УДК 004.932

**Применение графических процессоров для быстрого сжатия изображений в формате JPEG 2000 для ракетно-космических целей**

Артюшенко Владимир Михайлович

Доктор технических наук, профессор

Самаров Евгений Кимович

Кандидат технических наук, доцент

Московский государственный областной

технологический университет

141090, Московская область, г. Королев, ул.Гагарина, 42

Стреналюк Юрий Вениаминович,

Доктор технических наук, профессор

ФГБУ 4 ЦНИИ Минобороны России

141090, г. Королев, мкр. Юбилейный, ул. Тихонравова, 29

*В статье описаны способы измерения скорости работы программного обеспечения для обработки изображений в формате JPEG 2000, а также полученные авторами результаты по сжатию изображений в этом формате.*

Ключевые слова: цифровые изображения, JPEG 2000, сжатие изображений, скорость сжатия изображений.

**Цифровые изображения**

В цифровых фотоаппаратах светочувствительная фотоматрица имеет форму прямоугольника или квадрата, на которой в узлах равномерной прямоугольной решетки размещены регистрирующие датчики. При попадании света каждый из регистрирующих датчиков генерирует электрический ток, зависящий от яркости падающего света. Величины тока формируют Raw (сырые, необработанные) файлы, содержащие наиболее полную информацию об изображении, предоставляемую используемым цифровым регистрирующим прибором, но для работы с Raw-файлами требуются специальные компьютерные программы. В результате обработки Raw-файл черно-белого (монохромного) цифрового изображения преобразуется в числовую матрицу $I\_{m,n}$, состоящую из пикселей и имеющую $m$ строк и $n$ столбцов:

$$I\_{m,n}=\left(\begin{matrix}i\left(0,0\right)&\cdots &i\left(0,n-1\right)\\\vdots &\ddots &\vdots \\i\left(m-1,0\right)&\cdots &i\left(m-1,n-1\right)\end{matrix}\right)$$

Raw-файл цветного (хроматического) изображения преобразуется в три матрицы $R\_{m,n}$, $G\_{m,n},$ $B\_{m,n}$, имеющие такой же тип, как и у матрицы $I\_{m,n}$*,* элементы которых суть красные (Red), зеленые (Green) и синие (Blue) пиксели соответственно. В случае монохромных изображений цифровая обработка заключается в различных формах компьютерной обработки матриц $I\_{m,n}$. В случае цветных изображений аналогичной компьютерной обработке подвергается каждая из матриц $R\_{m,n}$, $G\_{m,n},$ $B\_{m,n}$.

Цифровые изображения подразделяются на три класса: растровые изображения, векторные изображения и изображения смешанного типа. Растровые изображения состоят из пикселей. Векторные изображения состоят из геометрических примитивов – точек, линий, многоугольников и т.д. Векторные изображения являются синтетическими, большинство растровых изображения получается в результате фото и видео съёмок. Данная статья посвящена цифровой обработке растровых изображений.

В зависимости от рассматриваемой задачи при обработке изображений иногда вместо цветового пространства RGB используют другие цветовые пространства. В формате JPEG обработка цветных изображений начинается с перехода от цветового пространства RGB к цветовому пространству YCrCb*,* в котором переменную Yназывают яркостной переменной, а переменные CrиCb *–* цветоразностными переменными. Если при помощи изменения масштаба цветовой куб RGBсо стороной 1 преобразовать в цветовой куб стороной $2^{7}$, то переменные R,G,Bстанут целыми числами, а переменныеY, Cr, Cb будут выражаться через нихпо формуле:

$\left(\begin{matrix}Y\\Cr\\Cb\end{matrix}\right)=\left(\begin{matrix}0,299&0,587&0,114\\0,5&-0,4184&-0,0813\\-0,1687&-0,3313&0,5\end{matrix}\right)\left(\begin{matrix}R\\G\\B\end{matrix}\right)-\left(\begin{matrix}0\\128\\128\end{matrix}\right),$ (1)

причем в формуле (1) значения переменных Y, Cr, Cb, полученные в результате перемножения и вычитания матриц, необходимо округлить до ближайших целых чисел. Обратный переход от цветового пространства YCrCbк цветовому пространству RGB осуществляется по формуле:

$\left(\begin{matrix}R\\G\\B\end{matrix}\right)=\left(\begin{matrix}1&1,402&0\\1&-0,7141&-0,3441\\1&0&0,5\end{matrix}\right)\left(\begin{matrix}Y\\Cr+128\\Cb+128\end{matrix}\right). $ (2)

В формуле (2) полученные значения переменных R, G, B нужно также, как и в формуле (1), округлить до ближайших целых чисел.

Одним из важнейших этапов цифровой обработки изображений является сжатие (компрессия) изображений [1], [2]. Наиболее хорошо приспособлены для сжатия растровые изображения в форматах JPEG, JPEG 2000, PNG и ICER, причем каждый из этих программных пакетов служит не только форматом, предназначенным для записи данных изображений, но и алгоритмом, а также стандартом, осуществляющим цифровую обработку изображений. Несмотря на то, что стандарты JPEG и PNG обладают меньшим набором возможностей по сравнению с JPEG 2000, распространены стандарты JPEG и PNG значительно шире.

Стандарт JPEG 2000 создан в 2000 году и является более современным, чем JPEG, и для научных целей подходят более. Цифровая обработка изображений в нем базируется, в отличие от стандарта JPEG, на технологии вейвлет-преобразований [3], что позволяет обрабатывать цифровые изображения в целом и добиваться более высокой степени сжатия. Для сжатия изображений без потери качества в алгоритме JPEG 2000 используются вейвлеты Коэна-Добеши-Фово, обозначаемые *cdf* 5/3, а для сжатия изображений с потерями качества – вейвлеты Коэна-Добеши-Фово *cdf* 9/7. Алгоритм JPEG 2000 может обрабатывать изображения, объем которых достигает 232 - 1 в каждом измерении, что недоступно для алгоритма JPEG. Под общим названием «Алгоритм JPEG 2000» объединены 12 различных алгоритмов, осуществляющих различные этапы цифровой обработки изображений. В настоящее время алгоритм JPEG 2000 используется для обработки цифровых изображений, полученных со спутников [4, 5], от медицинских приборов, а также в цифровом кино.

Основные возможности стандарта JPEG 2000.

1. Устойчив к ошибкам в битах, возникающим в устройствах связи и хранения информации.
2. Демонстрирует высокое качество цифровой обработки изображений при работе с видео и ТВ-контентом.
3. Демонстрирует высокое качество цифровой обработки изображений при работе, как с естественными фотографиями, так и с синтетическим контентом.
4. Потери качества, вызываемые итерациями кодирования/декодирования, незначительны.
5. Предусмотрена возможность получения изображений с указанным заранее объемом или с указанным заранее качеством.
6. Обладает высокой компрессией.
7. Является наиболее перспективным для авиакосмических изображений.

Недостатки стандарта JPEG 2000.

1. Из широко известных и распространенных браузеров поддерживается только браузером Safari.
2. Не поддерживается программным обеспечением JPEG.
3. Кодеки JPEG 2000 с открытым исходным кодом работают слишком медленно.

**Способы измерения скорости программного обеспечения**

**для обработки изображений в формате JPEG 2000**

В настоящее время широкое распространение приобретает использование графических процессоров (Graphics Processing Unit или GPU) для проведения вычислений. Это связано с тем, что за счет экономии времени при обращениях к памяти, а также за счет удобства распараллеливания вычисления с применением графических процессорах осуществляются быстрее, чем аналогичные вычисления, реализуемые только на центральных процессорах (Central Processing Unit или CPU). Для измерения производительности софта для обработки изображений в формате JPEG 2000, использующего CPU, существуют два способа.

1. Измерение времени обработки одного изображения.

Способ заключается в измерении интервала времени между доступностью в ОЗУ исходного изображения и доступностью в ОЗУ обработанного изображения и используется в том случае, когда в программном обеспечении не предусмотрена одновременная обработка нескольких изображений и не могут быть использованы преимущества многократного кодирования и декодирования. Более того, как показывает наш опыт, попытки совмещения обработки одного изображения с другими действиями нежелательны, поскольку это увеличивает время обработки изображения в целом. Такая ситуация реализуется практически для всех авиакосмических изображений.

1. Измерение пропускной способности программного обеспечения при пакетной обработке изображений.

Способ состоит в измерении среднего времени обработки одного изображения при обработке всего пакета. Как показывает наш опыт, распараллеливание задач при пакетной обработке изображений приводит в отличие от индивидуальной обработки к увеличению пропускной способности софта. Причина заключается в том, что при пакетной обработке изображений оказалось возможным одновременно использовать центральный процессор, графический процессор и интерфейс шины между ними. В большинстве кодеков JPEG 2000 перечисленные устройства используются последовательно. Особо отметим, что препятствием для одновременной обработки нескольких изображений на GPU, является ограниченность объема графической памяти.

**Результаты измерения скорости сжатия изображений в формате JPEG 2000**

Результаты измерения производительности нашего софта для сжатия изображений в формате JPEG 2000 представлены в таблицах 1 - 4.

**Таблица 1. Кодирование с потерями, одно изображение, 4:4:4, 24-бит**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Разрешение** | **Размер** | **Среднее время кодирования (мс)** | **Скорость****(**мб/с**)** | **Количество кадров в** **секунду** | **Степень сжатия** |
| 2k | 1920 x 1080 | 7,7 | 834  | 140 | 11,55 |
| 4k | 3840 x 2160 | 19,1  | 1240  | 52,2  | 11,58 |

**Таблица 2. Кодирование без потерь, одно изображение, 4:4:4, 24-бит**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Разрешение** | **Размер** | **Среднее время кодирования (мс)** | **Скорость****(**мб/с**)** | **Количество кадров в** **секунду** | **Степень сжатия** |
| 2k | 1920 x 1080 | 10,7 | 554 | 93,4 | 2,017 |
| 4k | 3840 x 2160 | 36,7 | 646 | 27,2 | 2,669 |

**Таблица 3. Кодирование с потерями, пакетная обработка**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Разрешение** | **Кодовый****блок** | **Количество кадров в секунду** | **Степень сжатия** |
| 2k | 16 x 16 | 293 | 12,0 |
| 2k | 32 x 32 | 319 | 12,0 |
| 4k | 16 x 16 | 87 | 12,0 |
| 4k | 32 x 32 | 83 | 12,0 |

**Таблица 4. Кодирование без потерь, пакетная обработка**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Разрешение** | **Кодовый****блок** | **Количество кадров в секунду** | **Степень сжатия** |
| 2k | 16 x 16 | 117 | 1,934 |
| 2k | 32 x 32 | 125 | 2,017 |
| 4k | 16 x 16 | 33  | 2,537 |
| 4k | 32 x 32 | 37  | 2,669 |

**Список литературы**

1. Самаров Е.К. Исследование и разработка многоканального анализатора качества электроэнергии повышенной точности [Текст]: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук // Черкизово МО: ГОУ ВПО "Московский государственный университет сервиса" – 2006 г. – 144 с.;
2. Артюшенко В.М., Самаров Е.К. Применение алгоритма фильтрации Калмана-Бьюси в задачах анализа качества электроэнергии [Текст] // М: Электротехнические и информационные комплексы и системы – 2006 г. Т. 2. № 1. С. 17-23.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений [Текст] // М.: Техносфера – 2012 г. – 1104 с.;
4. Злобин В.К., Еремеев В.В. Обработка аэрокосмических изображений [Текст] // М.: Физматлит – 2006 г. – 288с.;
5. Емельянов С.Г., Мирошниченко С.Ю., Панищев В.С., Титов В.С., Труфанов М.И. Обработка цифровых аэрокосмических изображений для геоинформационных целей [Текст] // Белгородская обл.: ТНТ, 2012 г. – 176с.