

УДК 681.3.07

Розорин Г. Н., д.т.н. (Государственный университет телекоммуникаций)

УМЕНЬШЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОСТИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Розорин Г. М. Зменшення надмірності цифрових зображень. Запропоновані варіант класифікації алгоритмів стиснення відеосигналів і адекватні критерії оцінки якості відновлених зображень. Показано, що методи стиснення з втратами дозволяють отримати істотно більші коефіцієнти стиснення. Проте при цьому погіршується якість початкового зображення. У зв'язку з цим при порівнянні різних методів стиснення крім ступеня стиснення потрібно враховувати якість відновлення зображення.

Ключові слова: зображення, відеосигнал, надмірність, оцінка якості, стиснення, цифрова обробка, телекомунікації

Розорин Г. Н. Уменьшение избыточности цифровых изображений. Предложены варианты классификации алгоритмов сжатия видеосигналов и адекватные критерии оценки качества восстановленных изображений. Показано, что методы сжатия с потерями позволяют получить существенно большие коэффициенты сжатия. Однако при этом ухудшается качество исходного изображения. В связи с этим при сравнении различных методов сжатия помимо степени сжатия нужно учитывать качество восстановления изображения.

Ключевые слова: изображение, видеосигнал, избыточность, оценка качества, сжатие, цифровая обработка, телекоммуникации

Rozorynov G.N. Redundancy reduction of digital images. The classification variant of videosegments compression algorithms and adequate quality estimation criteria of reconstructed images is offered. It is noted that the methods of compression with losses allow to get large compression ratios substantially. However here is worsened quality of original images. In this connection at comparison of different methods of compression besides the degree of compression it is needed to take into account quality of image renewal.

Keywords: image, videosegment, redundancy, estimation of quality, compression, digital processing, telecommunications

Введение. В последнее время наблюдается бурное развитие телекоммуникационных систем, предназначенных для приема и передачи видеоданных [1].

Решение подобной задачи стало возможным благодаря существенному увеличению емкости памяти и вычислительной мощности технических средств, входящих в состав телекоммуникационных систем. К этим средствам относятся компьютер, специализированные устройства ввода-вывода изображений, устройства записи-воспроизведения видеосигналов и соответствующее программное обеспечение. В общем случае комплекс подобных средств должен обеспечивать ввод-вывод и передачу изображений различной физической природы [2].

Под вводом изображения понимается процедура преобразования исходного изображения к виду, удобному для вычислительных процедур. Ввод может осуществляться как со стандартных периферийных устройств компьютера (внешних ЗУ, сканеров), так и с нестандартных устройств, к числу которых относятся, например, видеокамеры и ПЗС-линейки.

Под выводом изображения понимается оперативная визуализация на видеомониторе, запись-воспроизведение с целью долговременного хранения необходимой информации.

Передача изображений включает в себя обмен изображениями между различными блоками системы обработки и обмен изображениями по каналам передачи данных между системой и устройствами, не входящими в ее состав.

Выполнение различных функций может быть возложено на компьютерные функционально-ориентированные рабочие станции, подключенные к локальной сети с выходом в глобальную сеть (Рис.1).

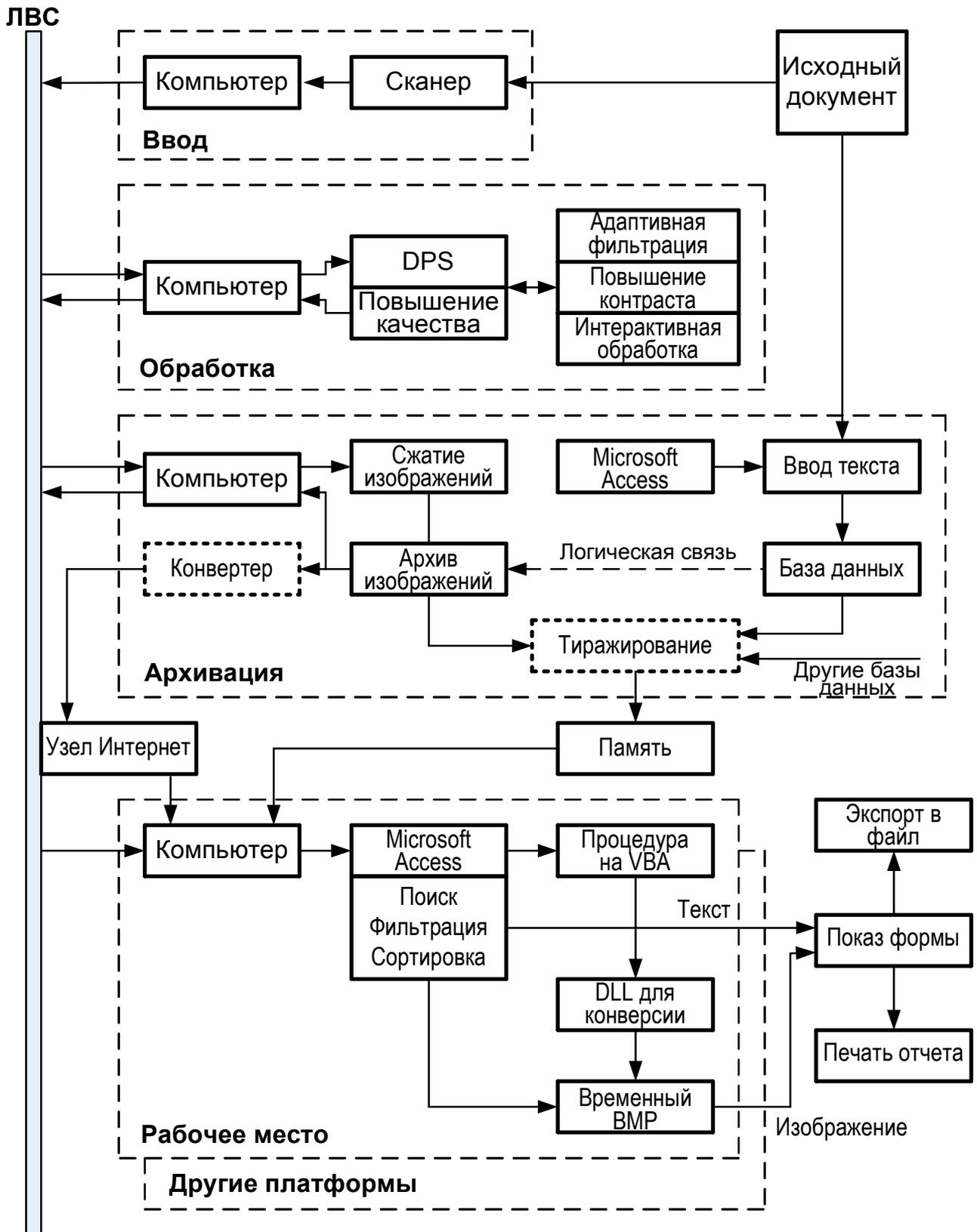


Рис.1. Технические средства телекоммуникационной системы

Компьютерное изображение в его цифровом представлении является набором значений интенсивностей светового потока, распределенных по конечной площади.

Для монохромных изображений интенсивность излучаемой световой энергии с единицы поверхности в точке с координатами (ξ, η) можно представить некоторым числом $B(\xi, \eta)$. Таким образом, единичный элемент изображения (пиксель), характеризуется определенным значением (ξ, η) , а величина $z = f(\xi, \eta)$ – яркостью [3].

Математически, изображения в градациях серого можно представить как вещественную функцию I двух вещественных переменных x и y .

Функция $I(x, y)$ изображения в общем случае определяется в прямоугольной области, но для удобства в работе все изображения определяются в квадратных областях, то есть $x \in [0; W]$, а $y \in [0; H]$, где W – ширина изображения, H – высота изображения, $W=H$.

Все изображения можно разделить на две группы: с палитрой и без палитры. У изображений с палитрой в пикселе (выборке изображения – значение функции $I(x, y)$ для конкретных x_i и y_i) хранится число – индекс в некотором одномерном векторе цветов (палитре). Палитры обычно бывают 8, 16 и 256 – цветов [3, 4].

Изображения без палитры обычно бывают в определенной системе цветопредставления или в градациях серого. В градациях серого значения каждого из пикселей определяется как яркость точки. Наиболее часто встречаются изображения с 2-мя, 16-ю и 256-ю уровнями серого. Если изображение представлено в какой-то системе цветопредставления, то каждый ее пиксель описывает компоненты цвета.

Наиболее распространённой системой цветопредставления, используемой в электронных и компьютерных системах, является система RGB. В этой системе цвет определяется как комбинация красного, зелёного и синего цвета. И на каждую из составляющих приходится по одному байту. Существуют и другие системы цветопредставления, такие как CMYK, CIE, YUU и YCrCb [3, 5].

В телекоммуникационных системах ограничены возможности выбора свободных частот диапазонов, поэтому остро стоит задача снижения скорости цифровых видеопотоков без снижения субъективного качества воспроизведения. Это привело к созданию алгоритмов сжатия видеосигналов, основанных на различных моделях зрительного восприятия.

Целью настоящей работы является классификация алгоритмов сжатия видеосигналов и поиск адекватных критериев оценки качества восстановленных изображений.

Основная часть. Для того, чтобы правильно оценить применимость того или иного алгоритма сжатия к данному изображению удобно ввести понятие класса изображения.

Под классом цифрового изображения понимается совокупность изображений, алгоритмы сжатия которых дают качественно одинаковый результат. В работе [3] предложено различать такие классы изображений:

- изображения с небольшим количеством цветов и большими областями, заполненными одним цветом. В изображении отсутствуют плавные переходы цветов. К этому классу относится деловая, научно-техническая, плакатная графика;
- изображения с плавными переходами цветов, построенные на компьютере: графика презентаций и виртуальные модели;
- фотореалистические изображения, полученные путем цифровой фотосъёмки, сканирования, а также постобработки этих изображений.

Существуют и специфические классы изображений, такие как рентгеновские снимки, томографические изображения, радиолокационные планы местности и т.д.

В процессе работы с изображениями приложения, осуществляющие обработку, предъявляют различные требования к алгоритмам сжатия изображений. Из-за специфики приложений такие требования иногда могут противоречить одно другому. К таким требованиям можно отнести следующие:

- высокая степень сжатия;
- высокое качество сжатого изображения (что противоречит выполнению предыдущего требования);
- высокая скорость процесса сжатия (данное требование актуально для сжатия в реальном времени);
- высокая скорость экспандирования (данное требование актуально для большинства применений);
- возможность показать эскиз изображения, не дожидаясь полной его экспозиции (данное требование актуально для сетевых применений и при передаче больших изображений);
- учёт специфики изображения (данное требование предъявляется к алгоритмам сжатия, основанным на определении ROI (regions of interest – областей особого назначения).

Все методы сжатия информации основаны на поиске и кодировании избыточных элементов [3, 6, 7]. При этом различают два типа избыточности:

1) Статистическая избыточность, которая связана с корреляцией и предсказуемостью данных. Эта избыточность может быть устранена без потери информации, исходные данные при этом могут быть полностью восстановлены [3, 5]. Наиболее известные методы эффективного кодирования символов основаны на знании частоты появления каждого символа в сообщении. На этой основе строят таблицу соответствия, обладающую следующими свойствами:

- различные символы могут отображаться неодинаковым числом бит;
- символы с большей частотой появления отображаются меньшим числом бит, чем символы с меньшей частотой появления;
- символы, отображаемые словами разной битовой длины, могут быть восстановлены единственным образом, то есть коды строятся как префиксные.

Этими свойствами обладает известный алгоритм Хаффмана [3].

2) Визуальная (субъективная) избыточность, которую можно устранить с частичной потерей данных, мало влияющих на качество воспроизводимых изображений. Это такая информация, которую можно изъять из изображения, не нарушая визуально его качество.

Устранение визуальной избыточности изображений является основным резервом сокращения передаваемой информации [3, 6, 8]. Для оптимизации процесса кодирования в целях обеспечения передачи наименьшего объема информации необходимо, с одной стороны, не передавать избыточную информацию, а с другой, – не допустить чрезмерной потери качества изображения.

Общая схема процесса сжатия изображения показана на Рис. 2.

Существует несколько различных подходов к проблеме сжатия информации. Одни имеют весьма сложную теоретическую математическую базу, другие основаны на свойствах информационного потока и алгоритмически достаточно просты. Любой подход, реализующий сжатие данных, предназначен для уменьшения объема выходного потока информации при помощи обратимого или необратимого преобразования. Поэтому все способы сжатия данных можно разделить на обратимые и необратимые [3, 6] (Рис. 3).

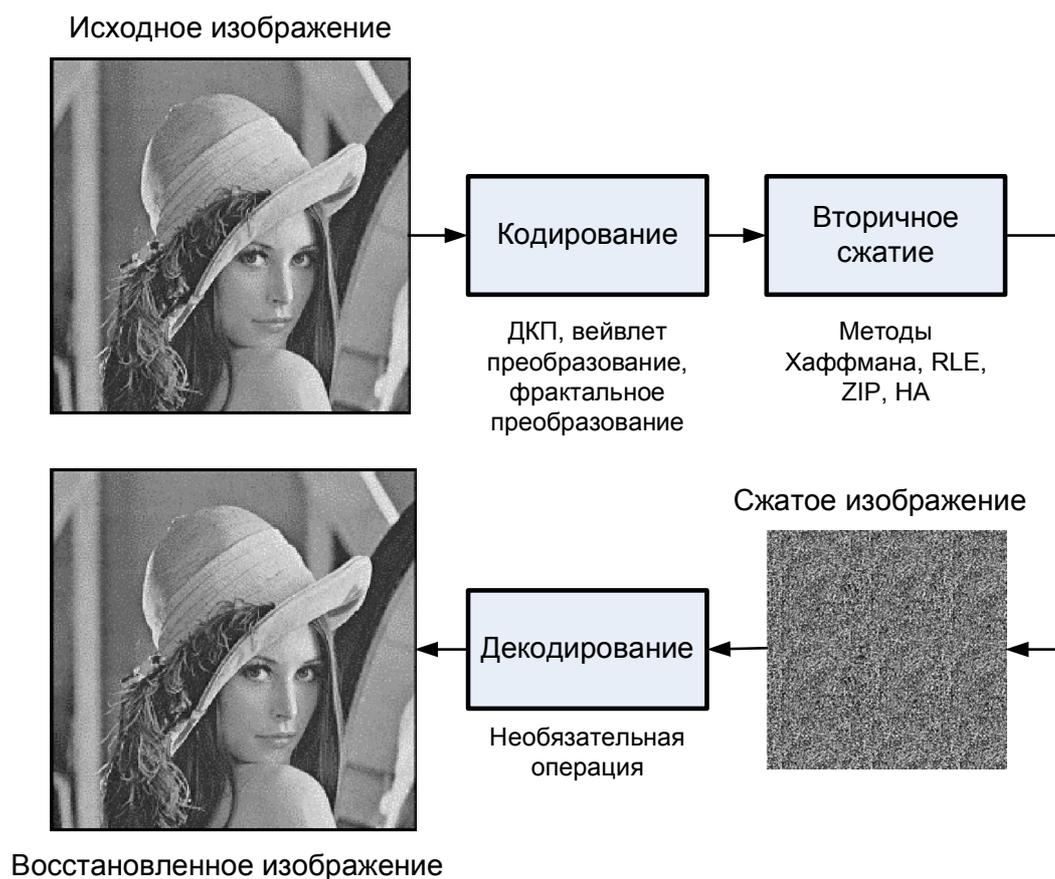


Рис. 2. Основные этапы сжатия цифровых изображений

Обратимое сжатие (сжатие без потерь) всегда приводит к уменьшению объема выходного потока информации без изменения его структуры. Из выходного потока при помощи восстанавливающего алгоритма можно получить полный входной поток.

Необратимое сжатие (сжатие с потерями) подразумевает такое преобразование входного потока данных, при котором выходной поток, основанный на определенном формате представления информации, достаточно похож по внешним характеристикам на входной поток, но отличается от него объемом. Степень сходства входного и выходного потоков определяется степенью соответствия некоторых свойств объектов (то есть сжатой и несжатой информации в соответствии с некоторым определенным форматом данных), представляемого данным потоком информации.

Такие алгоритмы используются для сжатия, например, данных растровых графических файлов с малой повторяемостью байтов в потоке.

При таком подходе используется свойство структуры формата графического файла и возможность представить графическую картинку приблизительно схожую по качеству отображения (для восприятия человеческим глазом) несколькими способами. Поэтому, кроме степени сжатия, в таких алгоритмах необходимо вводить понятие качества, так как исходное изображение в процессе сжатия изменяется.

Под качеством можно понимать степень соответствия исходного и выходного изображений. Для графических файлов такое соответствие определяется визуально, хотя имеются и соответствующие формализованные методики и оценки [3]. Необратимое сжатие невозможно применять в областях, в которых необходимо соблюдать точное соответствие информационных структур входного и выходного потоков.

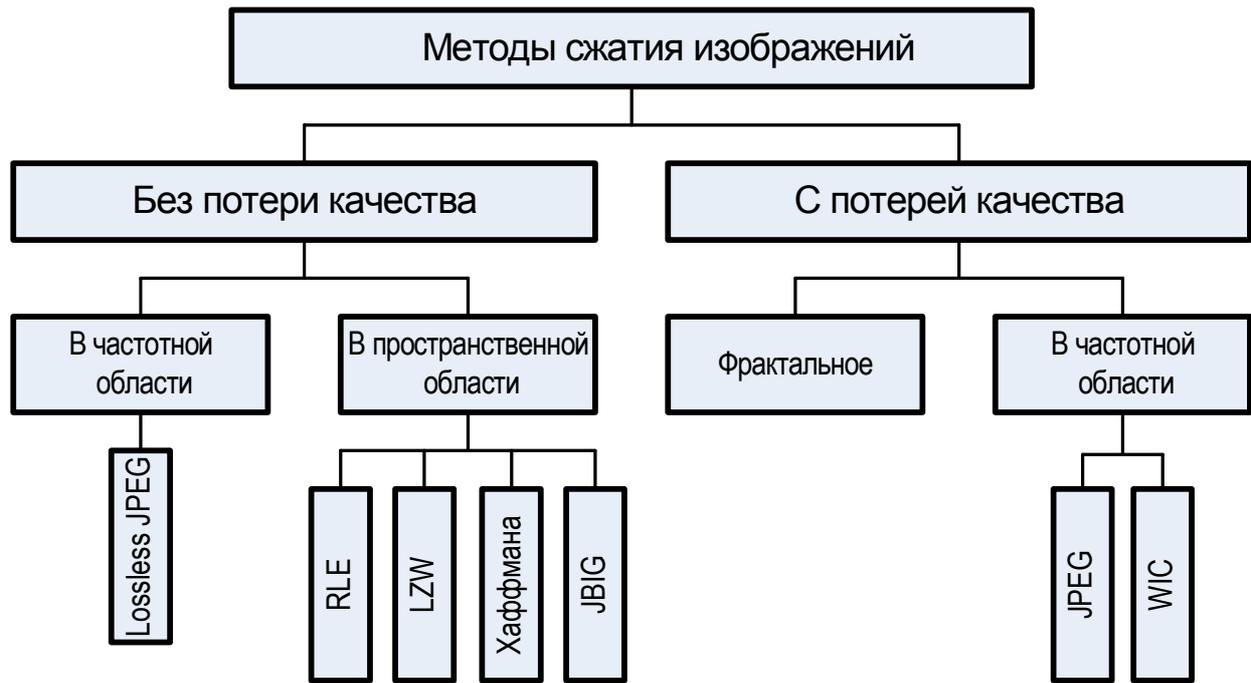


Рис. 3. Вариант классификации методов сжатия изображений

Методы сжатия без потерь используются в основном в научных и медицинских приложениях, когда потеря информации недопустима или сами шумы изображения являются главной информацией (например, в системах оценки качества оптико-электронных систем). Коэффициент сжатия, достигаемый этими методами не более 1,5 для реальных систем.

Методы сжатия с потерями позволяют получить существенно большие коэффициенты сжатия. Однако при этом исходное изображение искажается, ухудшается его качество. В связи с этим при сравнении различных методов сжатия помимо степени сжатия нужно учитывать качество восстановления изображения.

Для симметричных методов сжатия процедуры сжатия и восстановления однотипны. Время сжатия и восстановления для таких методов сравнимы. Для несимметричных методов процедура сжатия отличается от процедуры восстановления и обычно длится дольше.

Определим основные величины, характеризующие метод сжатия.

1. Коэффициент сжатия:

$$K_{сж} = \frac{G_1}{G_2},$$

где G_1 , G_2 – объемы исходного и сжатого изображений, соответственно, байт.

2. **Оценка качества** восстановленного изображения. Одна из проблем машинной графики заключается в том, что до сих пор не найден адекватный критерий оценки качества изображения.

Качество всегда снижается при цифровом преобразовании, при переводе в ограниченную палитру цветов или в другое цветовое пространство, а также при сжатии изображений с потерями.

Если исходное изображение обозначить $f(x,y)$, а восстановленное изображение $\hat{f}(x,y)$, оба размерами $m \times n$, то одним из очевидных критериев оценки качества

восстановленного изображения может быть среднеквадратическое отклонение значений пикселей восстановленного изображения от исходного:

$$\varepsilon(x, y) = \sqrt{\frac{\sum_{x,y}^{m,n} [f(x, y) - \hat{f}(x, y)]^2}{m \cdot n}}.$$

При использовании этого критерия качество изображения оценивается как низкое при изменении его яркости всего на 5%. В то же время изображения снега, с резким изменением цветов отдельных точек будут оценены как качественные, почти не изменившиеся.

В качестве критерия оценки качества изображения может быть использовано максимальное различие пикселей исходного и восстановленного изображений:

$$\varepsilon(x, y) = \max_{x,y} |f(x, y) - \hat{f}(x, y)|.$$

Такая оценка крайне чувствительна к различию отдельных пикселей, то есть в изображении может измениться только один пиксель, а качество будет признано низким.

На практике для оценки качества изображения часто используют отношение сигнал-шум, которое представляют в виде:

$$\varepsilon(x, y) = 10 \log_{10} \frac{255^2 \cdot m \cdot n}{\sum_{x,y}^{m,n} [f(x, y) - \hat{f}(x, y)]^2}.$$

Эта оценка аналогична среднеквадратическому отклонению, но пользоваться ею удобнее из-за логарифмического масштаба шкалы.

К другим, реже употребляемым критериям оценки качества изображения относятся:

– средняя разность

$$\Delta = \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \frac{|f(x, y) - \hat{f}(x, y)|}{(m \cdot n)};$$

– коэффициент кросс-корреляции

$$C = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n f(x, y) \cdot \hat{f}(x, y)}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n [f(x, y)]^2};$$

– верность изображения

$$F = 1 - \left\{ \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n [f(x, y) - \hat{f}(x, y)]^2}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n [f(x, y)]^2} \right\}$$

И все же наилучшим оценщиком качества изображения остается человеческий глаз. Если глаз не отличает исходное изображение от восстановленного, то качество отличное. На практике при сжатии с потерями в изображение всегда вносятся какие-либо искажения, заметные при его сравнении с оригиналом.

3. Время преобразования.

Различают время сжатия $t_{сж}$ и время восстановления $t_{в}$. Время сжатия состоит из времени выполнения основного преобразования $t_{оп}$ и времени упаковки $t_{уп}$. Время восстановления состоит из времени распаковки $t_{р}$ и времени выполнения обратного преобразования $t_{об}$:

$$t_{сж} = t_{оп} + t_{уп}, \quad t_{в} = t_{р} + t_{об}.$$

Для того, чтобы корректно оценивать алгоритмы сжатия-восстановления необходимо выработать определенные критерии. Такими критериями могут быть:

- класс изображений, на который ориентирован алгоритм;
- худший, средний и лучший коэффициенты сжатия. Последний имеет лишь теоретическое значение, поскольку показывает степень сжатия наилучшего изображения;
- симметричность, которая характеризует ресурсоемкость процессов кодирования и декодирования. При этом наиболее важным является отношение времени кодирования ко времени декодирования;
- потери качества. У большинства алгоритмов сжатия с потерей информации существует возможность изменения коэффициента сжатия;
- характерные особенности алгоритма для изображений, к которым его применяют.

Заключение

1. Предложен вариант классификации алгоритмов сжатия видеосигналов.
2. Проанализированы адекватные критерии оценки качества восстановленных изображений.
3. Определены основные величины, характеризующие метод сжатия изображения.

Литература

1. Цифрова обробка аудіо- та відеоінформації у мультимедійних системах : навчальний посібник / [О. В. Дробик, В. В. Кідалов, В. В. Коваль та інш.]. – К.: Наукова думка, 2008. – 144 с.
2. Крук Б. И. Телекоммуникационные системы и сети : учебное пособие. В 3 томах. Том 1 – Современные технологии / Б. И. Крук, В. Н. Попантопуло, В. П. Шувалов ; под ред. профессора В.П. Шувалова. – [3-е изд., испр. и доп.]. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 647 с.
3. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Гонсалес Р., Вудс Р.; пер. с англ. – М.: Техносфера. – 2006. – 1072 с.
4. Шлихт Г. Ю. Цифровая обработка цветных изображений / Г. Ю. Шлихт. – М.: Издательство ЭКОМ, 1997. – 336 с.
5. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео [Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин]. – М.: Диалог – МИФИ. – 2003. – 384 с.
6. Сэлмон Д. Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэлмон. – М.: Техносфера.– 2004.– 368 с.
7. Гладких В. М. Класифікація цифрових зображень поштового переказу за колірним контентом / В. М. Гладких // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2011. – №2(18). – 79-84.
8. Дикарев А. В. К вопросу устойчивости сжатия видеоданных / А. В. Дикарев // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2013. – №2(26). С. – 100-104.