення координат і їх представлення в цілих числах

Таблиця 2

Нормовані і цілочисленні значення кожної координати

№ точки	Координата X		Координата Y		Координата Z	
	нормованна	цілочисленна	нормованна	цілочисленна	нормованна	цілочисленна
0	0.951	951	0.464	464	0.980	980
1	0.872	872	0.499	499	0.804	804
2	1	1000	0.102	102	0.788	788
3	0.834	834	0.160	160	0.567	567
4	0.753	753	0.524	524	0.542	542
5	0.669	669	0.119	119	0.274	274
6	0.604	604	0.510	510	0.249	249
7	0.655	655	0	0	0	0
8	0.470	470	0.834	834	0.804	804
9	0.462	462	0.824	824	0.546	546
10	0	0	1	1000	0.810	810
11	0.477	477	0.837	837	1	1000

В відповідності з алгоритмом расставим метки (рис.2) по наступним правилам:

- метка С: і справа, і слева – не відвідані трикутники, розділення на частини не відбувається, додається метка С, ітерація рухається вправо;
- метка L: справа вже відвідано, справа – ні, додається метка L, ітерація рухається вправо;
- метка E: і справа, і слева – відвідані трикутники, додається метка E, відбувається повернення з рекурсивного процесу, або отримуємо кінець стиснення;
- метка R: справа вже відвідано, справа – ні, додається метка R, ітерація рухається вліво;
- метка S: і справа, і слева – не відвідані трикутники, відбувається розділення на дві частини з загальною тільки однією точкою, додається метка S, починається рекурсивний процес вправо, а потім продовжується ітерація вліво.

В результаті обходу отримана послідовність меток CRSRLECRRLLE, підлягає наступному кодуванню зі стисненням без втрат. Для типової багатозв'язної однорідної регулярної сітки застосуємо наступне припущення:

Так як, крім перших двох вершин, існує однозначна відповідність кожного трикутника типу С і кожної вершини, то кількість трикутників типу С – $v-2$. Відповідно, кількість інших типів трикутників $t-(v-2)$, що теж дорівнює $v-2$. А отже ймовірність трикутників типу С така ж, як і сума ймовірностей всіх інших, які в свою чергу мають рівну ймовірність. Для кодування

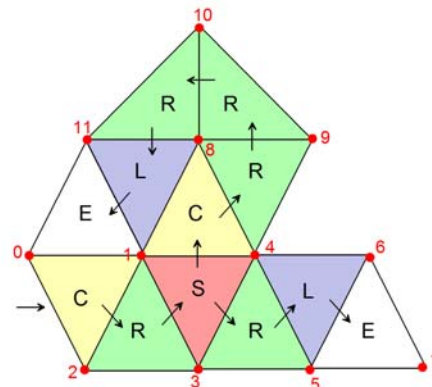


Рис. 2. Процес приписування меток при обході трикутників

меток используются кодирование по Хаффману или арифметическое. [8,9] Входная последовательность CRSRLECRRRLE, закодированная кодом Хаффмана и арифметическим представлена в табл. 3:

Таблица 3.

Результаты кодирования последовательности меток

метка	Хаффмана	Арифметическое
C	0	[0; 0.5)
R	101	[0.375; 0.4375)
S	100	[0.4296875; 0.4375)
R	101	[0.435546875; 0.4365234375)
L	110	[0.4360351563; 0.4361572266)
E	111	[0.4361114502; 0.436126709)
C	0	[0.4361114502; 0.4361190796)
R	101	[0.4361171722; 0.4361181259)
R	101	[0.4361178875; 0.4361180067)
R	101	[0.4361179769; 0.4361179918)
L	110	[0.4361179844; 0.4361179862)
E	111	[0.4361179855; 0.4361179858)

Следовательно, результатом арифметического кодирования будет любое число в интервале [0.4361179855; 0.4361179858). А кодирование по Хаффману дало следующую последовательность: 01011001011101110101101110111. Можно показать, что коэффициент сжатия при кодировании последовательности по Хаффману составляет 2, а арифметическое кодирование дает коэффициент сжатия 2,77, при этом в среднем на одну вершину приходится от трех до двух бит. Если кодировать целочисленные исходные значения координат, то на каждую координату вершины требуется до 10 бит.

Выводы

Экспериментальные результаты кодирования и декодирования связности статической сетки арифметическим кодом и кодом Хаффмана. дает сопоставимые результаты. Для эффективного сжатия геометрических параметров сетки требуется исследовать спектральные методы.

Література

1. Smolic A., Mueller K., Stefanoski N., Ostermann J., Gotchev A., Gozde B. Akar, Koz. A. and Triantafyllidis G. "Coding Algorithms of 3DTV – A Survey." IEEE Trans. On Circuits and Systems for Video Technology 17.11 (2007): 1606-1621.
2. <http://signal.ee.bilkent.edu.tr/Theses/kkoseThesis.pdf>
3. Peng J., Kim C.-S., Kuo C.-C. Jay "Technologies for 3D triangular mesh compression: a survey." Journal of Visual Communication and Image Representation 16.6 (2005): 688-733.
4. http://www.inf.tu-dresden.de/content/institutes/smt/cg/publications/paper/diss_gumhold.pdf
5. Taubin G., Rossignac J. "Geometry compression through topological surgery." ACM Transactions on Graphics 17.2 (1998): 84-115.
6. Taubin G., Gueziec A., Horn W. and Lazarus F. "Progressive forest split compression." Proc. of SIGGRAPH'98 (1998): 123-132.
7. Rossignac J. "Edgebreaker: connectivity compression for triangle meshes." IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics 5.1 (1999): 47-61.
8. Самусь Н. Сіткове кодування зображення за алгоритмом Edgebreaker / Самусь Н., Ошаровська О.В. // Цифрові технології: Збірник. – Одеса: Одес. нац. академія зв'язку ім. О.С.Попова. – 2014. – №15. – С. 119-124.
9. Samus N. 3D image mesh entropy coding / N.S. Samus , E.V. Osharovskaya // Збірник „Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова”: – Одеса: Одес. нац. академія зв'язку ім. О.С.Попова. – 2014. – №2. – С. 214-220.

References

1. Smolic A., Mueller K., Stefanoski N., Ostermann J., Gotchev A., Gozde B. Akar, Koz. A. and Triantafyllidis G. "Coding Algorithms of 3DTV – A Survey." IEEE Trans. On Circuits and Systems for Video Technology 17.11 (2007): 1606-1621.
2. <http://signal.ee.bilkent.edu.tr/Theses/kkoseThesis.pdf>
3. Peng J., Kim C.-S., Kuo C.-C. Jay "Technologies for 3D triangular mesh compression: a survey." Journal of Visual Communication and Image Representation 16.6 (2005): 688-733.
4. http://www.inf.tu-dresden.de/content/institutes/smt/cg/publications/paper/diss_gumhold.pdf
5. Taubin G., Rossignac J. "Geometry compression through topological surgery." ACM Transactions on Graphics 17.2 (1998): 84-115.
6. Taubin G., Gueziec A., Horn W. and Lazarus F. "Progressive forest split compression." Proc. of SIGGRAPH'98 (1998): 123-132.
7. Rossignac J. "Edgebreaker: connectivity compression for triangle meshes." IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics 5.1 (1999): 47-61.
8. Samus N., Osharovska O.V. "Image mesh coding by Edgebreaker algorithm." Digital Technologies 15 (2014): 119-124.
9. Samus N.S., Osharovska O.V. 3D image mesh entropy coding. "Proceedings of the O.S. Popov ONAT 2012'2 (2014): 214-220