

2.2. Исследование свойств погрешности (шумов) сжатия

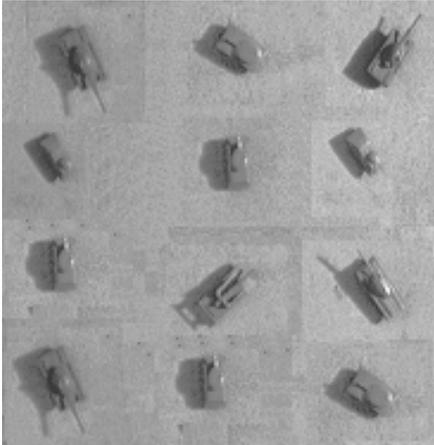
Как было показано в предыдущем разделе, энергетические характеристики шума сжатия хотя и имеют монотонную связь с субъективными показателями качества изображений в рамках конкретного алгоритма сжатия, однако теряют такую связь при сравнении различных алгоритмов. Это наводит на следующий ряд предположений:

- а) знание вторых моментных характеристик недостаточно для адекватного описания шумов сжатия;
- б) шум сжатия статистически связан с изображением;
- в) спектральная мощность шума неравномерна (имеет «окраску»).

2.2.1. Исследование статистических свойств шумов сжатия

Для проверки первого предположения были исследованы гистограммы распределения абсолютных значений шума сжатия для исследуемых алгоритмов сжатия. Для их построения были получены «разностные» изображения, представляющие собой арифметическую разность исходного и восстановленного после сжатия изображений. Для наглядности при визуализации полученные «разностные» изображения подвергались попиксельному линейному преобразованию для приведения к полной шкале яркостей. В качестве примера на рис.2.2.1а показано исходное, на рис.2.2.1б-в восстановленные после сжатия изображения алгоритмами WIC-11 и JPEG-20 соответственно, а на рис.2.2.1г,д соответствующие им «разностные» изображения. На рис.2.2.2 (а÷д) показаны соответствующие изображениям гистограммы яркостей, для разностных изображений приведены аппроксимации гистограмм гауссоидами (в дальнейшем все аппроксимации отвечают статистическому критерию согласия Колмогорова-Смирнова для уровня значимости $\alpha=0,2$).

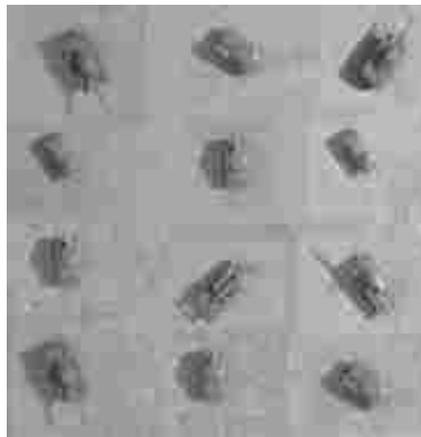
а)



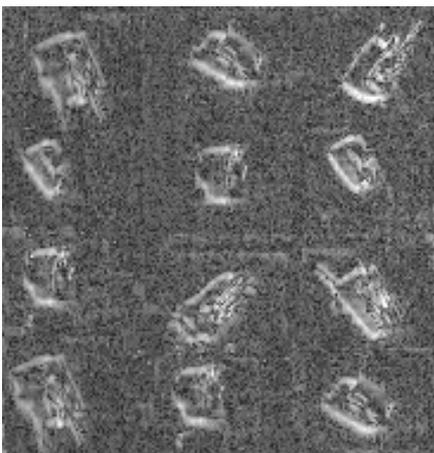
б)



в)



г)



д)

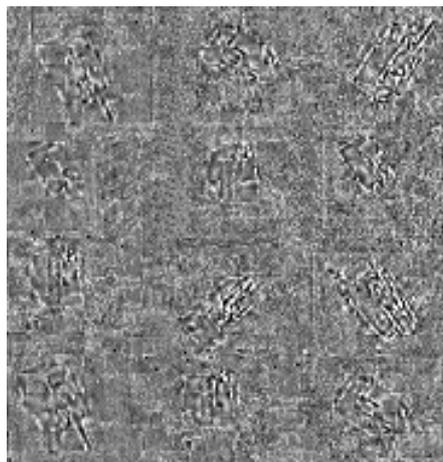
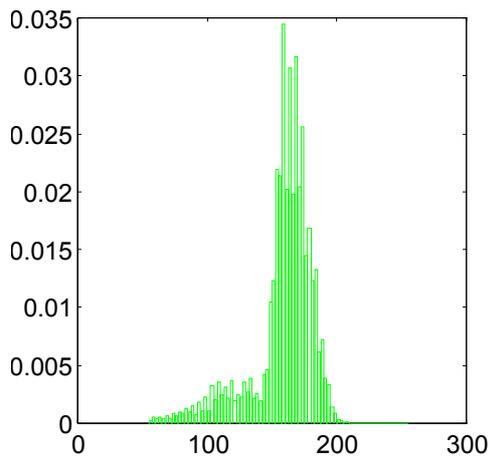
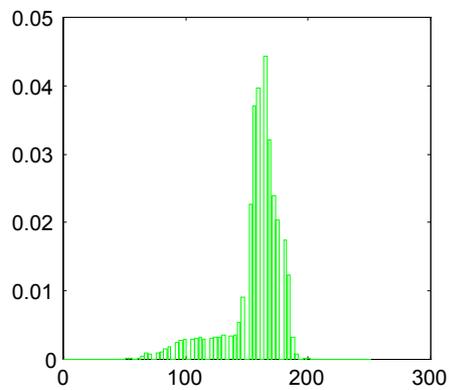


Рис.2.2.1. Исходное, восстановленные и разностные изображения

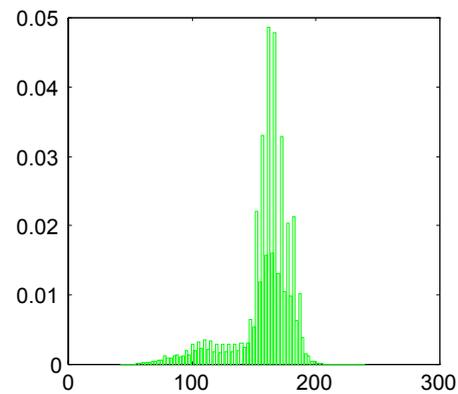
а)



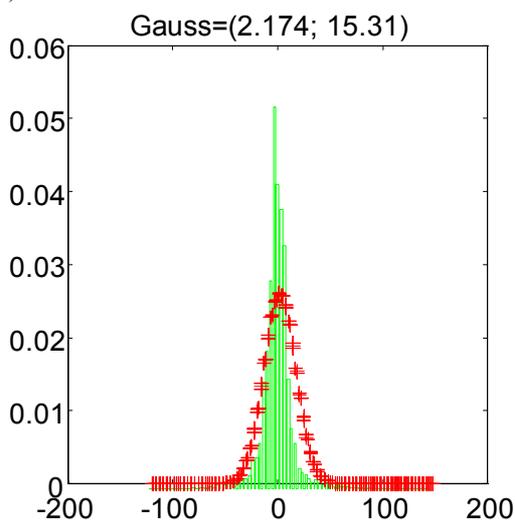
б)



в)



г)



д)

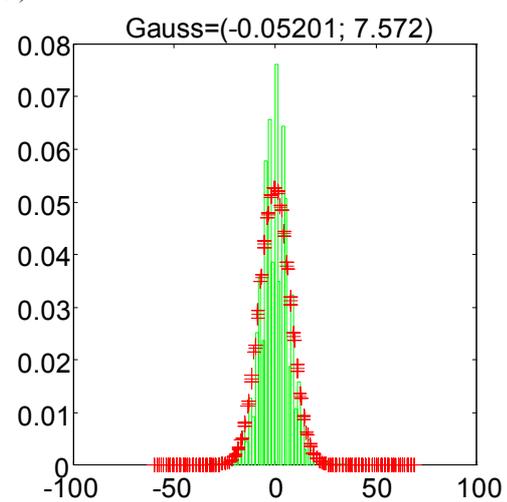


Рис.2.2.2. Гистограммы исходного, восстановленных и разностных изображений

Анализ аналогичных гистограмм шума сжатия позволил сделать вывод, что статистически они неплохо аппроксимируются гауссоидами с близкими к нулю средними значениями. Однако, несмотря на логичность тезиса о статистической независимости шума сжатия, визуальный анализ разностных изображений, имеющих однозначное топологическое подобие с исходным изображением наводит на мысль о наличии такой связи. Для надежной проверки гипотезы о статистической независимости шумов необходимо было выбрать характеристику изображений, позволяющую также гауссовскую аппроксимацию. Поскольку гистограммы яркости не позволяют с достаточной статистической надежностью подобную аппроксимацию, в качестве такой характеристики был выбран модуль градиента, имеющий знак, определяемый полусферой (знак и разбиение на полусферы несущественны и выбираются произвольно):

$$(2.2.1) SGrad^Y [i, j] = Sgn3 \sqrt{\Delta_i^2 + \Delta_j^2}, \text{ где}$$

$$\Delta_i = Y(i+1, j) - Y(i, j), \Delta_j = Y(i, j+1) - Y(i, j),$$

а значение Sgn3 определяется процедурой:

```

Sgn1=sign( $\Delta_i$ );
Sgn2=sign( $\Delta_j$ );

if (Sgn1 == 1)&(Sgn2 == 1)
    Sgn3=1;
elseif (Sgn1 == -1)&(Sgn2 == -1)
    Sgn3=-1;
elseif (Sgn1 == -1)&(Sgn2 == 1)
    if abs(Temp1)>abs( Temp2)
        Sgn3=-1;
    else
        Sgn3=1;
    end
elseif (Sgn1 == 1)&(Sgn2 == -1)
    if abs(Temp1)>abs( Temp2)
        Sgn3=1;
    else
        Sgn3=-1;
    end
elseif (Sgn1 == 0)
    Sgn3=Sgn2;
elseif (Sgn2 == 0)
    Sgn3=Sgn1;
end

```

Необходимость знака у модуля градиента определена стремлением получить гауссово распределение. Как показал опыт, подобная характеристика у реальных изображений достаточно близка к гауссовой. В качестве примера на рис.2.2.3а показано гистограмма $SGrad$ и его аппроксимация гауссоидой для исходного изображения (рис.2.2.1а).

Далее были построены регрессии ошибки сжатия по $SGrad$ (регрессору), каждый пиксел считался независимой реализацией. В результате было установлено, что при сжатии исследуемыми алгоритмами шум сжатия имеет достаточно сильную корреляционную связь с градиентной характеристикой сжимаемого изображения. На рис.2.2.3б,в в качестве примера приведены регрессии ошибки сжатия по знаковому градиенту для изображений, используемых в качестве примера (рис.2.2.1). Таким образом, *опровергается гипотеза о статистической независимости шума сжатия и исходным изображением*, поскольку градиент с точностью до постоянной составляющей однозначно определяет изображение.

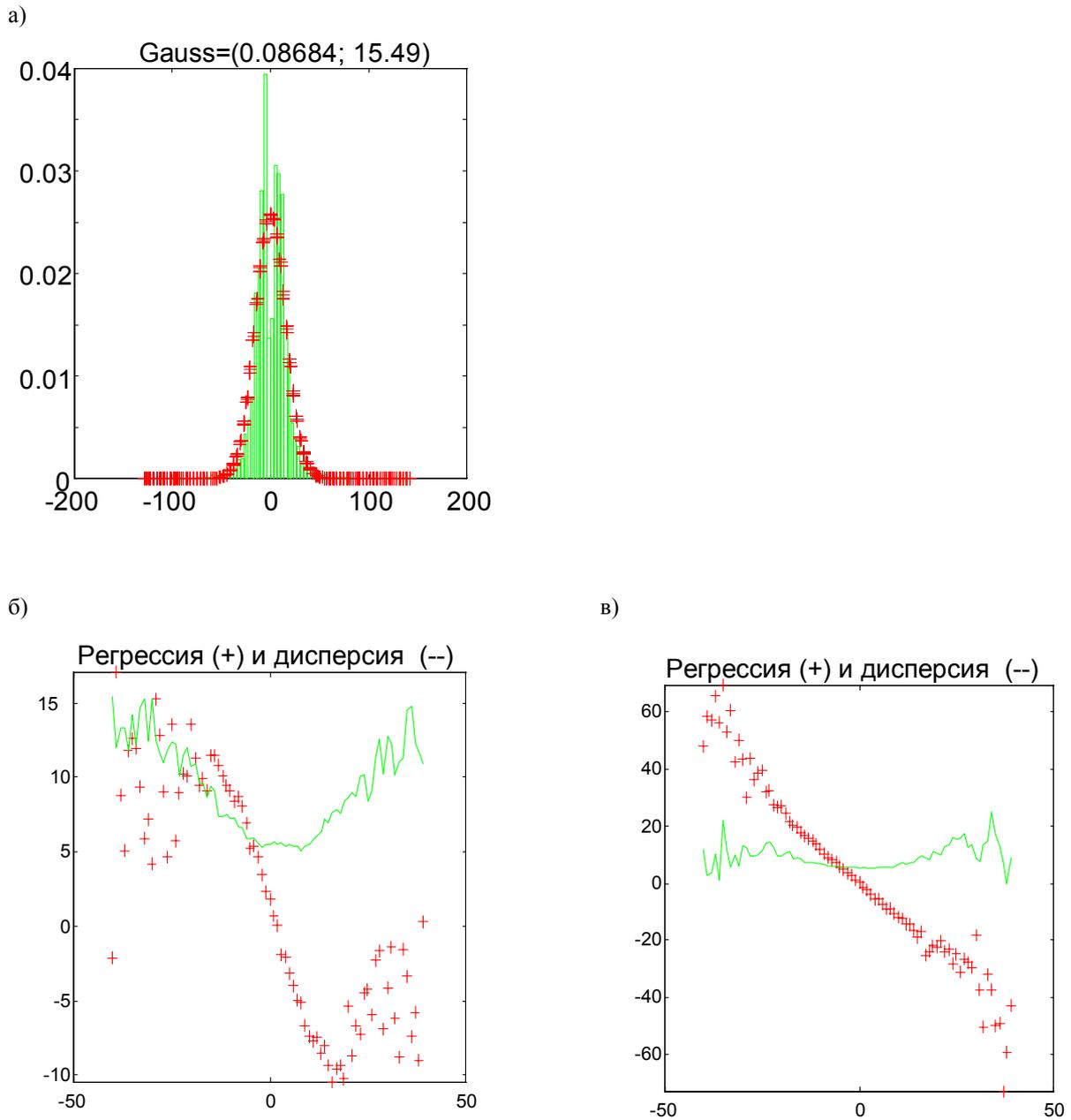
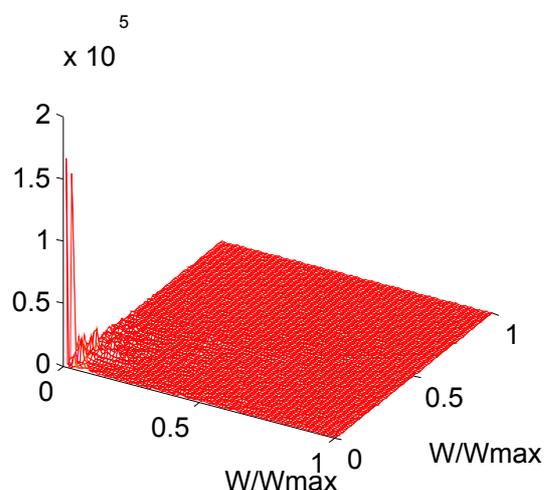


Рис.2.2.3. Гистограмма яркостей $Sgrad$ исходного и регрессии яркостей элементов разностных изображений по $Sgrad$

2.2.2. Исследование спектральных свойств шумов сжатия

Аналогичный визуальный анализ разностных изображений (шумов сжатия), выделяющий однозначное топологическое подобие этих изображений с исходным (подвергаемым сжатию), позволяет выдвинуть гипотезу о существенной неравномерности спектра шума сжатия. Для проверки этой гипотезы были исследованы спектры шумов сжатия множества различных изображений. В ходе анализа результатов эта гипотеза была подтверждена. В качестве примера на рис.2.2.4 приведены спектральные плотности мощности (СПМ) шумов сжатия изображений, используемых в качестве примера (рис.2.2.1). Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что основная доля энергии шума сжатия алгоритмом WIC сосредоточена в области низких частот, а алгоритмом JPEG - в области низких и средних частот.

а)



б)

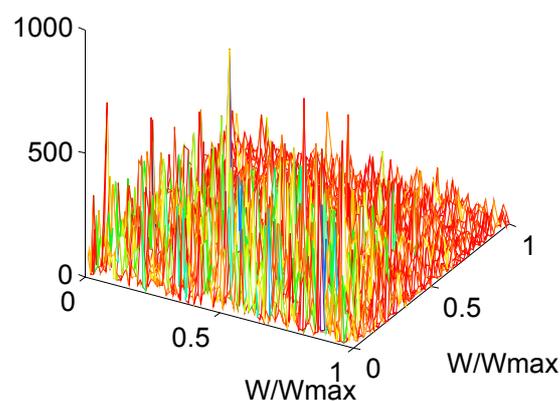


Рис.2.2.4. Спектральные плотности мощности шума сжатия (а-WIC, б-JPEG)