

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ НОРМАЛИЗАЦИЯ ТРЕХМЕРНЫХ БИОМЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И СЖАТИЯ С ПОМОЩЬЮ ОКТОДЕРЕВЬЕВ

© 2012 г. И. Н. Жданов, студент; Н. Н. Каплиев, студент; А. С. Потапов, доктор техн. наук; О. В. Щербаков, студент

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург

E-mail: pas.aicv@gmail.com

Рассмотрен метод сжатия трехмерных биомедицинских изображений с потерями на основе представления данных в форме октодерева. Предложена модификация метода путем геометрической нормализации (выравнивания) изображения. Показано, что предлагаемый метод по эффективности превосходит сжатие, получаемое при использовании исключительно метода на основе октодерева с потерями, но при достижении определенного уровня подавления шумов.

Ключевые слова: сжатие изображений, биомедицина, октодерево, выравнивание изображений.

Коды OCIS: 100.6890, 100.6950

Поступила в редакцию 29.05.2012

Введение

В связи с повышением мощности современной вычислительной техники появляется возможность эффективно работать не только с двумерными, но и с трехмерными массивами данных, которые из-за сложности своей структуры нуждаются в адекватном математическом, структурном и цифровом представлении. В то же время, для передачи такого рода данных по каналам связи с ограниченной пропускной способностью необходим эффективный способ сжатия передаваемой информации. В частности, обозначенные выше задачи должны быть решены для биомедицинских изображений, представляющих собой распространенный и практически значимый случай трехмерных данных.

В рамках задач визуализации эффективным методом представления трехмерных данных является метод на основе структуры октодерева [1, 2], который позволяет компактно хранить данные за счет сжатия без потерь информации [3]. В биомедицине этот метод применялся и ранее для задач, не связанных со сжатием информации [4], однако с его помощью, как было показано нами [5], может быть реализован эффективный метод сжатия, являющийся

модификацией стандартного метода на основе октодерева.

Недостатком представления изображений в форме октодерева является то, что данное представление соответствует неадаптивному разбиению изображения на блоки в форме прямоугольных параллелипипедов. В то же время, биомедицинские изображения могут иметь регулярную структуру, плохо отображаемую октодеревом. Например, изображения биотканей могут состоять из нескольких слоев, границы которых часто оказываются непараллельными границам изображения. В таких случаях в блоки формируемого октодерева будут попадать разные слои, что приведет к слишком сильному ветвлению октодерева. Использование непрямоугольных блоков подразумевает выполнение сегментации изображения, что для трехмерных изображений является вычислительно очень сложной задачей.

В данной работе для изображений биотканей предложено осуществлять геометрическую нормализацию (выравнивание) изображений так, чтобы границы слоев оказывались горизонтальными. В итоге, метод сжатия включает последовательное применение алгоритма обнаружения закономерностей в структуре исследуемых объектов и метода, основанного

на октодереве. Поскольку выявление закономерностей в структуре трехмерных изображений позволяет достичь не только эффективного представления данных для последующей компьютерной обработки, но и удобства визуального восприятия данной информации человеком, целесообразно использовать именно такие представления для последующего сжатия информации. В работе показано, что осуществление выравнивания изображения перед применением метода сжатия на основе октодеревя может приводить к улучшению эффективности сжатия.

Метод представления трехмерных изображений в виде октодеревя

Октодеревя представляет собой иерархически упорядоченную структуру данных, используемую для хранения трехмерной информации. Для того чтобы представить трехмерное изображение в виде октодеревя, необходимо его разбить на восемь октантов (подпространств, являющихся результатом сечения пространства тремя взаимно перпендикулярными плоскостями). После разбиения содержимое каждого октанта проверяется на монотонность (равенство яркостей всех пикселей). В случае монотонности октанту присваивается значение 0, что обозначает отсутствие потомков у узла октодеревя, с которым он сопоставлен. В ином случае ему присваивается значение 1, и он снова разбивается на восемь частей, каждая из которых подвергается описанной выше проверке. Алгоритм рекурсивно повторяется до тех пор, пока не достигается монотонность каждого блока (в худшем случае блок будет размерностью совпадать с вокселем – трехмерным аналогом пикселя). Полученное таким образом октодеревя хранится в двух файлах. В одном файле содержится информация об иерархии вложенности октантов друг в друга (последовательность битов, каждый из которых указывает, был ли разделен соответствующий узел октодеревя). Другой файл хранит в себе значения яркости цвета монотонных блоков, которые соответствуют листьям октодеревя. Подобный способ хранения получившегося октодеревя дает преимущества в компрессии. Наглядная иллюстрация октодеревя приведена на рис. 1, из которого видно, что октант под номером 4 не является монотонным и подвергается разбиению на субоктанты, что также отражено на структуре октодеревя, изображенного ниже.

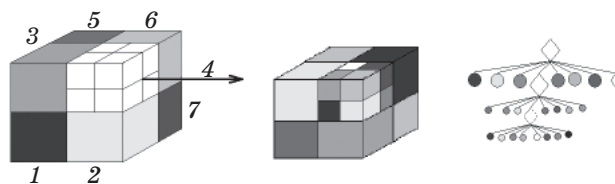


Рис. 1. Пример октодеревя. Геометрическая нормализация биомедицинских изображений для эффективного представления и сжатия с помощью октодеревя (пояснения в тексте).

Выявление регулярных структур на биомедицинских изображениях

В существующих методах сжатия изображений не учитываются закономерности глобального характера, такие как наличие границ, геометрических примитивов, периодических сдвигов и прочих особенностей структуры изображений. Учет подобных закономерностей на изображениях может существенно улучшить степень сжатия информации при кодировании изображений. В частности, на многих снимках биотканей, полученных методами оптической когерентной томографии (ОКТ), прослеживается достаточно четкая граница перепада яркости, которая имеет регулярный характер от слоя к слою.

Предлагаемый в данной работе алгоритм выравнивания осуществляет поиск смещения границы между областью объекта, исследуемого методом ОКТ, и фоном, на котором проводилось исследование (либо между областями объекта). Поиск происходит послойно, для каждого двумерного сечения трехмерного объекта. Смещения границы оценивают на основе критерия минимума среднеквадратичного отклонения значений яркости пикселей между двумя соседними столбцами, рассчитываемого по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{y=1}^N (f_{x,y} - f_{x-1,y})^2},$$

где N – количество пикселей в столбце (высота изображения), $f_{x,y}$ – яркость пикселя с ординатой y в столбце с абсциссой x , $f_{x-1,y}$ – яркость пикселя с той же ординатой в предыдущем столбце, σ – среднеквадратичное отклонение. Для обеспечения возможности реконструкции исходного изображения необходимо осуществлять сдвиги циклически, чтобы не происходила потеря информации и сохранять значения измеренных сдвигов в отдельном файле. Разработанный алгоритм выравнивания состоит из пяти шагов:

1. Выбирается первый столбец, которому присваивается сдвиг, равный нулю.

2. Для каждого последующего столбца оценивается его сдвиг относительно предыдущего столбца путем поиска такого сдвига, при котором среднеквадратичное отклонение яркостей двух столбцов оказывается минимальным.

3. Вычисляется сдвиг каждого столбца относительно нулевого путем последовательного суммирования всех дифференциальных сдвигов предыдущих столбцов.

4. Циклически без потери информации сдвигаются пиксели столбца по вертикали на величину оцененного сдвига.

5. Информация о сдвигах сохраняется в отдельном файле.

Для повышения точности оценок сдвигов рассмотрена также модификация алгоритма, в которой сдвиги измеряются не относительно предыдущего столбца, а относительно столбца с наименьшей абсциссой, с которым корреляция текущего столбца оказывается максимальной. Результаты работы алгоритма и исходные изображения приведены на рис. 2.

После выполнения выравнивания столбцов каждого слоя (сечения трехмерного изображения) аналогичная процедура выполняется для выравнивания отдельных слоев трехмерного изображения между собой. Отличие этой процедуры заключается лишь в том, что произ-

водится поиск сдвигов не между столбцами, а между двумерными изображениями. Именно эти выровненные трехмерные изображения далее подвергаются сжатию с помощью их представления в форме октодерев.

Экспериментальные результаты

Изображения рассматриваемого типа в ОКТ имеют высокий уровень шума, в связи с чем при их представлении в форме октодерев с листьями, соответствующими монотонным областям, объем конечных областей оказывается малым. Иными словами, размер областей в данном случае определяется не столько однородностью изображения, сколько шумами. В этой связи эффект от выравнивания данных изображений с помощью представления в форме октодерев может зависеть от степени подавления шума.

В работе [5] был описан метод сжатия с потерями на основе представления данных в форме октодерев. Суть его заключается в предварительном применении медианной фильтрации к исследуемому трехмерному объекту. Для исследований использовали два типа трехмерных данных. Условно назовем их набором данных № 1, иллюстрируемым на рис. 2а, и № 2 на рис. 2в. На рис. 2б представлен слой с выровненным изображением, представленным на

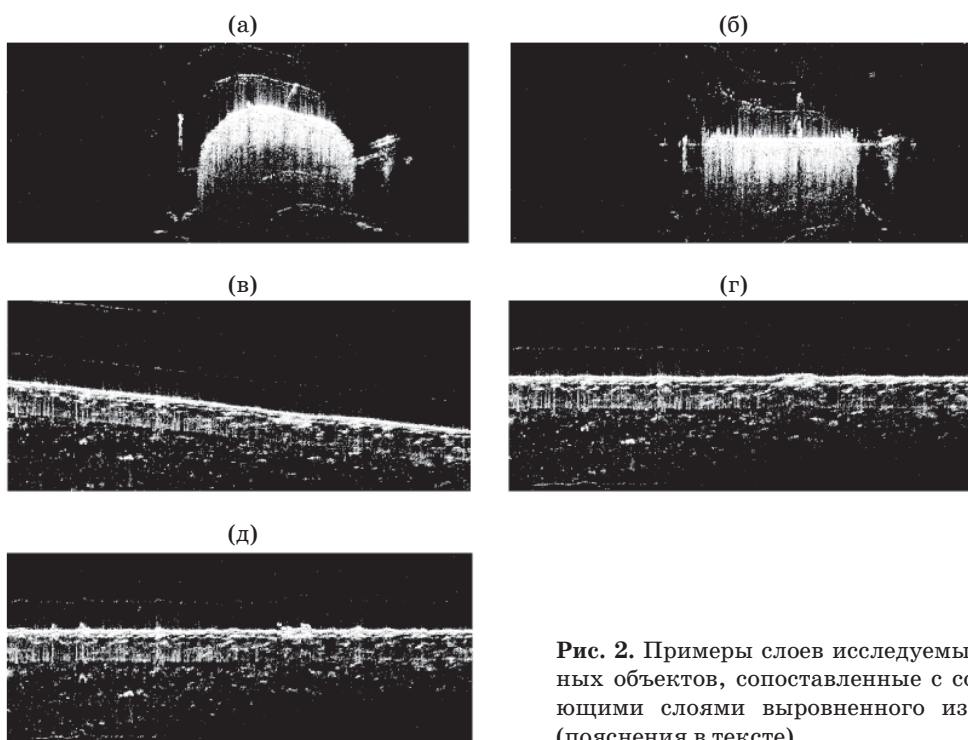


Рис. 2. Примеры слоев исследуемых трехмерных объектов, сопоставленные с соответствующими слоями выровненного изображения (пояснения в тексте).

рис. 2а. На рис. 2г и 2д показаны выровненные изображения, соответствующие рис. 2в, с предобработкой и без нее, соответственно.

В табл. 1 представлены результаты сжатия без потерь отдельно методом октодеревя (ОД) и алгоритмом выравнивания (после осуществления выравнивания производилось сжатие в формате PNG). Приведены также размеры исходных изображений, сжатых алгоритмом PNG, и не сжатых.

Поскольку структура октодеревя имеет явно блочный вид, минимальный размер блоков разбиения сильно зависит от послышной монотонности трехмерного изображения. Таким образом, выявление любого рода регулярных структур на изображении, в частности границ, и их переориентация (выравнивание в случае границ), должны давать выигрыш при сжатии методом октодеревя. Однако необходимость сохранения информации о выравнивании может также приводить к небольшому увеличению объема информации.

В табл. 2 приведены результаты совместного применения метода сжатия с использованием октодеревя с потерями и алгоритма выравнивания (ОДВ). Результаты приведены для масок медианного фильтра различного размера.

Как следует из табл. 2, совмещенный метод дает выигрыш в сжатии при достижении определенного размера маски. Для объекта № 1 такой размер маски равен 9×9, а данные об объекте № 2 лучше сжимаются уже при размере маски 5×5. Видно, что с ростом размера маски объем данных, сжатых совмещенным методом, уменьшается быстрее, нежели размер массива изображений, сжатых с применением октодеревя без предварительного выравнивания. При этом результирующий выигрыш может составлять до 5%.

Заключение

Предложен метод сжатия трехмерных биомедицинских изображений, являющийся комбинацией метода сжатия с использованием октодеревя с потерями и алгоритма выравнивания.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Soares L., Menier C., Raffin B., Roch J.-L. Parallel Adaptive Octree Carving for Real-time 3D Modeling // IEEE Virtual Reality Conference. 2007. P. 273–274.

Таблица 1. Результаты сжатия трехмерных изображений без потерь

№ изображения	Объем (октодеревя), Мб	Объем (после выравнивания), Мб	Объем (сжатый PNG), Мб	Объем (несжатый), Мб
1	109	110	156	240,8
2	75	68,3	105	154

Таблица 2. Результаты сжатия с потерями совмещенным методом

Размер маски	Объект № 1 (ОД), Мб	Объект № 1 (ОДВ), Мб	Объект № 2 (ОД), Мб	Объект № 2 (ОДВ), Мб
3×3	59,9	60,6	46,7	46,7
5×5	40,7	41,1	34,5	34,1
7×7	34,9	35	29,7	29,3
9×9	32,4	32,3	27,6	26,8
11×11	30,8	30,5	25,9	25,2
13×13	29,5	29,1	24,7	23,8
15×15	28,3	27,8	23,6	22,6

вания. Метод был применен к двум образцам трехмерных объектов.

Показана эффективность комбинированного метода при больших размерах маски медианного фильтра по сравнению с методом октодеревя без предварительного выравнивания. При этом комбинация методов обеспечивает высокую эффективность сжатия для объектов с четко определенной границей между слоями (объект № 2), поскольку именно в этом случае лучше учитывается связность по глубине для трехмерных изображений. В рамках данного исследования повышение эффективности сжатия комбинированным методом достигало 5% по сравнению с методом сжатия при помощи октодеревя.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

2. *Szeliski R.* Rapid Octree Construction from Image Sequences // CVGIP: Image Understanding. 1993. V. 58. № 1. P. 23–32.
 3. *Siddiqui R.A., Celasun I., Bayazit U.* Octree Based Compression of Volumetric and Surface 3D Point Cloud Data // Proc 13th Int'l Conf. on Virtual Systems and Multimedia, VSMM 2007. P. 278–282.
 4. *Kochunov P.V., Lancaster J.L., Fox P.T.* Accurate High-Speed Spatial Normalization Using an Octree Method // NeuroImage. 1999. V. 10. P. 724–737.
 5. *Жданов И.Н., Потапов А.С., Щербачев О.В.* Метод сжатия трехмерных биомедицинских изображений на основе представления информации в форме октодеревя // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. Т. 79. № 3. С. 100–104.
-