Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

сборник трудов

III Международного форума

"РОБОТЫ - 2012"

Москва 2012

В сборник включены доклады и тезисы трудов международной научной школы-конференции «Инновации в робототехнике, мехатронике, приборостроении и технологическое предпринимательство молодежи»

Главный редактор: ***Голубятников И.В.***
Зам. главного редактора: ***Ивченко В.Д.***
Графическое оформление
и компьютерная верстка: ***Симонова И.В.***

Материал подготовлен к изданию
Управлением научных исследований
Тел. (495) 268-00-16

© МГУПИ

УДК: 004.6+004.9

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ВИДЕОДАННЫХ БЕЗ ПОТЕРИ КАЧЕСТВА В ФОРМАТЕ JPEG

Белов С.П.
Московский государственный университет приборостроения и информатики

В статье рассматривается проблема искажения информации при сжатии изображений, полученных с сенсорных датчиков (в т.ч. робототехники). Предлагается методика вычисления степени сжатия изображений без потери качества.

Ключевые слова: JPEG, MJPEG, сжатие, методика, изображение, RGB, артефакт, эффект Гиббса.

Термин «промышленный робот» впервые появился на страницах американского журнала «American metal & market» в 1960 году. После осознания необходимости модернизации велись работы по созданию роботов второго поколения. Данные роботы оснащались датчиками для выполнения более интеллектуальных функций, нежели копирующие манипуляторы первого поколения.

В роботах второго поколения начинается использоваться адаптивное управление [1]. В нем предусматривается использование сенсорных датчиков. Множество сенсорных датчиков может объединяться в сеть датчиков.

Примером таких сетей являются матрицы фотокамер и видеокамер, состоящих из множества светочувствительных элементов (фотодиодов). Каждый фотодиод матрицы формирует с помощью АЦП один пиксель

изображения, множество фотодиодов формируют изображение определенного разрешения, искусственный интеллект робота анализирует поступившее изображение и на основе этого выполняет необходимые манипуляции.

В настоящий момент использование роботов с фотодиодами различно. В качестве примеров предоставляются не только промышленные роботы:

- компания Sony разработала собаку-робота AIBO в 1999 году, в котором цветная видеокамера «позволяет AIBO искать предметы и узнавать их по цвету и движению» [2]. Это был первый очувствленный бытовой робот второго поколения;
- бытовой робот WowWee Rovio [3], с разрешением цветной видеокамеры 640x480 пикселей и модулем Wi-Fi. Предназначен для слежения за помещениями;
- робот-рабочий Baxter, разработан американской компании Rethink Robotics. Оборудован пятью видеокамерами [4].

Рассмотрим процесс записи видеопотока как процесс последовательной записи графических изображений с определенной частотой. Такой процесс видеозаписи осуществляется кодеком MJPEG [5], осуществляющий сжатие каждого кадра в формат JPEG. У кодека MJPEG есть четыре преимущества: простота реализации, быстрый нелинейный монтаж, качественные стоп-кадры, нетребовательность к ресурсам. Недостатками кодека MJPEG является более низкий коэффициент сжатия (по сравнению с потоковыми методами сжатия) и проявление артефактов при высоких степенях сжатия.

Рассмотрим первый недостаток кодека MJPEG. Увеличение объема файлов ввиду более низкого коэффициента сжатия в настоящие дни может несущественно влиять на характеристики таких устройств, как роботы:

- жесткие диски (HDD) 2,5”, доступные на рынке даже рядовому пользователю, имеют примерно одинаковый вес, несмотря на большие различия в объеме

накопителя. Например, HDD Seagate серии Momentus имеют 400%-ную разницу в объеме накопителя (250GB против 1000GB) и всего лишь 8%-ную разницу в весе (99 граммов против 107 граммов) [6]. Таким образом, увеличение объема диска отразится лишь на стоимости устройства, практически не влияя на его физические характеристики: вес, объем;

– с развитием твердотельных дисков (SSD) разница в весе накопителей будет уменьшаться ещё больше. Сравним, например, KINGSTON V100 SV100S2/32G (объем 32GB, масса 78 граммов) [7] и KINGSTON HyperX SH100S3/480G (объем 480GB, масса 97 граммов) [8]: 1500%-ная разница в объеме накопителя и 24%-ная разница в весе;
– подавляющее большинство современных накопителей на сегодняшний день поддерживает интерфейс SATA-II [9], обеспечивающий максимальную пропускную способность до 375MB/c, в то время как запись 24-битного несжатого видео в формате Full HD требует скорости лишь в 180MB/c (кадры 1920x1080 пикселей с частотой 30 кадров в секунду). Стоит также отметить моральное устаревание интерфейса SATA-II с появлением интерфейса SATA-III в 2009 году.

Можно сделать вывод, что увеличение объема файлов из-за более низкого коэффициента сжатия – легко устранимое препятствие (с технической точки зрения). Однако совсем без сжатия обходиться не стоит, т.к. есть возможность сжатия видео без потери качества.

Рассмотрим второй недостаток кодека MJPEG более детально. Для этого обратимся к описанию общего алгоритма сжатия JPEG. Широкое распространение алгоритм JPEG получил не случайно. Если составить таблицу форматов сжатия изображений [10], можно отметить высокую степень сжатия изображений и невозможность увеличения размера файла в случае минимальной степени сжатия:

Таблица 1

Сравнение параметров методов сжатия изображений

Название	Средняя степень сжатия	Минимальная степень сжатия	Сжатие без потерь
RLE	2	0,5	Да
LZW	4	5/7	Да
CCITT Group 3	2	0,2	Да
Lossless JPEG	2	1	Да
JPEG	101 (2-200, задается пользователем)	2	Нет

Алгоритм JPEG является оптимальным благодаря максимальной и минимальной степеням сжатия и возможностью их вариации, но при этом не является обратимым (за исключением Lossless JPEG, который не получил распространения из-за низкой степени сжатия и отсутствия поддержки разработчиков).

Краткое описание алгоритма JPEG:

- - перевод изображения из цветового пространства RGB («R» - Red, «G» - Green, «B» - Blue) в цветовое пространство YUV [11] («Y» - яркость, «U» - цветоразностная компонента, «V» - цветоразностная компонента);
- изображение разбивается попиксельно на матрицы 8x8 пикселей;
- к матрицам применяется дискретное косинусное преобразование (ДКП);
- к матрицам применяется квантование;
- матрицы преобразуются в 64-элементный вектор;

– вектор свертывается с помощью алгоритма группового кодирования, получаются пары типа «пропуск, число», где «пропуск» - счетчик пропускаемых нулей, «число» - значение, для следующей ячейки;
– к парам применяется алгоритм кодирования Хаффмана (CCITT Group 3).

На четвертом шаге (квантование) происходят основные потери качества, и выражаются они в двух особенностях:

– проявление эффекта Гиббса (ложное оконтуривание на границах с резким переходом цветов). Необратим, вносит в изображение элементы, которые на исходном изображении отсутствуют, идет подмена информации;
– потеря информации внутри матриц 8x8 (появление артефактов). Далее рассматриваются именно эти 2 особенности. Задача будущего практического эксперимента: определить оптимальный процент сжатия JPEG для человеческого глаза.

Эффект Гиббса проявляется на высоких частотах изображения, на кусочно-гладких функциях [12]. Есть работы [13,14], в которых утверждается, что изображение формируется из двух независимых частей: кусочно-гладких контурных пространственных функций (глобальные яркостные изменения) и высокочастотных функций (текстура, мелкие детали, шум). Таким образом, эффект Гиббса начнет сказываться на изображении уже при слабых степенях сжатия.

Артефакт: фактически это потеря высоких частот изображения из-за применения ДКП совместно с квантованием. Считается, что процесс необратим, т.к. информация теряется безвозвратно; но есть работа [15], позволяющая использовать адаптивное дискретное косинусное преобразование для подавления артефактов блочности на изображениях (артефакты JPEG именно блочные).

Существует несколько цветовых пространств, в которых можно представить одно и то же изображение. Несмотря на то, что алгоритм JPEG использует цветовое пространство YUV, на выходе изображение представлено в цветовом пространстве RGB. Сделано это из-за особенности пространства RGB: его дружественности человеческому зрению.

Существует цветовое пространство LAB, также дружественное человеческому глазу. Разработка LAB подразумевала создание цветового пространства, изменение цвета в котором будет более линейным с точки зрения человеческого восприятия. После его создания была выведена величина $\Delta E^*_{ab} \approx 2{,}3$: минимально различимое для глаза человека отличие между цветами.

С учетом вышесказанного, возможна разработка методики для определения оптимального процента сжатия JPEG для человеческого глаза, применимая к пространству RGB. Методика измерения будет включать в себя рекомендации ITU-R BT.500 [16], направляя их именно на изображения. Методика предусматривает использование программы, анализирующей каждый пиксель изображения и вычисляющей необходимую результирующую информацию. Поэтому некоторые формулы в описании методики предоставлены математическими функциями языка программирования Visual Basic v.6.0, нетребовательного к вычислительным ресурсам ЭВМ [17]:

1. Подборка различных изображений, в цветовом пространстве RGB, в формате BMP. Критериями различия считать степень доминирования одного из каналов RGB, общую яркость изображения, общую контрастность изображения, общую резкость изображения;
2. Последовательное уменьшение процента сжатия изображений в JPEG с интервалом 5%. При обнаружении четкого артефакта или эффекта Гиббса - сделать шаг назад и снизить интервал до 1%;

2.1. При каждом уменьшении производить оценку каждого изображения с использованием рекомендации ITU-R BT.500 на предмет эффекта Гиббса и различимости артефакта человеком. Так как визуальное увеличение артефакта влияет на его обнаружение – использовать монитор с определенной диагональю, изображения должны быть одинакового разрешения и показаны на весь экран, использовать фиксированное расстояние между монитором и глазом человека (в зависимости от его диагонали);

2.2. При каждом уменьшении производить оценку каждого изображения математическими методами средствами ЭВМ:

2.1.1. Оценка четкости пикселей на границах примыкающих к артефакту матриц 8x8 пикселей и самого артефакта (в случае, если артефакт различим глазом человека). Это станет определяющей характеристикой заметности артефакта;

2.2.1. Суммарная оценка четкости соседних пикселей внутри матриц 8x8 пикселей, входящих в наблюдающийся эффект Гиббса (в случае, если эффект Гиббса различим глазом человека). Это станет определяющей характеристикой заметности эффекта Гиббса.

2.3.1. Суммарная оценка всех пикселей изображения: цветовое различие между оригиналом и сжатым изображением. Суммарное расхождение цветов поможет определить процент цветового искажения изображения на разных степенях сжатия и, возможно, построить график зависимости процента сжатия JPEG от процента цветового искажения изображения.

1. Определение цветового пространства выполняется с помощью большинства программ графической обработки изображений; например, Adobe Photoshop.

Степень доминирования канала RGB вычисляется путем расчета среднего арифметического интенсивности свечения определенного канала каждого пикселя по формулам:

$$R_{свеч} = \sum_{1}^{n} \mathrm{CDec}(\mathrm{Mid}(\mathrm{hex_color}, 1, 2)) / n,$$

$$G_{свеч} = \sum_{1}^{n} \mathrm{CDec}(\mathrm{Mid}(\mathrm{hex_color}, 3, 2)) / n,$$

$$B_{свеч} = \sum_{1}^{n} \mathrm{CDec}(\mathrm{Mid}(\mathrm{hex_color}, 5, 2)) / n,$$

где $R_{свеч}$, $G_{свеч}$, $B_{свеч}$ - степени интенсивности свечения каналов *R*, *G*, *B* в контексте всего изображения,

hex_color - представление цвета в шестнадцатеричной форме вида "FF00FF": старшая пара цифр - красный канал, средняя - зеленый, младшая - голубой,

Mid - команда выделения из шестнадцатеричного числа цвета определенного канала,

Cdec - преобразование шестнадцатеричного числа канала в десятичное,

n - количество пикселей в изображении.

Общая яркость изображения вычисляется по формуле [18]:

$$Y = 0{,}299 \bullet R_{свеч} + 0{,}587 \bullet G_{свеч} + 0{,}114 \bullet B_{свеч}.$$

Общая контрастность изображения вычисляется по формуле [19]:

$$C = (2 \bullet \sigma) / Y_{\max},$$

где Y_{max} - максимальное значение яркости (в пространстве *RGB* - 255),

σ - вычисляется по формуле [19]:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{p=1}^{n}(Y_p - Y)^2} / \sqrt{n},$$

где p - текущий пиксель изображения,

Y_p - яркость пикселя p,

n - число пикселей в изображении.

Общая резкость изображения вычисляется по формуле [19]:

$$d = \sum_{p=1}^{n-1}\sqrt{(R_p - R_{p+1})^2 + (G_p - G_{p+1})^2 + (B_p - B_{p+1})^2},$$

где n - число пикселей в изображении,

p - текущий пиксель изображения.

2. Нужно учесть, что 100%-ное качество JPEG не означает 2-кратного сжатия изображения, как и 0%-ное качество 200-кратного. Описания зависимости в настоящее время автором статьи найдено не было.

2.1. В рекомендации ITU-R BT.500-13 на русском языке [20] заимствуем следующие условия:

– цветность фона: D_{65}. Означает цветность экрана монитора 6500K;
– яркость других источников света в комнате просмотра: низкая;
– так как условие "максимальный угол обзора по отношению к перпендикуляру" не определено для ЖК-мониторов, предусматриваем его равным 5° (при большем вертикальном угле возможны цветовые искажения из-за особенностей матриц ЖК-мониторов);
– количество наблюдателей, не являющихся экспертами: любое менее 15 (т.к. проводимое исследование с ограниченной сферой охвата);
– продолжительность сеанса: не более получаса, для исключения физической усталости;

– использование пятибалльной шкалы оценки артефактов и эффекта Гиббса: 5 (незаметно), 4 (заметно, но не раздражает), 3 (слегка раздражает), 2 (раздражает), 1 (очень раздражает). Оценку "4" уже можно воспринимать как ухудшение качества изображения;
– время для просмотра одного изображения: 23 секунды;
– интерпретация результата: для каждого изображения указывается средняя результирующая оценка наблюдателей.

2.2. Для математических расчетов средствами ЭВМ использование формулы Евклидова пространства может оказаться ресурсоемким и продолжительным процессом (если таковым пространством представлять пространство RGB: оно трехмерно и линейно, на чем и основана формула общей резкости изображения). Связано это с большим процессорным временем, затрачиваемым на операцию извлечения квадратного корня. При практическом эксперименте возможна разработка альтернативной формулы расчета резкости изображения.

2.2.1. 2.2.2. При расчете четкости пикселей используется преобразованная формула общей резкости изображения:

$$d_p = \sqrt{(R_p - R_{p+1})^2 + (G_p - G_{p+1})^2 + (B_p - B_{p+1})^2},$$

где p - текущий пиксель изображения.

Чем больше резкость, тем четче один цвет относительно другого, и человеческий глаз лучше замечает цветовое различие. При исследовании возможно определение процентов четкости для человеческого глаза в пространстве *RGB*, при которых наблюдатели могут дать четкую оценку резкости.

2.2.3. Оценка степени цветового искажения изображения проводится по формуле:

$$w = \sum_{p=1}^{n} (|R_p - R_{p0}| + |G_p - G_{p0} + |B_p - B_{p0}|)/(3 \bullet n),$$

где p - текущий пиксель изображения,

p_0 - текущий пиксель исходного изображения,

n - число пикселей в изображении.

Все формулы при использовании в ЭВМ должны быть нормированы под 100%-ную шкалу.

Заключения:

- согласно описанию, метод кодирования данных с использованием кодека MJPEG позволяет экономить на компонентах вычислительных ресурсов: процессоре и оперативной памяти (за счет нетребовательности к ресурсам);
- возможен вывод процента сжатия, при котором кодирование изображений в формат JPEG или кодирование видео в MJPEG будет без потери качества (используя субъективную оценку качества изображений);
- яркость, контрастность и резкость изображения, возможно, представить только с помощью одного параметра пикселей: их цвета. Также не требуется перекодирование изображения в иное цветовое пространство;
- данные выводы могут использоваться не только в роботостроении;
- при написании данной статьи возник вопрос. Какого цвета будет артефакт при таком сжатии, когда пиксели в нем станут одного цвета; и в артефакте ещё не исказится этот цвет? Дальнейшее искажение артефакта

заканчивается изменением цвета в оттенок градации серого, выявляется при сжатии в 200 раз.

Литература

1. *Белянин П.Н. Промышленные роботы.//Москва: Машиностроение, 1975г., 398 стр.*
2. *Sony CIS. Развлекательный робот AIBO. Инструкция по эксплуатации ERS 210.//Корпорация SONY, 2001 г. [Электронный ресурс] URL: http://support.sony-europe.com/AIBO/downloads/en/aibo-ers-210_RU.pdf.*
3. *WowWee$_{tm}$. Rovio Mobile Webcam with TrueTrack Navigation System User Manual.//WowWee Group Limited, 2007 г. [Электронный ресурс] URL: http://www.wowwee.com/static/support/rovio/manuals/Rovio_Manual.pdf.*
4. *Rethink Robotics. Baxter's Capabilities.//Rethink Robotics, 2012 г. [Электронный ресурс] URL: http://www.rethinkrobotics.com/index.php/products/baxter.*
5. *Википедия. MJPEG.//Свободная энциклопедия Википедия, 2012 г. [Электронный ресурс] URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/MJPEG.*
6. *Seagate. Momentus Series Product Manual 2.5" Hard Disk Drive.//Seagate Technology LLC& Samsung Electronics, 2012 г. [Электронный ресурс] URL: http://www.seagate.com/files/staticfiles/support/docs/manual/samsung-manual/100698035c.pdf.*
7. *Kingston. Increase performance and extend the life of existing systems.//Kingston Technology Corporation, 2012 г. [Электронный ресурс] URL: http://www.kingston.com/datasheets/sv100s2_en.pdf.*
8. *Kingston. Faster speeds for serious users.//Kingston Technology Corporation, 2012 г. [Электронный ресурс] URL: http://www.kingston.com/datasheets/sh100s3_us.pdf.*

9. *James Boyd. Serial ATA Advanced Host Controller Interface (AHCI) 1.3.//Intel Corporation, 2008 г.*
10. *Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео.//Москва: Диалог-МИФИ, 2002 г., 384 с.*
11. *Charles Poynton. Frequently Asked Questions about Color.//Poynton.com, 2006г. [Электронный ресурс] URL: http://www.poynton.com/notes/colour_and_gamma/ColorFAQ.html#RTFToC30.*
12. *Александров В.А. Основы функционального анализа и теории функций.//Новосибирск: НГУ, 1997 г.*
13. *Попов О. В. Разработка и исследование алгоритмов моделирования и оценивания многомерных Марковских случайных полей.//Ульяновск: 2000 г.*
14. *Mikheev P.V., Khirug S.S., Yakin G.Yu. A Method for the Representation of Multizone Images.//Pattern Recognition and Image Analysis, Vol.6, No.1, 1996.*
15. *Гущина О.Н., Аминова Е.А. Анализ использования адаптивного дискретного косинусного преобразования для улучшения качества изображений.// Ярославль: Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова, 2010.*
16. *Мамчев Г.В. Оценка качества изображения в телевизионных системах с видеокомпрессией.//Новосибирск: Вестник СибГУТИ, №2, 2009 г.*
17. *Сергеев В. Visual Basic 6.0. Наиболее полное руководство для профессиональной работы в среде Visual Basic 6.0.//БВХ - Санкт-Петербург, 1998 г. - стр. 8.*
18. *Безрядин С.Н., Буров П.А., Ильиных Д.Ю. Преобразование контраста в программном обеспечении.//KWE International.Inc., 2006 г. [Электронный ресурс] URL: http://www.kweii.com/site/color_theory/Contrast100_ru.pdf.*
19. *AIportal. Критерии и методы укрупнённой оценки качества изображений в растровых графических форматах.//Портал искусственного*

интеллекта. [Электронный ресурс] URL: http://www.aiportal.ru/articles/other/evaluation-of-image-quality.html.

20. *МСЭ-R. Рекомендация МСЭ-R BT.500-13. Методика субъективной оценки качества телевизионных изображений.//Международный союз электросвязи, 2012 г.*

УДК: 62-50

ТЕХНОЛОГИИ «ПОГРУЖЕНИЯ» В ВИРТУАЛЬНУЮ И ДОПОЛНЕННУЮ РЕАЛЬНОСТЬ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ КОСМОНАВТАМИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ И ИЗУЧЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ДЛИТЕЛЬНЫХ АВТОНОМНЫХ ПОЛЕТАХ К МАРСУ

Бубеев Ю.А., Гущин В.И., Сухорукова Е.И.
ГНЦ РФ – ИМБП РАН, г. Москва
Крючков Б.И., Усов В.М.
ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина», Звездный городок
Черняков Е.Л.
JC Group, г. Москва

Рассматриваются принципы и предпосылки использования перспективных средств визуализации при освоении космонавтами операций с использованием мобильных роботов на пилотируемых космических комплексах, формулируются концептуальные подходы к определению роли и места роботов, описаны направления построения средств «погружения» обучаемых

Система обслуживается одним человеком, который управляет движением робота и работой пылесоса. Дисперсные загрязнения собираются в стандартные емкости, которые после заполнения остаются на тротуаре и должны быть эвакуированы с выгрузкой содержимого.

Специально для этого проекта разрабатывается модель метантенка для выработки метансодержащих газов, на основе которых вырабатывается электрическая энергия.

Таким образом, наряду с решением важной задачи поддержания тротуаров и газонов города в чистом виде решается проблема эффективной утилизации органических отходов с выработкой электрической энергии и гумуса (сброженный осадок анаэробной микрофлоры, которая развивается в метантенке и обеспечивает получение биогаза).

СОДЕРЖАНИЕ

Белов С.В. *Методика определения степени сжатия изображений и видеоданных без потери качества в формате JPEG* ……...5

Бубеев Ю.А., Гущин В.И., Крючков Б.И., Сухорукова Е.И., Усов В.М., Черняков Е.Л. *Технологии «погружения» в виртуальную и дополненную реальность для освоения космонавтами мобильных роботов и изучения особенностей их применения в длительных автономных полетах к марсу* ……..18

Golovin V.F., Arhipov M.V., Zhuravlev V.V. *A problem of position/force*

control with force training and force tracking ……...31

Ивченко В.Д., Гуревич Е.И., Вилесов А.В. *Универсальное ядро построения автоматизированных систем контроля и управления на базе отечественных микроконтроллеров* ……38

Ивченко В.Д., Кузнецов А.Б. *Марсоход «ТУРИСТ»* ……50

Каплан Б.Ю., Савин С.Б. *Интеллектуальная система диагностики влагосодрежания турбогенераторов ИВТГ – 1* ……...65

Кобак А.А., Макурова В.В. *Мобильный робот «МАНТИКОРА»* ……...78

Отраднов К.К., Евтушенко Г.И. *Построение распределённой системы получения и передачи данных сенсора глубины для 3D-очувствления мобильного робота* ……84

Отраднов К.К., Ожогин А.В., Синяков Н.А. *Практические аспекты реализации прототипа двуногого шагающего робота с поступательными кинематическими парами в суставах ног* ……92

Слепцов В.В., Зерний Ю.В., Жилин Е.В., Агеев, Резько А.П. *Разработка функциональной схемы информационно-измерительной и управляющей системы координатно-измерительных машин* ……..107

Уполовников В.Ю., Кадыкова Н.В. *Разработка конструкции и изготовление сборно-разборного макета 2-х этажного*

гаража-стоянки на 6 машиномест с рампой и двумя пандусами для жилой зоны ……115

Чижиков В.И. *Проектирование упругого кинематического соединения манипулятора с нелинейной характеристикой восстанавливающей силы при неопределённой закономерности внешнего воздействия* ……...120

Щепетов А.Г., Демкович Е.П., Мигдалев О.К. *Синтез параметров САУ по критерию минимальной длительности переходного процесса* ……..132

Щербина Б.В. *Робототехническая система для удаления дистперсных загрязнений с поверхности тротуаров и газонов* ……..140