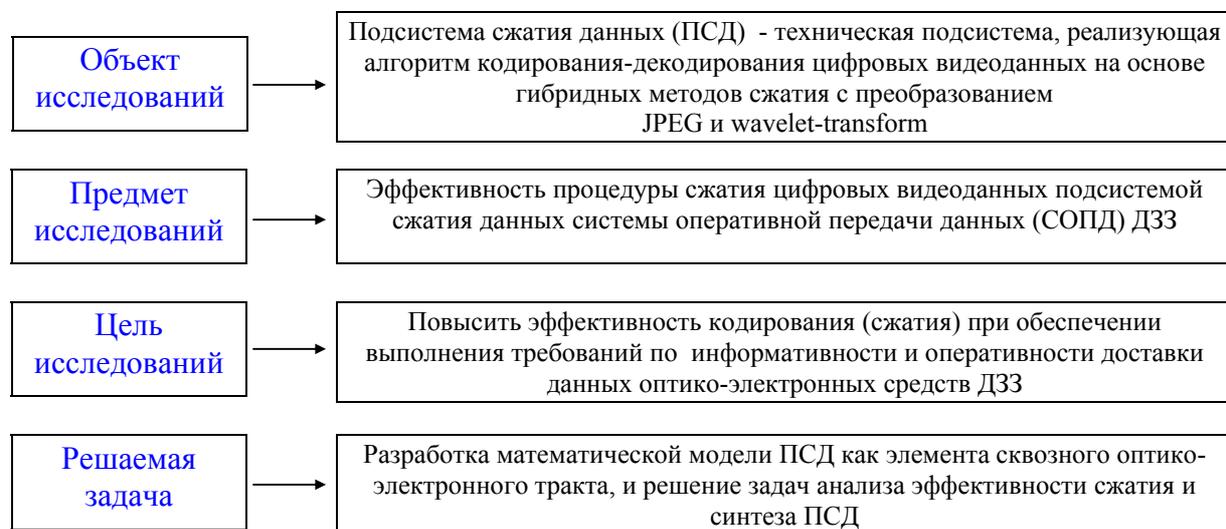


ТЕМА: **Методика априорной оценки эффективности сжатия цифровых изображений в системе оперативной передачи данных дистанционного зондирования Земли**



Основные направления исследований:

1. Исследование существующих моделей ПСД и свойств алгоритмов сжатия, влияющих на показатели качества данных ДЗЗ (вероятность распознавания простых объектов и линейное разрешение).
2. Разработка математической модели ПСД на основе алгоритмов сжатия с преобразованием (WIC, JPEG) как элемента сквозного опто-электронного тракта и обоснование собственного показателя погрешности сжатия.
3. Определение показателей качества ПСД и показателя эффективности сжатия.
4. Исследование зависимости целевого эффекта сжатия от характеристик кодируемых видеоданных и параметров канала передачи данных. Разработка методики обоснования требований к тест-изображениям для оценки показателя целевого эффекта сжатия.
6. Разработка методики априорной оценки показателя эффективности сжатия данных ПСД.
7. Разработка рекомендаций по выбору рациональных алгоритмов сжатия для реализации ПСД.

Основные результаты, выносимые на защиту:

1. Результаты психофизического эксперимента по исследованию зависимости вероятности распознавания простых объектов и линейного разрешения от различных показателей качества алгоритмов сжатия с преобразованием (WIC, JPEG, FIF).
2. Математическая модель алгоритмов сжатия (WIC, JPEG) и метод определения параметров этой модели.
3. Методика формирования требований к множеству тест-изображений для априорной оценки показателя целевого эффекта ПСД.
4. Методика априорной оценки показателя эффективности ПСД.
5. Рекомендации по выбору рациональных алгоритмов сжатия для реализации ПСД.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

ДАНО: 1. Вектор показателей качества системы оперативной доставки оданных (СОПД) ДЗЗ:

$$\vec{Y} = \langle P_{k(i)}, \vec{R}_{\text{сопд}}, T_c \rangle = \theta(\vec{X}) \in D, \quad \text{где}$$

D - пространство допустимого качества СОПД;

$P_{k(i)}$ - потенциальную распознаваемость k -го простого объекта до i -го уровня подробности;

$\vec{R}_{\text{сопд}}$ - вектор показателей ресурсоемкости СОПД;

T_c - время старения информации.

2. Вектор показателей качества ПСД (частных показателей эффективности):

$$\vec{X} = \langle \vec{E}_{\text{псд}}, \vec{R}_{\text{псд}}, T_{\text{сж}} \rangle = \psi(\vec{U}) \in X, \quad \text{где}$$

X - пространство виртуального качества ПСД;

$$\vec{E}_{\text{псд}} = \langle n_k, D(m) \rangle -$$

n_k - плотность вероятности нормированной длины кодового слова (бит/выборку)

при погрешности сжатия изображения $\eta_{\text{сж}}$;

$D(m)$ - вероятность достоверного декодирования $m\%$ закодированного сообщения;

$\vec{R}_{\text{псд}} = \langle M, V, E \rangle$ - ресурсоемкость ПСД (M - масса, V - объем, E - потребляемая мощность бортового комплекта);

$T_{\text{сж}}$ - время выполнения процедуры сжатия;

3. Вектор параметров ПСД и условий функционирования:

$$\vec{U} = \langle A_j(\vec{p}_{A_j}), B, F, K(\vec{p}_K) \rangle,$$

$A_j(\vec{p}_{A_j})$ - j -й алгоритм сжатия, \vec{p}_{A_j} - вектор параметров алгоритма;

B - технологический базис, реализующий ПСД;

F - множество изображений, формируемых бортовой оптико-электронной аппаратурой;

F - скорость входного потока видеоданных;

$K(\vec{p}_K)$ - модель канала передачи данных, \vec{p}_K - вектор параметров модели.

4. Основные ограничения:

Параметры всех подсистем СОПД кроме ПСД неизменны.

Требуется:

1. Выбрать и обосновать собственный показатель качества (погрешности) сжатого изображения $\eta_{\text{сж}}$.

2. Определить функцию связи показателей качества ПСД и СОПД:

$$\vec{Y} = \theta(\vec{X}) \text{ и обратную функцию } \vec{X} = \theta^{-1}(\vec{Y}).$$

3. Определить множество допустимых значений показателя качества ПСД G на основе множества допустимых значений показателей качества СОПД D :

$$G = \theta^{-1}(D) \subset X.$$

4. Определить функцию зависимости показателей качества ПСД от параметров ПСД и условий функционирования

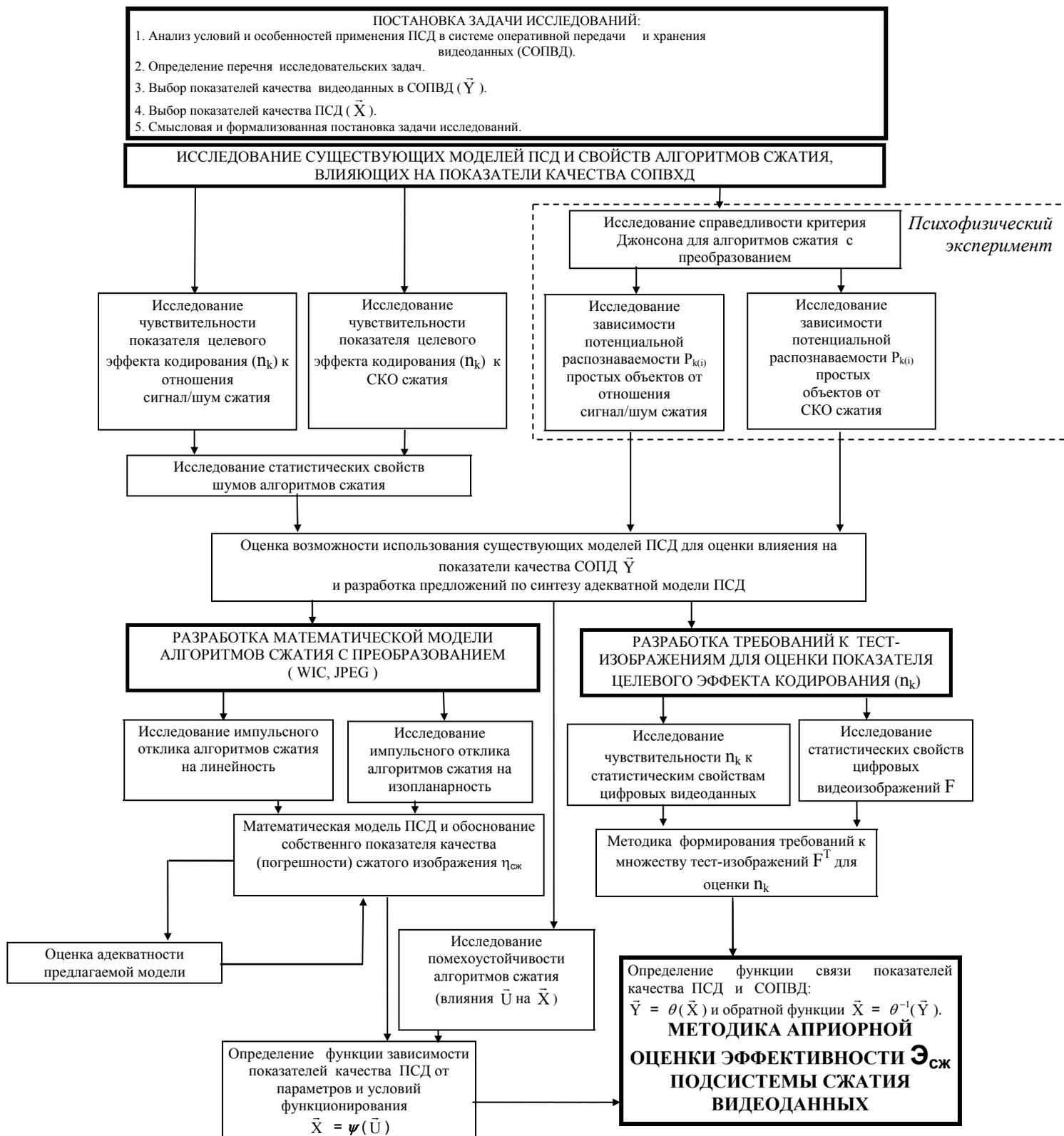
$$\vec{X} = \psi(\vec{U})$$

и разработать методику обоснования требований к множеству тест-изображений F^T для оценки n_k .

5. На основе решения задач 1-4 разработать показатель эффективности сжатия видеоданных $\mathcal{E}_{\text{сж}}$ и методику его оценки, где

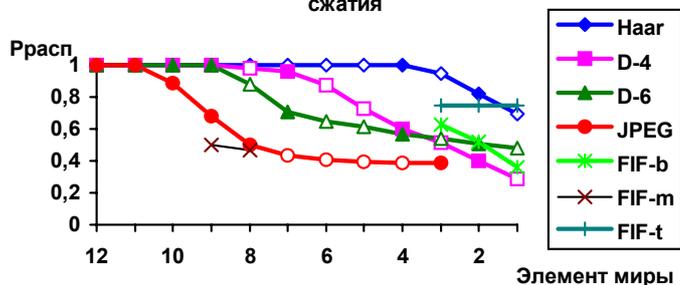
$$\mathcal{E}_{\text{сж}} = \text{вер}(\vec{X} \in G / \vec{U} = \vec{U}_{\text{зад}}).$$

МЕТОДИЧЕСКАЯ СХЕМА ИССЛЕДОВАНИЙ

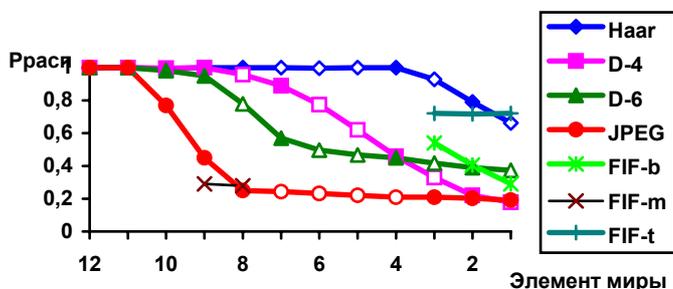


Исследование справедливости критерия Джонсона для алгоритмов сжатия с преобразованием

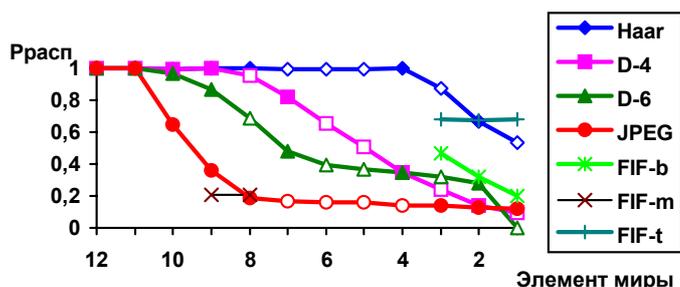
Кривые регрессии вероятности распознавания объекта "Шеридан" до класса от показателя линейного разрешения для различных методов сжатия



Кривые регрессии вероятности распознавания объекта "Шеридан" до подкласса от распознаваемого элемента мира



Кривые регрессии вероятности распознавания объекта "Шеридан" до типа от распознаваемого элемента мира



Легкий танк "Шеридан":
ширина - 2,8 м
длина - 6 м
площадь - 16,8 кв.м
экв.линейный размер - 4,4 м

Мира (в масштабе модели):

Элемент	ширина шпалы, м
1	2,0
2	1,82
3	1,65
4	1,5
5	1,37
6	1,24
7	1,13
8	1,03
9	0,93
10	0,85
11	0,77
12	0,7

Условия эксперимента:

- параметры исходных тест-изображений неизменны:
глубина серого - 256 градаций (8 бит);
контраст мира и объекта - 0,2;
СКО аддитивного белого шума - 7;
критерий разрешаемого элемента мира - по ОСТ.

Точность полученных оценок - 10...15%,
надежность - 0,9.

Выводы:

1. Для различных алгоритмов сжатия с преобразованием (WIC, JPEG, FIF) связь между распознаванием штриховой мира и вероятностью распознавания простых объектов ВВТ до различной степени подробности является значительно неоднозначной - таким образом, вероятность распознавания штриховой мира нельзя применять в качестве собственного показателя степени искажений (погрешности сжатия) для сравнительной оценки эффективности сжатия различными алгоритмами.

2. Для отдельно взятого алгоритма наблюдается монотонная зависимость между распознаванием штриховой мира и вероятностью распознавания простых объектов ВВТ - таким образом, вероятность распознавания штриховой мира можно применять в качестве собственного показателя качества (погрешности сжатия) для сравнительной оценки эффективности сжатия одним алгоритмом при различных параметрах.

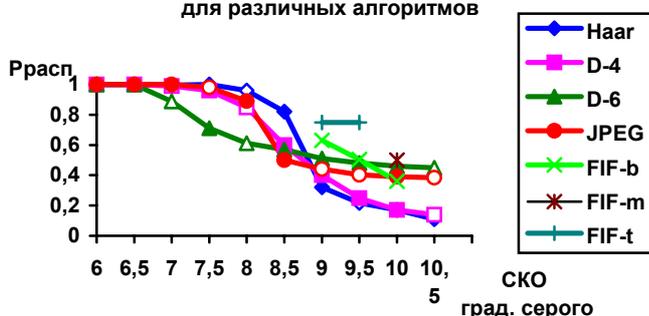
Исследование зависимости вероятности распознавания простых объектов от СКО погрешности сжатия и отношения сигнал/шум

Среднеквадратическое отклонение - $\sigma_{\text{ш}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} (Y[i, j] - Y_{\text{СЖ}}[i, j])^2}{N_x N_y}}$, где

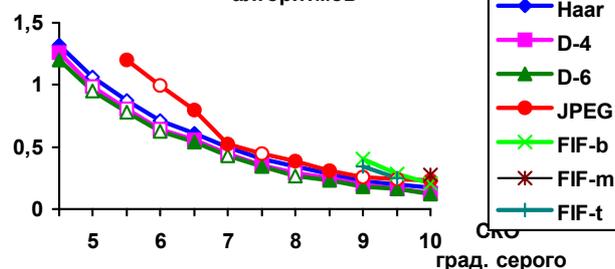
$I(i, j), \tilde{I}(i, j)$ - исходное и восстановленное после сжатия изображение

Отношение сигнал/шум - $C/\text{Ш} = 20 \lg\left(\frac{255}{\sigma}\right)$

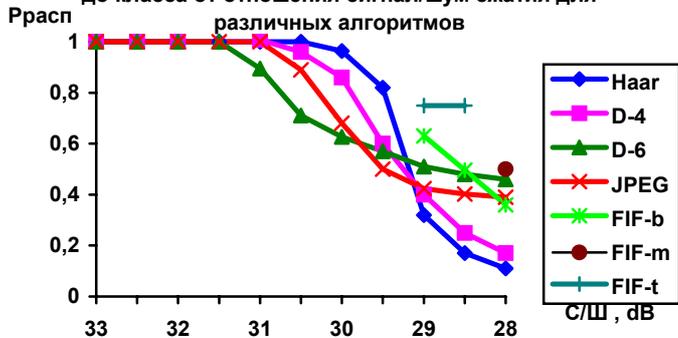
Зависимости статистического среднего вероятности распознавания объекта "Шеридан" до класса от СКО ошибки сжатия для различных алгоритмов



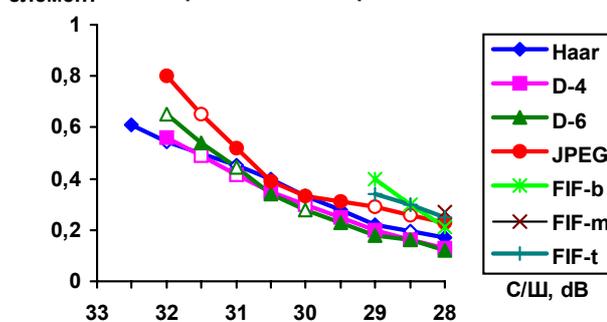
Зависимости плотности кодирования тест-изображения от СКО ошибки сжатия для различных алгоритмов



Зависимости статистического среднего вероятности распознавания объекта "Шеридан" до класса от отношения сигнал/шум сжатия для различных алгоритмов



Зависимости плотности кодирования от отношения сигнал/шум сжатия для различных алгоритмов



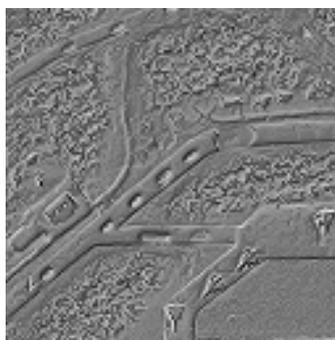
Выводы:

1. Статистическое среднее вероятности опознавания простых объектов не является однозначной функцией от СКО и ОСШ сжатия для различных алгоритмов. Таким образом, СКО и ОСШ погрешности сжатия не могут быть использованы в качестве показателей погрешности сжатия при оценке целевого эффекта.
2. Аддитивно-шумовая модель алгоритмов сжатия также не является адекватной вследствие выводов по п. 1.

Исследование свойств погрешности (шумов) сжатия алгоритмов на примере алгоритма JPEG



Исходное изображение $Im(n_x, n_y)$



Градиент исходного изображения

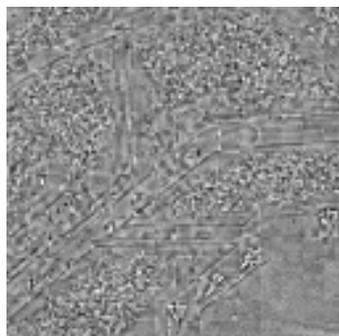
$$\text{Grad}(n_x, n_y) = \sqrt{\Delta_{nx}^2 + \Delta_{ny}^2}, \text{ где}$$

$$\Delta_{nx} = Im(n_x + 1, n_y) - Im(n_x, n_y),$$

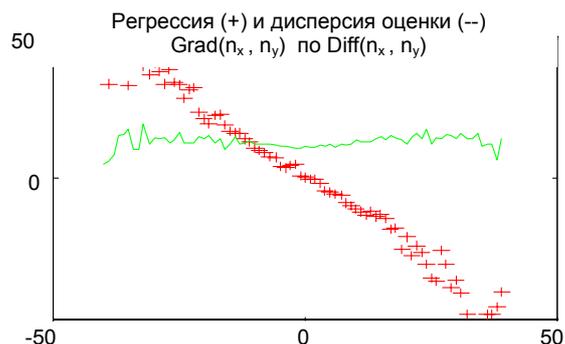
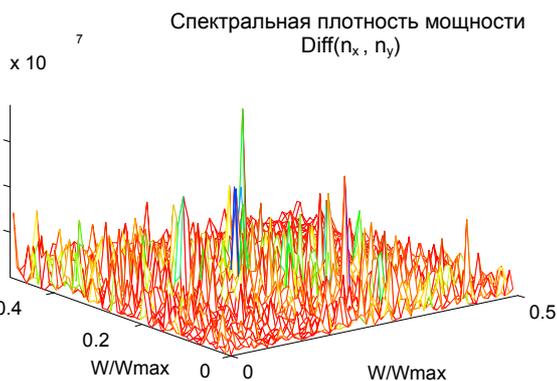
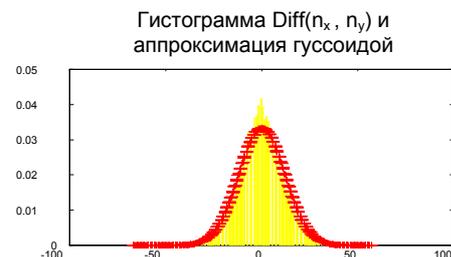
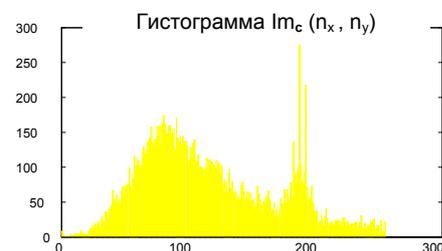
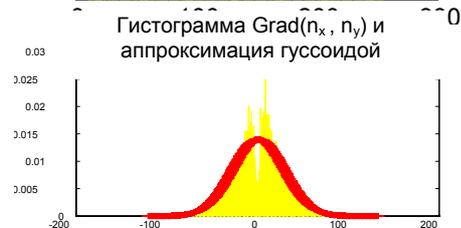
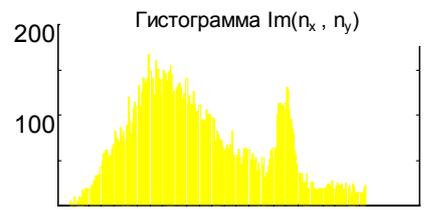
$$\Delta_{ny} = Im(n_x, n_y + 1) - Im(n_x, n_y).$$



Сжатое изображение $Im_c(n_x, n_y)$



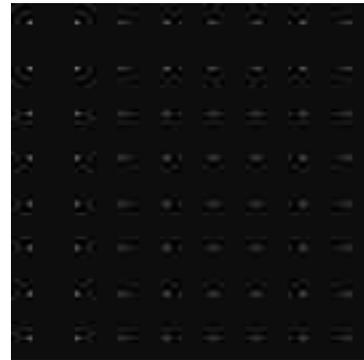
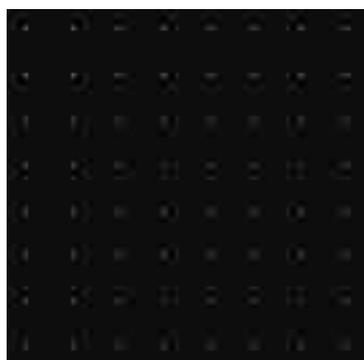
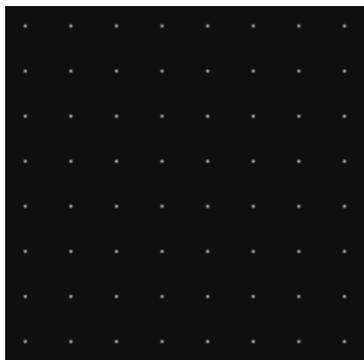
Погрешность сжатия изображения
 $\text{Diff}(n_x, n_y) = Im(n_x, n_y) - Im_c(n_x, n_y)$.



Выводы:

1. Для различных алгоритмов кодирования с преобразованием (WIC, JPEG, FIF) погрешность (шум) сжатия является существенно статистически зависимой от сжимаемого изображения.
2. Спектральная мощность шума сжатия распределена неравномерно - основная доля энергии шума приходится на средние и высокие пространственные частоты.

Исследование импульсного отклика алгоритмов сжатия на линейность и изопланарность на примере алгоритма JPEG

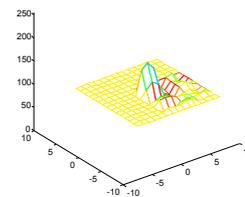
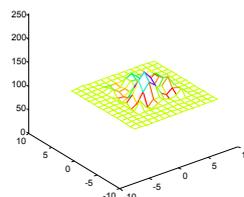
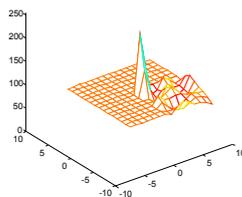


Исходное тест-изображение $Tst[n_x, n_y]$
 $Tst(n_x, n_y) = \begin{cases} 15 \text{ (фон)}, & \forall [n_x, n_y] \notin \mathfrak{Z}, \\ \text{Ampl}, & \forall [n_x, n_y] \in \mathfrak{Z}. \end{cases}$
 $\mathfrak{Z} = \{ (w + (2w+1)k, w + (2w+1)l) \mid k, l = 0 \dots w-1 \},$
 $w = \text{размер окна преобразования (JPEG } w=8).$

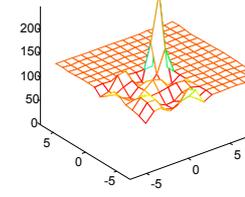
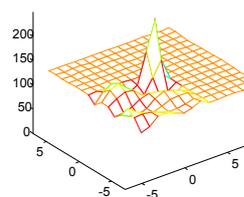
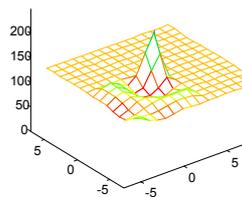
Сжатое тест-изображение
 (алгоритм JPEG, параметр качества - 20, Ampl=150)

Сжатое тест-изображение
 (алгоритм JPEG, параметр качества - 20, Ampl=200)

а) Тест на изопланарность реакции на δ -импульс $\text{Ampl}[n_x, n_y]$ -
 $\text{Ampl} = \text{const},$
 $[n_x, n_y] = \text{var}$



а) Тест на линейность реакции на Δ -импульс $\text{Ampl}[n_x, n_y]$ -
 $\text{Ampl} = \text{const},$
 $[n_x, n_y] = \text{const}.$

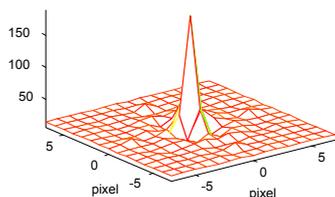


Выводы:

1. Для различных алгоритмов кодирования с преобразованием (WIC, JPEG, FIF) реакция на тестовый Δ -импульс зависит от координат попадания импульса в окно преобразования, т.о. импульсный отклик пространственно неинвариантен (неизопланарен). Количество вариантов импульсного отклика (для фиксированной амплитуды теста) равно размерности окна преобразования.
2. Для различных алгоритмов кодирования с преобразованием (WIC, JPEG, FIF) реакция на тестовый Δ -импульс зависит от амплитуды тест-импульса и уровня фона (фактически – от относительной амплитуды импульса), т.о. импульсный отклик нелинеен.

Линеаризованная математическая модель алгоритма сжатия на примере кодирования по схеме JPEG

MIR JPEG-50, test-15-230



Средний импульсный отклик Mir[] сжатого тест-изображения Tst_c[n_x, n_y]

$$(Ampl \times \delta + \text{фон} = \text{const}) \quad \text{Mir}[1:(2w-1), 1:(2w-1)] =$$

$$\frac{1}{w \cdot w} \boxed{\hspace{15em}}$$

n_i(j, w) = w + (2w+1)j, w = размер окна преобразования (JPEG w=8).

Пусть X[] - произвольная периодическая двумерная решетчатая функция - X[n_x+αN_x, n_y+βN_y] = X[n_x, n_y], где α, β ∈ Z. Тогда комплексный дискретный спектр Фурье

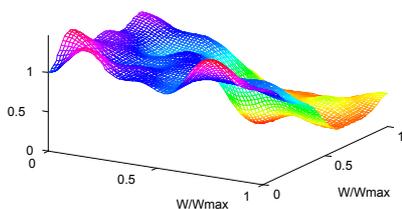
$$F[\omega_x + \alpha\Omega_x, \omega_y + \beta\Omega_y] = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{n_x=0}^{N_x-1} \sum_{n_y=0}^{N_y-1} X[n_x, n_y] \exp(-j2\pi[\frac{n_x \omega_x}{N_x} + \frac{n_y \omega_y}{N_y}]) = F(X)$$

можно представить в виде F[ω_x, ω_y] = A[ω_x, ω_y]e^{-jφ[ω_x, ω_y]}, где A[ω_x, ω_y] и φ[ω_x, ω_y] амплитудный и фазовый спектры соответственно.

Тогда обратное дискретное преобразование Фурье

$$iF(F[\omega_x, \omega_y]) = \sum_{\omega_x=0}^{\Omega_x-1} \sum_{\omega_y=0}^{\Omega_y-1} F[\omega_x, \omega_y] \exp(j2\pi[\frac{n_x \omega_x}{\Omega_x} + \frac{n_y \omega_y}{\Omega_y}]) = X[n_x + N_x, n_y + N_y]$$

FPM JPEG-50, test-15-230

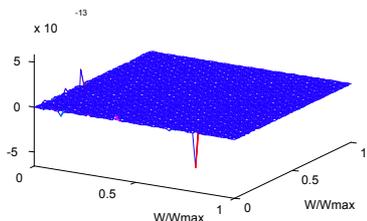


Средняя передаточная функция алгоритма:

$$PF = \frac{F(\text{Mir})}{F(\text{Tst})} = \frac{A^{\text{Mir}}[\omega_x, \omega_y]}{A^{\text{Tst}}[\omega_x, \omega_y]} \exp(\varphi^{\text{Mir}}[\omega_x, \omega_y] - \varphi^{\text{Tst}}[\omega_x, \omega_y]) = FPM e^{\text{FPF}}$$

где FPM - функция передачи модуляции,
FPF - функция передачи фазы.

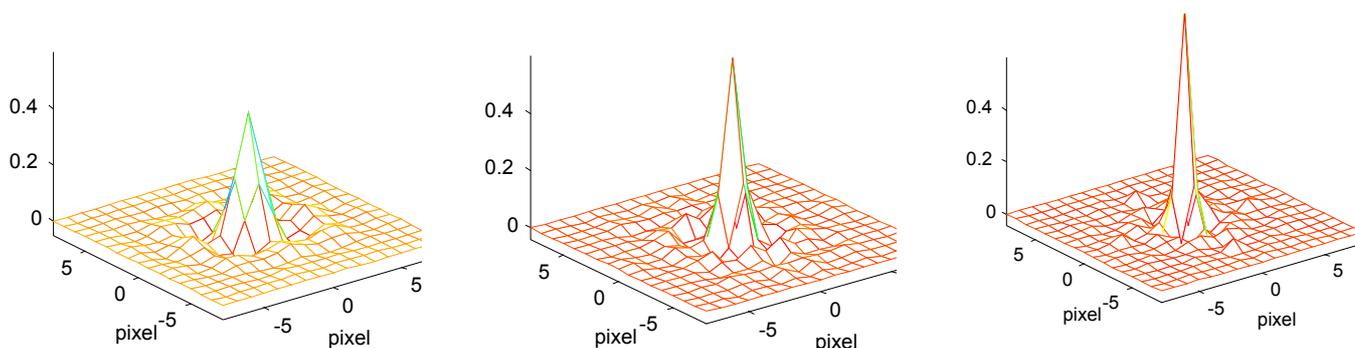
FPF JPEG-50, test-15-230



Средняя дискретная функция рассеяния точки (СДФРТ)
MFRT[1:(2w-1), 1:(2w-1)]

MFRT = iF(PF * F(δ)), где δ - дискретная дельта-функция.

Примеры СДФРТ, полученные при различных амплитудно-взвешенных тестах (JPEG, параметр 20):



Линеаризованная математическая модель алгоритма сжатия на примере кодирования по схеме JPEG (продолжение)

а) Выбор СДФРТ :



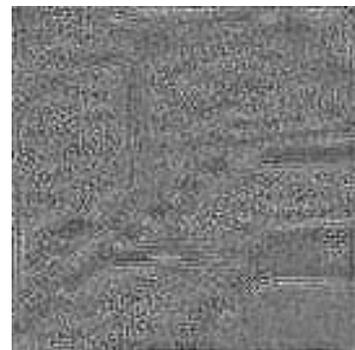
Исходное изображение
 $Im[n_x, n_y]$



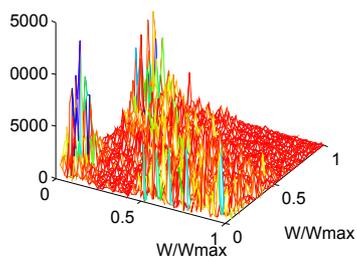
Сжатое изображение
 $Im_{JPEG50}[n_x, n_y]$



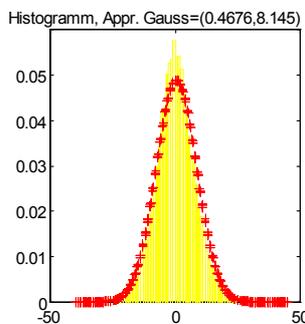
Исходное изображение,
свернутое с СДФРТ (Ampl=150)
 $Im_{Ampl150}[n_x, n_y]$



Разность сжатого и свернутого
изображений (невязка модели)
 $Diff[n_x, n_y] =$
 $Im_{JPEG50}[n_x, n_y] - Im_{Ampl150}[n_x, n_y]$

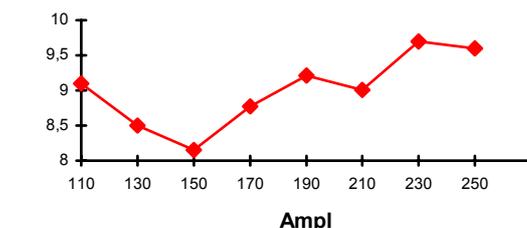


Спектральная плотность
мощности $Diff[n_x, n_y]$



Гистограмма $Diff[n_x, n_y]$ и ее
аппроксимация гауссолой

СКО,
град/серого



Ampl

Критерий выбора $MFRT_{Ampl}$:
-минимум СКО невязки модели

$$\sigma_{нев}^2 = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{n_x=0}^{N_x} \sum_{n_y=0}^{N_y} (Diff[n_x, n_y] - \overline{Diff[n_x, n_y]})^2$$

Определение параметра аддитивного шума ($\sigma_{ш}$):
-равенство энергий отфильтрованного шума и шума невязки линейной модели

$$\sigma_{ш}^2 = \frac{\sum_{\omega_x=0}^{\Omega_x} \sum_{\omega_y=0}^{\Omega_y} S^{Diff}[\omega_x, \omega_y]}{\sum_{\omega_x=0}^{\Omega_x} \sum_{\omega_y=0}^{\Omega_y} FPM^2[\omega_x, \omega_y]}$$



Изображение
 $Im_{ш}[n_x, n_y]$ зашумленное $\sigma_{ш}=9$



Модельное изображение
 $Im_m[n_x, n_y]$

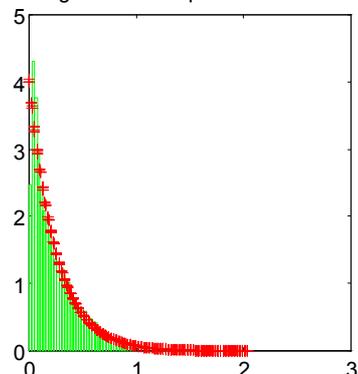


Сжатое изображение
 $Im_{JPEG50}[n_x, n_y]$

Линеаризованная математическая модель алгоритма сжатия на примере кодирования по схеме JPEG (заключение)

а) Выбор показателя контраста изображения :

Histogramma & Exponenta m=4.046



Показатель среднего контраста изображения - параметр μ аппроксимации экспоненциальным законом распределения модуля нормированного к средней яркости градиента изображения:

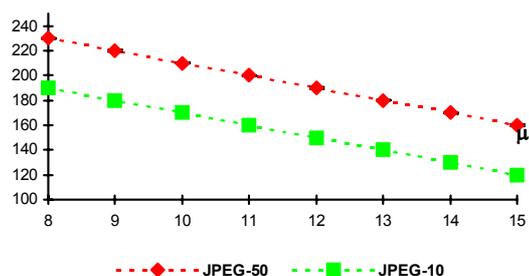
$$f(\text{Grad}^n[n_x, n_y]) \approx \mu e^{-\mu \text{Grad}^n[n_x, n_y]}$$

, где $f(*)$ - плотность распределения,

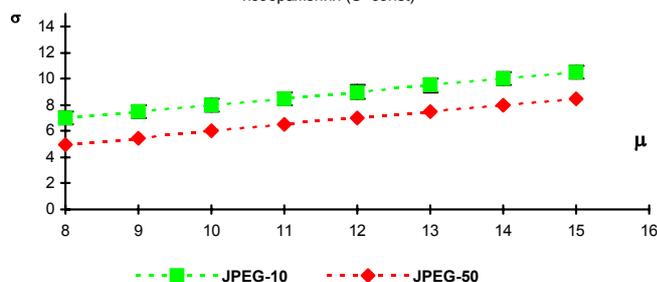
$$\text{Grad}^n[n_x, n_y] = 3 * \text{abs}(\text{Grad}[n_x, n_y]) / (\text{Im}[n_x, n_y] + \text{Im}[n_x + 1, n_y] + \text{Im}[n_x, n_y + 1])$$

б) Исследование зависимости модели (MFRT_{Ampl} и N(0,σ)) от характеристик изображения (S и μ):

Линия регрессии параметра Ampl модели от показателя контраста изображения (S=const)

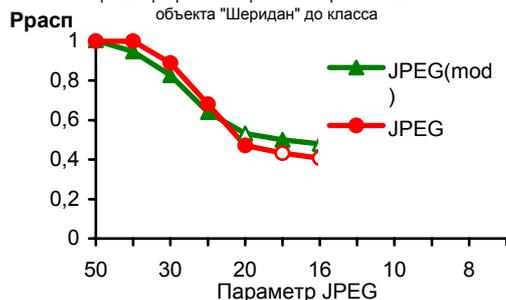


Линия регрессии параметра σ модели от показателя контраста изображения (S=const)

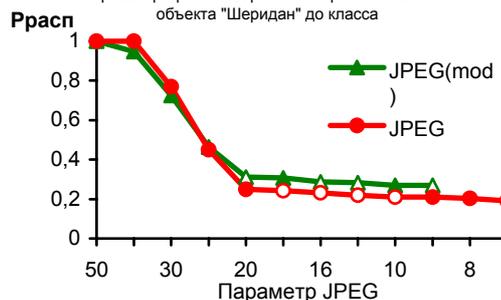


в) Оценка адекватности линеаризованной модели по показателю вероятности распознавания простого объекта ВВТ:

Кривые регрессии вероятности распознавания объекта "Шеридан" до класса



Кривые регрессии вероятности распознавания объекта "Шеридан" до класса

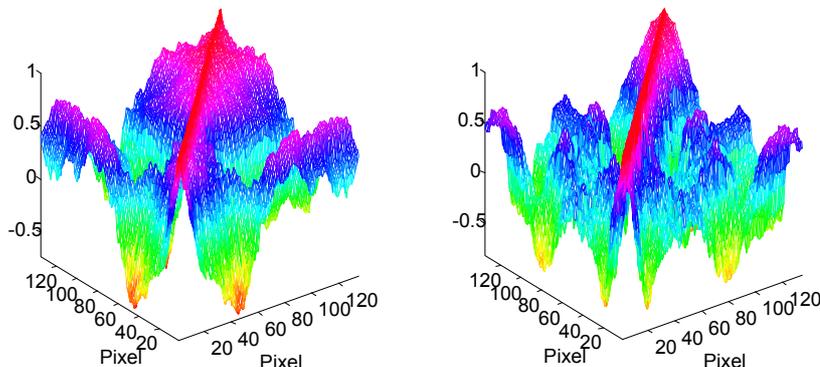


Выводы:

- Для различных алгоритмов кодирования с преобразованием (WIC, JPEG) в качестве математической модели (с точностью ±10...15%) можно использовать линеаризованный (посредством фиксации среднего контраста изображения) и изопланированный (посредством пространственного осреднения) аналог ФРТ - СДФРТ в сочетании с независимым аддитивным гауссовским шумом. Собственно СДФРТ и σ шума целесообразно использовать в качестве собственных показателей степени искажения алгоритмом сжатия.
- Параметры математической модели с достаточной точностью и достоверностью (для фиксированных значений параметров алгоритмов) описываются линейной регрессией от показателя среднего контраста изображения и не зависят от показателя автокорреляционных свойств сжимаемых изображений.
- В качестве показателя среднего контраста изображения целесообразно использовать параметр μ аппроксимации экспоненциальным законом распределения модуля нормированного к средней яркости градиента изображения.

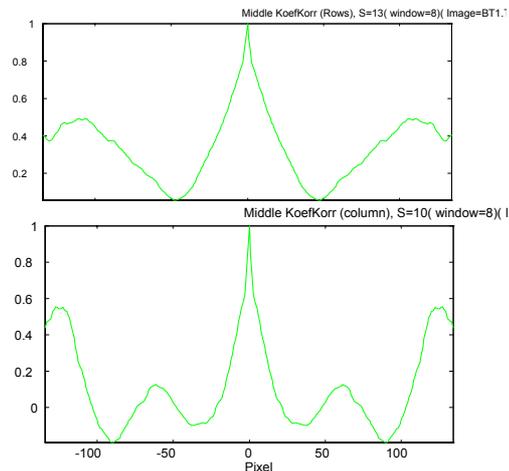
Исследование зависимости удельной плотности кодирования от статистических характеристик изображений на примере кодирования по схеме JPEG

а) Выбор статистических характеристик изображений:



Корреляционная матрица $\|\rho_{ij}\|$ статистической связи элементов в строке исходного изображения $Im[n_x, n_y]$

Корреляционная матрица $\|\rho_{ij}\|$ статистической связи элементов в столбце исходного изображения $Im[n_x, n_y]$



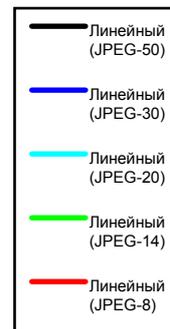
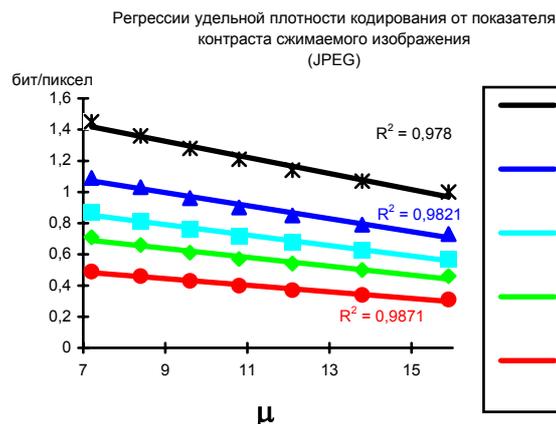
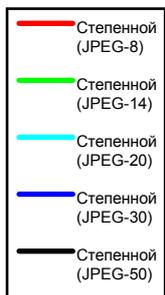
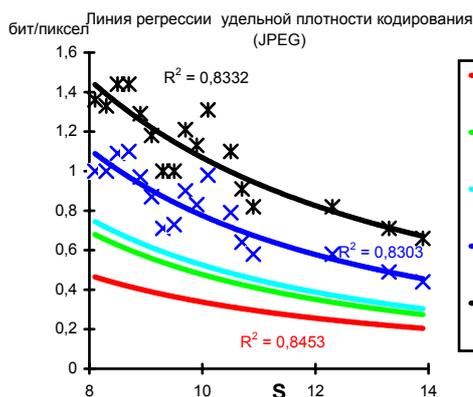
Кривые средних арифметических коэффициентов корреляции элементов изображения по строкам и столбцам $\rho_{стр}(\tau)$ и $\rho_{стл}(\tau)$

$$\hat{\rho}_{i,j} = \frac{\sum_{n_x} (Im[n_x, n_{y_i}] - \bar{Im}[* , n_{y_i}]) (Im[n_x, n_{y_j}] - \bar{Im}[* , n_{y_j}])}{\sqrt{\sum_{n_x} (Im[n_x, n_{y_i}] - \bar{Im}[* , n_{y_i}])^2} \sqrt{\sum_{n_x} (Im[n_x, n_{y_j}] - \bar{Im}[* , n_{y_j}])^2}}$$

Показатель статистической связи элементов изображения - среднее геометрическое произведения сумм средних коэффициентов корреляции по строкам и столбцам в радиусе окна преобразования:

$$S = \sqrt{\sum_{-(W-1)}^{W-1} \rho_{стл}(\tau) \sum_{-(W-1)}^{W-1} \rho_{стр}(\tau)}$$

б) Исследование зависимости удельной длины кода сжатого изображения от параметров S и μ :



Выводы:

1. Для различных алгоритмов кодирования с преобразованием (WIC, JPEG) удельная плотность кодирования (для фиксированных параметров алгоритма) является зависимой случайной величиной от показателя статистической связи элементов изображения (S) и показателя среднего контраста изображения (μ), характер зависимости с точностью $R^2 > 0,8$ описывается степенной и линейной регрессией соответственно.
2. В качестве показателя статистической связи элементов изображения целесообразно использовать среднее геометрическое произведения сумм средних коэффициентов корреляции элементов изображения по строкам и столбцам в радиусе окна преобразования алгоритма.

Исследование помехоустойчивости алгоритмов сжатия и выбор показателя помехоустойчивости на примере кодирования по схеме JPEG

а) Исследование возможных потерь при восстановлении изображений:



Потеря одного блока (окна преобразования ДКП 8x8)

Потеря данных о средней яркости нескольких блоков

Потеря данных нескольких блоков

Результаты моделирования тракта сжатие → канал передачи данных → восстановление:

Модель канала передачи данных $\{K(\vec{p}_K)\}$ - стационарный симметричный канал без памяти,
 $\vec{p}_K = \{p_{ош}\} = 1 \times 10^{-5}$ - вероятность инвертирования бита.
 Алгоритм сжатия JPEG (ДКП+хаффмановское кодирование), параметр - 10.
 Выборка - 1000 изображений, размер каждого изображения ≈ 100000 бит.

Показатель помехоустойчивости алгоритма $(\varepsilon_{K^*, A^*}^N)$ - вероятность достоверного декодирования (событие S) сжатого изображения объемом N бит при заданной модели канала связи $K^*(\vec{p}_K)$, параметрах алгоритма сжатия $A^*(\vec{p}_A^*)$ и фиксированных μ^*, S^*

$$\varepsilon_{K^*, A^*}^{N, \mu^*, S^*} = \text{вер}\{S | K^*(\vec{p}_K), A^*(\vec{p}_A^*), \mu^*, S^*\}$$



б) Оценка вероятности декодирования изображения, сегментированного на k-блоков по r элементов разложения, плотность кодирования - n бит на элемент, при заданной модели канала связи $K^*(\vec{p}_K)$ и параметрах алгоритма сжатия $A^*(\vec{p}_A^*)$:

Основное допущение: передача каждого закодированного блока в кадре - независимые события.

Тогда вероятность достоверного декодирования не менее, чем m-блоков кадра описывается функцией распределения Бернулли

$$E(m) = \sum_{l=0}^m \varepsilon_l, \text{ где}$$

$$\varepsilon_l = C_k^l \varepsilon_{K^*, A^*}^{N, \mu^*, S^*} (1 - \varepsilon_{K^*, A^*}^{N, \mu^*, S^*})^{k-l}, \quad C_k^l - \text{биномиальный коэффициент, } N=r \times n.$$

Выводы:

1. Для различных алгоритмов кодирования с преобразованием (WIC, JPEG, FIF) основными видами потерь при декодировании является полная потеря кадра, процент частичных потерь кадра составляет незначительный процент, поэтому в качестве показателя помехоустойчивости алгоритма целесообразно выбрать вероятность достоверного декодирования сжатого изображения объемом N бит при заданной модели канала связи и параметрах алгоритма сжатия.

2. Вероятность декодирования $\frac{m}{k} \%$ сегментированного на k блоков изображения подчиняется распределению Бернулли и полностью определяется вероятностью достоверного декодирования сжатого изображения объемом N бит при заданной модели канала связи и параметрах алгоритма сжатия.

Методика формирования требований к множеству тест-изображений для оценки показателя целевого эффекта кодирования

а) Исходные данные:

1. Требования к надежности $T\%$ ($\alpha = 1 - T/100$) и точности $\pm D\%$ ($d_n = D/100$) оценки параметров распределения удельной плотности кодирования и вероятности достоверного декодирования сжатого изображения.
2. Априорные сведения о множестве предполагаемых объектов разведки (R), условиях съемки (виртуальное множество векторов параметров съемки P) и параметрах аппаратуры формирования цифровых изображений.
3. Множество цифровых модельных изображений I , эквивалентных (с максимально достижимой точностью) изображениям, предполагаемым для сжатия. (Формируются путем (физико-)математического моделирования на основе априорных сведений о предполагаемых объектах разведки, условиях съемки и параметрах аппаратуры формирования цифровых изображений).
4. Алгоритм сжатия и вектор его параметров $A_j(\vec{P}_{A_j})$.
5. Размер модельных изображений $N = N_x \times N_y$ (определяется параметрами аппаратуры формирования цифровых изображений или структурой предполагаемого видеокadra).

б) Требуется определить:

1. Количество необходимых тестовых изображений K_t .
2. Требуемое значение показателя степени автокорреляции элементов тест-изображений S^{TP} .
3. Требуемое значение показателя среднего контраста тест-изображений μ^{TP} .

в) Методика решения задачи:

1. Порядок определения количества необходимых тестовых изображений.

Для фиксированных μ , S и $A_j(\vec{P}_{A_j})$ плотность распределения n_k подчиняется нормальному закону распределения с параметрами (m_n, σ_n) . Для оценки стандартного отклонения со статистической надежностью α при точности d_n необходимо минимальный объем выборки приблизительно равен

$$(1) \quad k_\sigma \approx 1 + 0,5 \left(\frac{z_\alpha}{d_n} \right)^2, \text{ где } z_\alpha - \text{двусторонний } z\text{-критерий стандартного нормального закона распределения}^*.$$

Для оценки m_n со статистической надежностью α при точности d необходимо минимальный объем выборки равен

$$(2) \quad k_m = \left(\frac{z_\alpha}{d_n} \right)^2 \sigma_n^2.$$

Показатель помехоустойчивости алгоритма (ε_{K^*, A^*}^N) - вероятность достоверного декодирования сжатого изображения

определяется по результатам k_ε опытов. Тогда для его оценки с требуемой надежностью и достоверностью требуется опытов

$$(3) \quad k_\varepsilon =$$

Тогда

$$(4) \quad K_t = \max\{k_\sigma, k_m, k_\varepsilon\}.$$

2. Порядок определения требуемого значения показателя степени автокорреляции элементов тест-изображений.

Для фиксированного алгоритма с вектором параметров $A_j(\vec{P}_{A_j})$ оценить коэффициенты линейной регрессии n_k по S^*

$$(4) \quad \hat{\Pi}_k = v_{ns} + \beta_{ns} S, \text{ объем выборки для } S \text{ определяется 95\%-процентной надежностью оценки коэффициента корреляции } \rho_{ns}^*.$$

Определить доверительный интервал d_s для оценки S^{TP}

$$(5) \quad d_s = d_n / \beta_{ns}.$$

Для фиксированных $A_j(\vec{P}_{A_j})$ плотность распределения S^{TP} подчиняется нормальному закону распределения с параметрами (m_s, σ_s) . Значение показателя степени автокорреляции элементов тест-изображений S^{TP} выбирается как наиболее близкое к возможному минимуму на множестве I и определяется

$$(6) \quad S^{TP} = \hat{m}_s - 3\hat{\sigma}_s, \quad \hat{m}_s \text{ и } \hat{\sigma}_s \text{ определяются с надежностью } \alpha \text{ и точности } d_s^*.$$

2. Порядок определения требуемого значения показателя степени автокорреляции элементов тест-изображений.

Для фиксированных алгоритма с вектором параметров $A_j(\vec{P}_{A_j})$ и S^{TP} оценить коэффициенты линейной регрессии n_k по μ^*

$$(7) \quad \hat{\Pi}_k = v_{\mu} + \beta_{\mu} \mu, \text{ объем выборки для } \mu \text{ определяется 95\%-процентной надежностью оценки коэффициента корреляции } \rho_{\mu}^*.$$

Определить доверительный интервал d_μ для оценки μ^{TP}

$$(8) \quad d_\mu = d_n / \beta_{\mu}.$$

Для фиксированных $A_j(\vec{P}_{A_j})$ плотность распределения μ^{TP} подчиняется нормальному закону распределения с параметрами (m_μ, σ_μ) . Значение показателя степени автокорреляции элементов тест-изображений μ^{TP} выбирается как наиболее близкое к возможному минимуму на множестве I и определяется

$$(9) \quad \mu^{TP} = \hat{m}_\mu - 3\hat{\sigma}_\mu, \quad \hat{m}_\mu \text{ и } \hat{\sigma}_\mu \text{ определяются с надежностью } \alpha \text{ и точности } d_\mu^*.$$

*)- определяется известными статистическими методами или на основе известных статистических таблиц (напр. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976.)

Определение функционалов зависимости показателей качества ПСД от параметров и условий функционирования

а) Показатели целевого эффекта ПСД:

1) n_k - плотность вероятности нормированной длины кодового слова (бит/выборку) в общем виде является функционалом

$$(1) \quad n_k = \phi^n(\bar{n}_{сж}, A_j(\bar{p}_{A_j}), F^T, K(\bar{p}_k)), \text{ где}$$

$$(2) \quad F^T = \phi^F(K, S, \mu) \text{ (определяются по отдельной методике).}$$

Тогда для фиксированных $\bar{n}_{сж}, A_j(\bar{p}_{A_j}), F^T, K(\bar{p}_k)$ подчиняется нормальному закону распределения

$$(3) \quad n_k = N(\mu_n, \sigma_n).$$

Показатель погрешности сжатия изображения является двухкомпонентным вектором $\bar{n}_{сж} = \{\text{СДФРТ}^* [W \times W], \sigma_{ш}\}$ и в общем виде является функционалом

$$(4) \quad \bar{n}_{сж} = \phi^n(A_j(\bar{p}_{A_j}), F^T).$$

СКО шума $\sigma_{ш}$ линеаризованной модели алгоритма сжатия в общем виде является функционалом

$$(5) \quad \sigma_{ш} = \phi^\sigma(A_j(\bar{p}_{A_j}), F^T).$$

Для фиксированных $A_j(\bar{p}_{A_j}), F^T$ параметр $\sigma_{ш}$ описывается U-образной регрессией $\hat{\sigma}_{ш}$ на множестве всех возможных СДФРТ S

(множество S детерминировано и счетно, регрессия оценивается на основе экспериментальных данных)

$$(6) \quad \sigma_{ш}(\text{СДФРТ}^*) = \min_{\text{сдфрт}_i \in S} \hat{\sigma}(\text{сдфрт}_i).$$

СДФРТ* $[W \times W]$ определяется на основе анализа (2).

Параметр СДФРТ i из (6) для фиксированных $A_j(\bar{p}_{A_j})$ связан линейной регрессионной зависимостью с показателем среднего контраста множества F^T

$$(8) \quad \hat{i} = \nu_{i\mu} + \beta_{i\mu} \mu.$$

2) вероятность достоверного декодирования не менее $m\%$ сжатого изображения $D(m)$

для фиксированных $A_j(\bar{p}_{A_j}), K(\bar{p}_k)$ описывается распределением Бернулли

$$D(m) = \sum_{l=0}^m \varepsilon_l, \text{ где}$$

$\varepsilon_l = C_k^l \varepsilon_{K^*, A^*}^l (1 - \varepsilon_{K^*, A^*}^l)$, C_k^l - биномиальный коэффициент, k - количество отдельно кодируемых сегментов изображения размерностью N .

б) Показатели ресурсоемкости ПСД:

1) Масса (M), объем (V) и потребляемая мощность (E) для заданного $T_{сж}$ в общем виде являются функционалами

$$(9) \quad M(V, E) = \phi^{M(V, E)}(A_j(\bar{p}_{A_j}), B, F, F).$$

Для фиксированных B, F, F зависимость (9) приближенно описывается монотонно возрастающей регрессией от показателя алгоритмической сложности алгоритма AS (определяется на основе анализа спроектированных ранее других устройств)

$$(10) \quad \hat{M}(\hat{V}, \hat{E}) \approx \text{regr}^{M(V, E)}(AS), \text{ где}$$

$$AS = \frac{k_{сл} + \gamma^{ym} k_{ум} + \gamma^{оп} k_{оп}}{N_x N_y}, \text{ где } k_{сл(ум, оп)} - \text{количество сложений (умножений, обращений к памяти),}$$

$\gamma^{ум(оп)}$ - весовой множитель операции по отношению к операции сложения.

в) Показатель затрат операционного времени:

1) Время выполнения процедуры кодирования (сжатия) $T_{сж}$ для заданных M, V, E в общем виде является функционалом

$$(11) \quad T_{сж} = \phi^{T_{сж}}(A_j(\bar{p}_{A_j}), B, F, F).$$

Для фиксированных B, F, F зависимость (11) является монотонно возрастающей функцией от показателя алгоритмической сложности алгоритма AS (определяется на этапе проектирования подсистемы)

$$(12) \quad T_{сж} = f(AS).$$

**Методика априорной оценки эффективности подсистемы сжатия
видеоданных**

НЕ

Публикуется

Адрес для контакта:

sev@co.ru