

УДК 621.391

А.И. Стрелков¹, С.Е. Кальной¹, Т.А. Стрелкова², Е.А. Соломко²¹ Харьковский университет Воздушных Сил имени И. Кожедуба, Харьков² Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

О ВЛИЯНИИ АЛГОРИТМА СЖАТИЯ JPEG-2000 НА СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Проведены исследования влияния алгоритма сжатия Wavelet (стандарт JPEG-2000) на статистические характеристики изображения. Исходное изображение моделировалось как аддитивная сумма детерминированного сигнала постоянной амплитуды и шума, подчиняющегося распределению Пуассона. Производилась оценка среднего значения, дисперсии и отношения сигнал/шум для сигнальной компоненты, шумовой компоненты и изображения в целом. Показано, что применение алгоритма сжатия изображений изменяет статистику случайной помехи и статистические характеристики всего изображения. При этом наблюдается рост отношения сигнал/шум, что может быть объяснено фильтрующими свойствами алгоритма на высоких частотах.

Ключевые слова: цифровая обработка информации, статистические характеристики, алгоритм сжатия Wavelet, стандарт сжатия JPEG-2000.

Постановка проблемы и анализ литературы

В современных методах цифровой обработки оптических сигналов и изображений широко используется процедура сжатия. При этом алгоритм сжатия может приводить, как к потере информации, так и к изменению её статистической структуры. Указанные изменения существенным образом влияют на решение задачи обнаружения сигнала малого уровня на фоне аддитивного шума высокой интенсивности. В работе [1] было показано, что применение алгоритма сжатия JPEG-2000 в условиях метода накопления кадров может как повышать, так и понижать отношение сигнал/шум. Поэтому представляет интерес детальное исследование влияния алгоритма сжатия JPEG-2000 на статистические характеристики сигнальной и шумовой компоненты, а также изображения в целом.

Целью данной работы является исследование влияния алгоритма сжатия Wavelet стандарта JPEG-2000 на такие статистические характеристики, как среднее, дисперсия, отношение сигнал/шум для сигнальной составляющей, шумовой составляющей и их аддитивной смеси.

Основная часть

Компьютерное моделирование изображений производилось при следующих исходных данных:

1. Исследуемое изображение (кадр) представляло собой матрицу размером 100x100 пикселей.
2. Динамический диапазон разрешения монитора составлял 256 градаций серого (0 – уровень черного, 255 – уровень белого).
3. Матрица изображения исходного полезного

сигнала U_{ij}^{os} представляла собой область в виде квадрата размером 25x25 пикселей с детерминированной амплитудой $U^{os} = 25$, находящегося в центре кадра (рис. 1, а).

4. Матрица изображения исходной случайной помехи U_{ij}^{on} представляла собой шум, подчиняющийся распределению Пуассона со средним значением $\lambda = \bar{U}_{ij}^{on} = 75$, распределенный по всему полю кадра (рис. 1, б).

5. Исследовалась также матрица исходного изображения, представляющая собой аддитивную смесь сигнала и шума $U_{ij}^o = U_{ij}^{os} + U_{ij}^{on}$ (рис. 1, в).

6. Стандарт JPEG-2000 позволяет сжимать изображения с параметром сжатия χ от 1 до 100. В данной работе производилось сжатие с $\chi = 25, 50, 75, 100$.

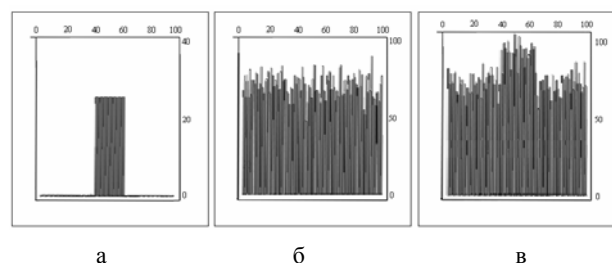


Рис. 1. Реализации изображений, содержащих сигнал (а), шум (б) и их аддитивную смесь (в) (представлены сечения поля кадра по строке, проходящей через его середину)

Как показали компьютерные эксперименты, сжатие-восстановление нескольких кадров, содержащих детерминированный сигнал с постоянной

амплитудой, каждый раз даёт матрицы с одинаковыми цифровыми полями.

Поэтому исследованию достаточно было подвергнуть один кадр, содержащий сигнал. В то время как кадры, содержащие шумовую компоненту, отличаются в меру статистического распределения. В силу этого были исследованы 25 кадров, содержащих шумовую компоненту, и 25 кадров, содержащих исходную аддитивную смесь сигнала и шума

На рис. 2 представлены реализации изображений, прошедших процедуру сжатия-восстановления для сигнала (рис. 2.1), шума (рис. 2.2), а также смеси сигнала и шума (рис. 2.3), с указанными параметрами сжатия. Реализации представляют собой сечение поля кадра по строке, проходящей через его середину.

Для исследованных кадров были рассчитаны

средние значения:

$$\bar{U} = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n U_{i,j}, \quad (1)$$

а также дисперсии

$$D = \frac{1}{(m-1)(n-1)} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (U_{i,j} - \bar{U})^2. \quad (2)$$

Причём для кадра, содержащего сигнал, суммирование проводилось по области исходного сигнала ($m=n=25$). Для кадров, содержащих шум, суммирование проводилось по всему полю кадра ($m=n=100$).

Статистические характеристики сигнальной компоненты ввиду его детерминированности определялись по единственному кадру.

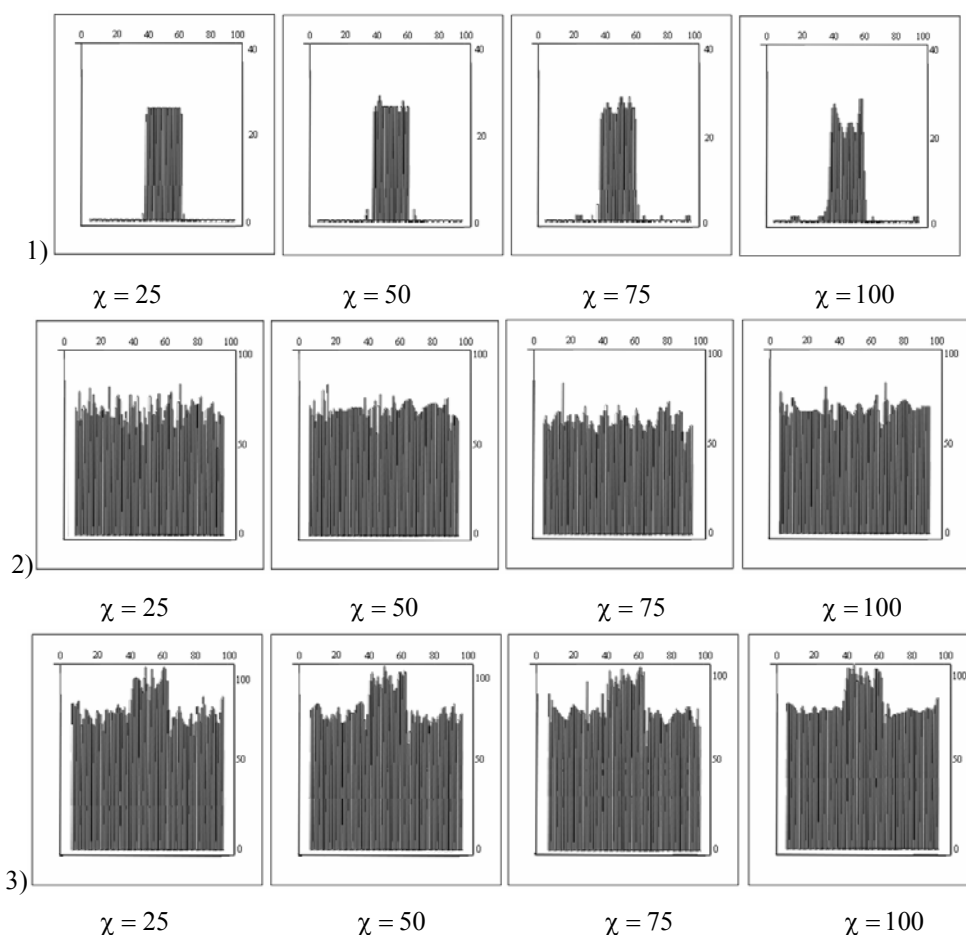


Рис. 2. Реализации изображений, прошедших процедуру сжатия-восстановления

Для шумовой компоненты среднее значение и дисперсия определялись в каждом кадре отдельно, после чего результаты усреднялись по количеству кадров.

На рис. 3 представлены графики зависимости среднего значения для сигнала \bar{U}^s и для шума \bar{U}^n от параметра сжатия χ . Видно, что среднее значение как сигнальной, так и шумовой компоненты

практически не изменяется под действием процедуры сжатия-восстановления.

На рис. 4 представлены зависимости дисперсии сигнала D^s и шума D^n от параметра сжатия χ . Видно, что дисперсия шума резко падает с возрастанием параметра сжатия, в то время как дисперсия сигнала очень слабо возрастает и лишь на участке $75 \leq \chi \leq 100$ её рост становится значительным.

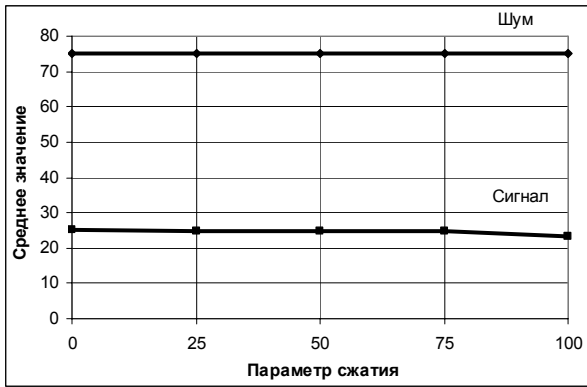


Рис. 3. Зависимость среднего значения от параметра сжатия для сигнала и шума

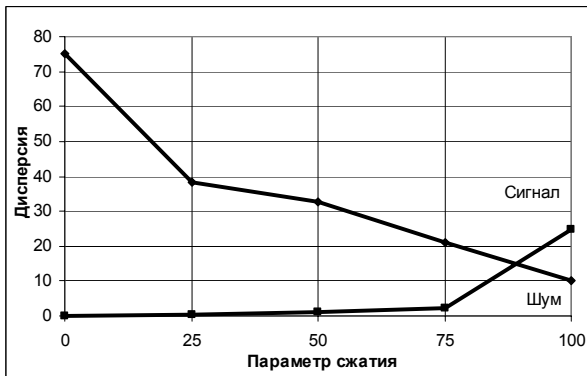


Рис. 4. Зависимость дисперсии от параметра сжатия для сигнала и шума

Падение дисперсии шума проявляется на изображении (см. рис. 2.2) в виде сглаживания шумовых пульсаций. Это говорит о том, что алгоритм сжатия обладает фильтрующими свойствами на высоких частотах. Рост дисперсии сигнала на изображении (см. рис. 2.1) проявляется в виде выбросов на границах сигнала и вокруг него, что также связано с фильтрацией высоких частот.

Обращает на себя внимание тот факт, что после процедуры сжатия-восстановления дисперсия шума падает, в то время как среднее значение шума не меняется. Это означает, что после прохождения через алгоритм сжатия шум уже не подчиняется закону распределения Пуассона. Используя данные по средним значениям и дисперсии для сигнальной и шумовой компонент, можно теоретически рассчитать отношение сигнал/шум Φ_T для различных значений параметра сжатия χ . В аддитивной модели и в предположении отсутствия корреляции между сигнальной и шумовой компонентой формула имеет вид [2]:

$$\Phi_T = \frac{\bar{U}^s}{\sqrt{D^s + D^n}}, \quad (3)$$

где \bar{U}^s и D^s – среднее значение и дисперсия изображения, содержащего сигнал; D^n – дисперсия шумового изображения, определенная по полю 100x100. Теоретическое отношение сигнал/шум Φ_T

определялось в каждом кадре отдельно, после чего результаты усреднялись по количеству кадров.

На рис. 5 (кривая 1) приведен график зависимости отношения сигнал/шум Φ_T от параметра сжатия χ . Видно, что общей тенденцией является рост отношения сигнал/шум Φ_T при возрастании параметра сжатия. Это можно объяснить резким возрастанием дисперсии шума D^n на фоне практически постоянных \bar{U}^s и D^s . На участке $75 \leq \chi \leq 100$ наблюдается падение отношения сигнал/шум Φ_T , что связано со значительным ростом дисперсии сигнала D^s на этом участке. В целом такое поведение отношения сигнал/шум можно объяснить фильтрующими свойствами алгоритма Wavelet.

Представляет также интерес непосредственное экспериментальное определение отношения сигнал/шум Φ_{Σ} для изображений, содержащих как полезный сигнал U^s_{ij} , так и шумовую компоненту U^n_{ij} . До применения алгоритма сжатия-восстановления такую смесь можно считать аддитивной. Предполагая, что аддитивность смеси имеет место и для изображений, прошедших процедуру сжатия-восстановления, отношение сигнал/шум можно найти из соотношения [3]:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{\bar{U} - \bar{U}^n}{\sqrt{D}}. \quad (4)$$



Рис. 5. Зависимость отношения сигнал/шум от параметра сжатия: 1 – теоретическое значение, 2 – экспериментальное значение

Здесь \bar{U} – среднее значение (1) смеси сигнала и шума, определенное по области исходного сигнала 25x25. В свою очередь, \bar{U}^n – среднее значение (1) смеси сигнала и шума, определенное по полю 25x25 пикселей, в области кадра, отдаленной от области нахождения исходного сигнала, которое можно трактовать как среднее значение шумовой компоненты. Величина D – дисперсия (2) смеси сигнала и шума, определенная по области исходного сигнала 25x25. Экспериментальное отношение сигнал/шум

φ_{Σ} определялось в каждом кадре отдельно, после чего результаты усреднялись по количеству кадров.

На рис. 5 (кривая 2) приведен график зависимости отношения сигнал/шум φ_{Σ} от параметра сжатия χ . Видно, что в этом случае отношение сигнал/шум φ_{Σ} возрастает во всём диапазоне параметра сжатия χ . Хорошее качественное совпадение теоретических и экспериментальных данных для соотношения сигнал/шум на участке $0 \leq \chi \leq 75$ говорит об адекватности проделанного теоретического анализа и подтверждает вывод о влиянии фильтрующих свойств алгоритм сжатия на характеристики изображения. В то же время, количественное различие теоретических и экспериментальных данных, а в особенности, их качественное различие на участке $75 \leq \chi \leq 100$, очевидно, свидетельствуют о нелинейности алгоритма сжатия и, в частности, о нарушении аддитивности смеси сигнала и шума. Кроме того, нельзя исключить наличие корреляционных эффектов между сигнальной и шумовой компонентами, вносимых алгоритмом сжатия.

Выводы

Результаты компьютерного моделирования и расчёты показали следующее:

1) Применение алгоритма сжатия JPEG-2000 к изображениям, содержащим смесь сигнальной и шумовой компонент, приводит к росту отношения сигнал/шум при увеличении параметра сжатия

2) Раздельный анализ сигнальной и шумовой компонент показывает, что применение алгоритма сжатия JPEG-2000 сохраняет среднее значение как сигнальной, так и шумовой составляющей. При этом дисперсия шума резко падает с возрастанием параметра сжатия, тогда как дисперсия сигнала незначительно возрастает. В результате, теоретически рассчитанное отношение сигнал/шум имеет общую тенденцию к возрастанию при увеличении параметра сжатия.

ра сжатия.

3) Падение дисперсии шума (т.е. его сглаживание) при увеличении параметра сжатия можно трактовать как проявление фильтрующих свойств алгоритма сжатия JPEG-2000 на высоких частотах. При этом рост отношения сигнал/шум при применении алгоритма сжатия также является следствием фильтрующих свойств этого алгоритма. Кроме того, это говорит о том, что указанный алгоритм сжатия является нелинейной операцией над изображением.

4) Вследствие применения алгоритма сжатия JPEG-2000 к шумовой компоненте, подчиняющейся распределению Пуассона, дисперсия шума становится меньше его среднего значения. Таким образом, алгоритм сжатия меняет статистику случайной помехи.

5) Это значит, что в условиях применения алгоритма сжатия JPEG-2000 оценка качества изображения (сигнала) с помощью отношения сигнал/шум может оказаться недостаточной и неадекватной. Необходимы дополнительные, более детальные исследования влияния алгоритма JPEG-2000 на статистическое распределение шумовой составляющей.

Список литературы

1. Стрелков А.И., Кальной С.Е., Барсов В.И., Соломко Е.А. Об эффективности метода накопления слабоконтрастных кадров при цифровой обработке изображений с использованием алгоритма сжатия WAVELET // Системы обработки информации. – Х.: XV ПС, 2008. – №3(70). – С. 136-138.
2. Гальярди Р.М., Карп Ш. Оптическая связь. – М.: Высшая школа, 1978. – 524 с.
3. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989. – 496 с.
4. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

Поступила в редколлегию 28.07.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.И. Карпенко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ПРО ВПЛИВ АЛГОРИТМУ СТИСКУВАННЯ JPEG-2000 НА СТАТИСТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОБРАЖЕННЯ

О.І. Стрелков, С.Є. Кальной, Т.О. Стрелкова, Є.О. Соломко

Проведено дослідження впливу алгоритму стискування Wavelet (стандарт JPEG-2000) на статистичні характеристики зображення. Початкове зображення моделювалося як адитивна сума детермінованого сигналу постійної амплітуди та шуму, що розподілений за законом Пуассона. Були оцінені середні значення, дисперсія і відношення сигнал/шум для сигнальної компоненти, шумової компоненти та зображення в цілому. Показано, що застосування алгоритму стискування зображень змінює статистику випадкової завади та статистичні характеристики всього зображення. При цьому спостерігається зростання відношення сигнал/шум, що може бути пояснено фільтруючими властивостями алгоритму на високих частотах.

Ключові слова: цифрова обробка інформації, статистичні характеристики, алгоритм стискування Wavelet, стандарт стискування JPEG-2000.

ABOUT INFLUENCE OF THE COMPRESSION ALGORITHM JPEG-2000 ON STATISTICAL FEATURES OF THE IMAGE

A.I. Strelkov, S.E. Kal'noy, T.A. Strelkova, E.A. Solomko

Organized investigation of the influence of the compression algorithm Wavelet (the standard JPEG-2000) on statistical features of the images. Input image was prototyped as additive amount of the deterministic signal of the constant amplitude and noise, complying by the Poisson law. Produced estimation of average, dispersions and relations signal/noise for signal components, noise components and image. Shown that using the algorithm of the image compression changes the statistics of the noise and statistical features of the image. Herewith exists the growing a relations signal/noise that can be explained filtering properties of the algorithm on high frequency.

Keywords: digital processing of information, statistical features, compressing algorithm Wavelet, compressing standart JPEG-2000.