

УДК 004.415.2

ХЭШ-ТЕЙЛОВАЯ ПИРАМИДАЛЬНАЯ РЕОРГАНИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Побаруев В.И., к.т.н., с.н.с., НИИ «Фотон» Рязанского государственного радиотехнического университета, тел. (4912) 46-03-72, e-mail: foton@rsreu.ru

Светелкин П.Н., к.т.н., с.н.с., НИИ «Фотон» Рязанского государственного радиотехнического университета, тел. (4912) 46-03-72, e-mail: foton@rsreu.ru

Ключевая слова: дистанционное зондирование земли, обработка данных, матрица изображений, пирамидальное перемешивание строк, организация памяти.

Рассматривается метод реорганизации матриц изображений в виртуальной памяти программных систем обработки данных дистанционного зондирования Земли, обеспечивающий высокую скорость при интерактивной обработке видеоданных сверхбольшого объема за счет пирамидального перемешивания данных.

Введение

Развитие средств космической съемки идет по пути повышения разрешения снимков и увеличения полосы захвата, что приводит к росту объемов изображений. Например, на космическом аппарате (КА) «Ресурс-ДК», установлено электронное съемочное устройство сканерного типа, выполняющее съемку земной поверхности в трех спектральных диапазонах. В результате съемки формируются спектральнозональные изображения размером до 36000×300000 пикселей, соответственно, такой многозональный снимок может занимать более 60 Гбайт дискового пространства. Интерактивная обработка изображений таких объемов на современных персональных компьютерах требует разработки специальных методов видеоинформационного обмена.

Современные программные средства обработки изображений больших объемов решают проблему организации эффективного видеоинформационного обмена по-разному. Наиболее эффективным в настоящее время подходом является создание подсистемы виртуальной памяти. Собственная подсистема виртуальной памяти необходима для преодоления ограничений адресуемой памяти, например, в 32-разрядных операционных системах семейства Windows, а также для обеспечения более эффективного кэширования данных на основе априорных знаний о процессе обработки.

Наиболее простой является матричная организация виртуальной памяти, когда образ изображения в неизменном виде располагается в файле и отображается на оперативную память (либо загружается построчно). Однако матричная организация имеет главный недостаток: неоптимальная работа с памятью, диском и файлом подкачки при геометрической обработке, а также недостаточная скорость отображения изображений при уменьшении масштаба отображения.

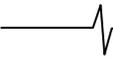
Для ускорения геометрической обработки наиболее эффективно использование тейловой организации видеоданных [1]. Подобная организация данных используется, например, в таких широко распространенных программных продуктах, как ERDAS, PHOTOMOD. Однако при тейловой организации доступ к сверхбольшим

изображениям при уменьшении масштаба просмотра также выполняется довольно медленно из-за необходимости чтения всего тейла данных в операции отображения, хотя реально требуются лишь отдельные байты тейла. Для ускорения операции отображения изображений на мониторе в уменьшенном масштабе, например, в программном комплексе ERDAS IMAGINE, используется пирамида изображений [2]. Но, как показали практические исследования, использование пирамидального представления изображений в памяти тоже имеет ряд недостатков. Во-первых, необходимо дополнительно хранить в памяти и на диске несколько пирамидальных уровней изображения, на создание которых затрачивается некоторое время. Во-вторых, при интерактивной обработке изображений необходима синхронизация между обработанным изображением и его пирамидальными представлениями, что требует дополнительных вычислительных затрат.

Описание метода

Для устранения указанных выше недостатков предлагается хэш-тейловый пирамидальный метод организации видеоданных, основанный на реорганизации матрицы изображения с целью обеспечения быстрого доступа к данным при различных масштабах отображения. Данный метод использует хэширование (перемешивание) строк матрицы с целью формирования пирамидальных образов без увеличения объема самой матрицы. При этом возможно перемешивание как по строкам, так и по столбцам одновременно. В настоящей работе для упрощения понимания метода рассматривается хэш-тейловая организация памяти с хэшированием только по строкам.

Для пояснения идеи предлагаемого метода рассмотрим вначале пример тейловой организации, который показан на рис. 1. Экспериментально размеры тейла установлены следующие: количество строк $Q_{cmp} = 16$, длина подстроки $L_{cmp} = 4096$ байт. Таким образом, первая строка изображения длиной 36000 пикселей (стандартная ширина кадра от КА «Ресурс-ДК») и радиометрическим разрешением 16 бит/пиксель располагается в первой строке тейлов 0-17. При этом количест-



во элементов в строке тейла зависит от радиометрического разрешения снимка и числа спектральных каналов. Обмен с оперативной и дисковой памятью производится всегда целыми тейлами.

Рассмотрим тейловую организацию памяти в сравнении с хэш-тейловой организацией. Применительно к рис. 1 расположение строк в тейлах при тейловой и хэш-тейловой организациях показано на рис. 2.

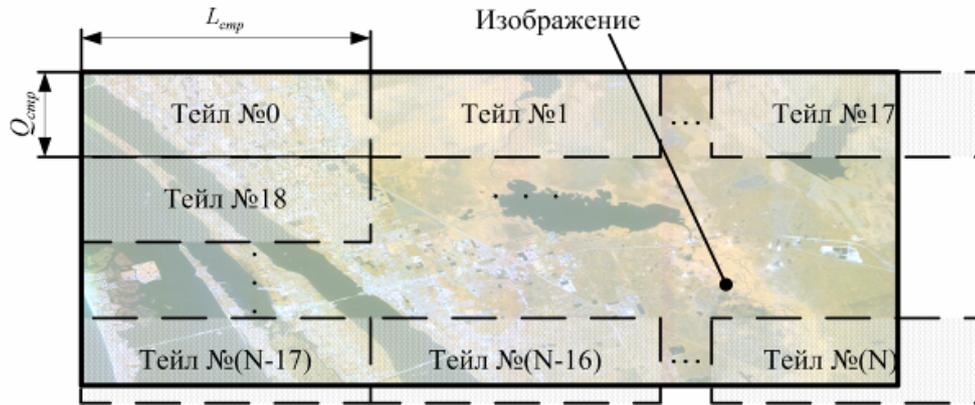


Рис. 1. Расположение изображения в памяти при тейловой организации

Номер строки изображения

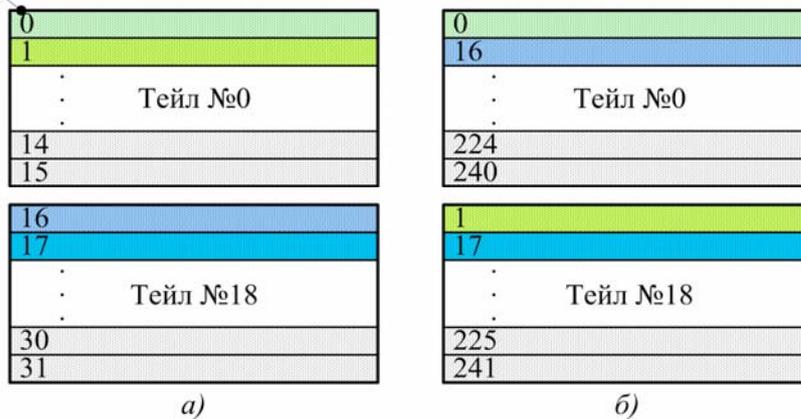


Рис. 2. Расположение строк изображения в тейлах: а – тейловая организация, б – хэш-тейловая организация.

Из рис. 2 видно, что при хэш-тейловой организации в тейлы помещаются строки с межстрочным интервалом $S = 16$, который подобран эмпирически. Такой подход обеспечивает последовательное расположение данных на диске организованных в виде прореженных образов изображений.

При считывании части строки изображения с номером n , начиная с номера пикселя m необходимо определить номер тейла, в котором находится строка и смещение начала части строки относительно начала тейла.

При тейловой организации номер тейловой строки в матрице тейлов определяется по формуле

$$NMT_{стр} = n / Q_{стр}, \quad (1)$$

где $NMT_{стр}$ – номер тейловой строки в матрице тейлов. Затем определяется номер тейла NT в матрице тейлов,

$$NT = NMT_{стр} \cdot QMT_{стб} + N_{поз} / Q_{стр}, \quad (2)$$

$$N_{поз} = m \cdot Q_{кан} \cdot Q_{бп},$$

где $QMT_{стб}$ – количество столбцов в матрице тейлов, $N_{поз}$ – позиция пикселя в байтах, $Q_{кан}$ – количество каналов изображения, $Q_{бп}$ – разрядность изображения (байт/пиксель). Смещение $NT_{см}$ первого пикселя запрашиваемой строки n относительно начала тейла оп-

ределяется по формуле

$$NT_{см} = (n \bmod Q_{стр}) \cdot L_{стр} + (N_{поз} \bmod L_{стр}), \quad (3)$$

где \bmod – операция вычисления остатка от деления.

При хэш-тейловой организации номер тейловой строки в матрице тейлов вычисляется по формуле

$$NMT_{стр} = \frac{n}{Q_{стр} \cdot S} \cdot S + (n \bmod Q_{стр}). \quad (4)$$

Заметим, что в формуле (4) сокращать на S нельзя, т.к. все операции являются целочисленными. Номер тейла определяется по формуле (2). Смещение первого пикселя относительно начала тейла:

$$NT_{см} = \frac{n \bmod (Q_{стр} \cdot S)}{S} \cdot L_{стр} + (N_{поз} \bmod L_{стр}), \quad (5)$$

На основе приведенных формул были реализованы механизмы тейловой и хэш-тейловой организации, а также получены оценки временных затрат. Замеры времени проводились на персональном компьютере с процессором Pentium 4 3 ГГц, 2 Гбайт оперативной памяти (ОП). Для проведения первого теста (табл. 1) был установлен размер кэша приложения 1,3 Гбайт, количество строк изображения составляло 15000. Это необходимо для того, чтобы фрагмент считываемого изображения полностью помещался в кэш приложения.

Таблица 1

Временные затраты на считывание 15000 строк изображения

	Строчная организация		Тейловая организация		Хэш-тейловая организация	
	а)	б)	а)	б)	а)	б)
Последовательное считывание строк	18,72	0,05	18,56	1,19	18,42	1,17
Считывание каждой 16 строки	6,86	0,03	18,95	0,13	18,80	0,08

а – время первого считывания, с; б – время повторного считывания, с.

Таблица 2

Временные затраты на считывание 105000 строк изображения

	Строчная организация		Тейловая организация		Хэш-тейловая организация	
	а)	б)	а)	б)	а)	б)
Последовательное считывание строк	313,0	443,22	231,14	146,36	296,89	166,59
Считывание каждой 16 строки	119,80	51,72	238,50	146,67	161,67	12,45
Считывание каждой 64 строки	24,44	6,67	110,83	36,88	5,02	0,03

а – время первого считывания, с; б – время повторного считывания, с.

Из табл. 1 видно, что если изображение полностью помещается в кэш приложения, то время последовательного считывания с диска при строчной, тейловой и хэш-тейловой организациях практически одинаково. При считывании каждой 16 строки строчная организация выигрывает в 2,7 раза при первом считывании, это связано с предвыборкой данных с диска при считывании в уменьшенном масштабе. Видно, что при небольших размерах изображения строчная организация выигрывает у тейловой и хэш-тейловой организаций за счет более быстрой и простой программной реализации.

Учитывая, что целью настоящей работы является ускорение работы со сверхбольшими изображениями, необходимо получить оценки для изображения большего объема, например, с количеством строк 105000 (для тестов использовалось реальное изображение). Для достоверности этого теста необходимо, чтобы размер ОП, выделенной под кэш приложения, был более чем в 2 раза меньше, чем размер занимаемого изображением дискового пространства, деленный на $Q_{cmp} = 16$. То есть необходимо проанализировать скорость подгрузки хэш-тейловых блоков с диска в процессе отображения изображения с масштабом не менее 1:16. Так как тест выполнялся применительно к изображению размером 36000×105000 пикселей, то занимаемое дисковое пространство составляет примерно 7210 Мбайт. Отсюда, размер кэша приложения в ОП должен составлять менее чем $7210 / (16 \cdot 2) \approx 225$ Мбайт. Для выполнения теста (табл. 2) был установлен размер кэша приложения равный 219 МБ.

Как видно из табл. 2, при хэш-тейловой организации наблюдается ускорение при работе с файлом подкачки приложения. При последовательном считывании изображения, не помещающегося в кэш, хэш-тейловая организация проигрывает по времени тей-

ловой в среднем в 1,2 раза и незначительно выигрывает у строчной. Это связано с разницей в предвыборках данных с диска. При считывании каждой 16-й строки получаем выигрыш хэш-тейловой организации в 1,5 раза над тейловой организацией и проигрыш в 1,3 раза строчной организации при первом считывании. При повторном считывании каждой 16-й строки получаем выигрыш в 11,8 раза в сравнении с тейловой и в 4,2 раза в сравнении со строчной организациями. При дальнейшем уменьшении масштаба преимущество хэш-тейловой организации в скорости считывания данных увеличивается.

Вторым средством ускорения отрисовки изображения при смене масштаба является подмена строк. Без подмены строк при отрисовке изображения, например, в масштабе просмотра 1:16 считывается каждая 16-я строка, а при переходе к масштабу 1:19 – каждая 19-я строка, т.е. при изменении масштаба приходилось каждый раз считывать большие объемы данных. При использовании подмены строк в масштабе 1:19 отрисовывается не каждая 19-я строка, а берется ближайшая строка из масштаба с ближайшим меньшим номером, равным степени двойки k . Например, без подмены строк отрисовываются строки с номерами 0, 19, 38, 57, 76, 95 и т.д., при использовании подмены, исходя из того, что ближайший меньший к 1:19 масштаб 1:16 ($2^k = 2^4 = 16$), отрисовываются строки 0, 16, 32, 64, 80, 96 и т.д. Таким образом, новая информация при переходе от масштаба 1:16 к масштабу 1:19 практически не считывается, за счет этого и достигается высокая скорость отрисовки. В табл. 3 приведено сравнение объемов считываемой с диска информации при визуализации изображения на экране с разрешением 1280×1024 пикселей при смене масштаба 1:16 на 1:19.

Сравнение объемов считываемых с диска данных

	Объем считываемых данных	
	без подмены строк	с подменой строк
Масштаб 1:16	87,9 Мбайт (1280 строк по 70,3 Кбайт)	87,9 Мбайт (1280 строк по 70,3 Кбайт)
Переход к масштабу 1:19	87,9 Мбайт (1280 строк по 70,3 Кбайт)	16,5 Мбайт (дополнительно считываем 240 строк по 70,3 Кбайт)



Рис. 3. Фрагмент изображения в масштабе 1:16: а – без интерполяции, б – с интерполяцией

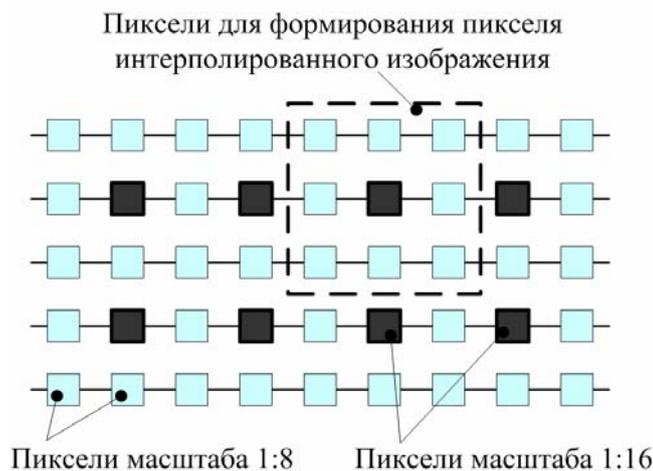


Рис. 4. Пример формирования интерполированного изображения при отрисовке в уменьшенном масштабе

Из табл. 3 видно, что за счет применения подмены строк, получаем более чем 5-кратное уменьшение объема считываемых данных при переходе от масштаба 1:16 к 1:19. При последовательной смене масштаба, т.е. при смене масштаба 1:16 на 1:17, получаем более чем 16-кратное уменьшение объема считываемых с диска данных, благодаря подмене строк по сравнению с обычным подходом.

Заметим, что при уменьшении масштаба просмотра изображения появляется «зернистость» (рис. 3, а), для ее устранения реализована интерполяция изображения (рис. 3, б). Для интерполяции берется масштаб уменьшения $1:2^{k-1}$ и отрисовывается средняя яркость по девяти ближайшим пикселям, как показано на рис. 4, т.е. при отрисовке в масштабе 1:16 ($1:2^k$) информация для яркостной интерполяции берется из масштаба 1:8 ($1:2^{k-1}$).

Заключение

Результаты практических испытаний показали, что предложенный метод хэш-тейловой пирамидальной организации видеоданных превосходит по быстродействию используемый в ERDAS IMAGINE. При этом не требуется дополнительных затрат дискового пространства и временных затрат на создание пирамиды.

Рассмотренный механизм хэш-тейлового пирамидального представления реализован в программных комплексах GeoScan, OrthoNormScan и других, разработанных в НИИ «Фотон» при РГПТУ и применяющихся для обработки изображений от КА «Ресурс-ДК». Практическое использование этого программного обеспечения получило высокие оценки со стороны потребителей.

Литература

1. JieBing Yu, David J. DeWitt. Processing Satellite Images on Tertiary Storage: A Study of the Impact of Tile Size on Performance. Proceedings of the 1996 NASA Conference on Mass Storage Systems, College Park, Maryland, September 1996.
2. ERDAS Field Guide. Fifth Edition, Revised and Expanded. 1999.

PYRAMIDAL HASH-ENCODING IMAGE MATRIX REORGANIZATION FOR**REMOTE SENSING DATA PROCESSING SYSTEMS***Pobaruev V.I., Svetelkin P.N.*

Method of image matrix reorganization of PC virtual memory for remote sensing data processing systems is consider. The goal of method is a high-water mark interactive performance of system by the use of pyramidal hash-encoding mass data images.



13-я Международная Конференция
**ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ
 И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ**

30 марта – 01 апреля 2011 г., Москва, Россия
The 13th International Conference **DIGITAL SIGNAL PROCESSING
 AND ITS APPLICATIONS**

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО*Уважаемый коллега!*

*Приглашаем Вас принять участие в работе 13-й Международной конференции
 «Цифровая обработка сигналов и ее применение»,
 которая состоится в Москве 30 марта – 01 апреля 2011 года*

ОРГАНИЗАТОРЫ:

- Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова
- IEEE Signal Processing Society
- Российская секция IEEE
- Институт радиотехники и электроники РАН
- Институт проблем управления РАН
- Институт проблем передачи информации РАН
- Московский научно-исследовательский телевизионный институт (ЗАО МНИТИ)
- Компания AUTEX Ltd. (ЗАО «АВТЭКС»)

ПРИ УЧАСТИИ:

- Федеральное агентство по промышленности РФ
- Министерство образования и науки РФ
- ФГУП «ГРЧЦ»
- ГСКБ «АЛМАЗ-АНТЕЙ»
- ЗАО «Инструментальные системы»
- НТЦ «МОДУЛЬ»
- ЗАО «СКАН Инжиниринг Телеком»
- ГУП НПЦ «Элвис»
- Владимирский государственный университет
- Московский авиационный институт
- Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
- Московский институт радиотехники, электроники и автоматики
- Московский технический университет связи и информатики
- Московский энергетический институт
- Рязанский государственный радиотехнический университет
- Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
- Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет - ЛЭТИ
- Ульяновский государственный технический университет
- Ярославский Государственный Университет
- Московский Физико-технический институт (университет)

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ:

- Теория сигналов и систем
- Теория и методы ЦОС
- Цифровая обработка многомерных сигналов
- Цифровая обработка речевых и звуковых сигналов
- Цифровая обработка изображений
- ЦОС в системах телекоммуникаций
- ЦОС в радиотехнических системах
- ЦОС в системах управления и робототехники
- Цифровая обработка измерительной информации
- Нейрокомпьютерная обработка сигналов и изображений
- Цифровое телевидение
- Цифровое радиовещание
- ЦОС в системах защиты информации
- Проектирование и техническая реализация систем ЦОС
- ЦОС в открытых системах
- Проблемы подготовки специалистов в области ЦОС

По опыту прошедших «DSPA», оказалось очень эффективным местом общения для всех участников мероприятия. - представителей науки и производства, заказчиков и разработчиков, потребителей и поставщиков, преподавателей и студентов, работодателей и соискателей, научно-технических издательств и читателей.

РАБОТА КОНФЕРЕНЦИИ будет организована в форме пленарных и проблемно-тематических заседаний, стендовых докладов и заседаний «круглого стола». **В качестве пленарных** будут заслушаны заказные доклады по основным направлениям работы Конференции.

Рабочие языки конференции - **русский и английский.**