

В соответствие со своим вариантом реализовать стеганографический алгоритм скрытия данных в пространственной области контейнеров-изображений. Оценить уровень вносимых искажений заполненных контейнеров с использованием объективных метрик (см. Приложение 1) и устойчивость встроенной информации по отношению негативному воздействию на заполненный контейнер (см. Приложение 2).

1) Реализовать LSB-алгоритм. В качестве метрик для оценки искажений заполненных контейнеров использовать $\mu_{\max D}$, μ_{MSE} , μ_{L_p} . Построить зависимости вероятности ошибок при извлечении скрытых данных от количества элементов контейнера, используемых для скрытия данных.

2) Реализовать LSB-алгоритм. В качестве метрик для оценки искажений заполненных контейнеров использовать μ_{SNR} , μ_{MSE} , μ_{LMSE} . При скрытии использовать два младших двоичных разряда яркости/цветности пикселя.

3) Реализовать LSB-алгоритм. В качестве метрик для оценки искажений заполненных контейнеров использовать $\mu_{\max D}$, μ_{SNR} , μ_{PSNR} . Построить зависимости вероятности ошибок при извлечении скрытых данных от объема скрываемой информации.

4) Реализовать LSB-алгоритм. В качестве метрик для оценки искажений заполненных контейнеров использовать $\mu_{\max D}$, μ_{MSE} , μ_{L_p} . Оценить устойчивость встроенной информации по отношению негативному воздействию на заполненный контейнер типа аддитивного зашумления.

5) Реализовать LSB-алгоритм. В качестве метрик для оценки искажений заполненных контейнеров использовать μ_{SNR} , μ_{MSE} , μ_{LMSE} . Оценить устойчивость встроенной информации по отношению негативному воздействию на заполненный контейнер типа масштабирования.

6) Реализовать LSB-алгоритм. В качестве метрик для оценки искажений заполненных контейнеров использовать μ_{NMSE} , μ_{SNR} , μ_{PSNR} . Оценить устойчивость встроенной информации по отношению негативному воздействию на заполненный контейнер типа поворота заполненного контейнера.

7) Реализовать LSB-алгоритм. В качестве метрик для оценки искажений заполненных контейнеров использовать $\mu_{\max D}$, μ_{MSE} , μ_{L_p} . Построить зависимости вероятности ошибок при извлечении скрытых данных от количества элементов контейнера, используемых для скрытия данных.

8) Реализовать LSB-алгоритм. В качестве метрик для оценки искажений заполненных контейнеров использовать μ_{NMSE} , μ_{MSE} , μ_{LMSE} . При скрытии использовать псевдослучайный порядок обхода пикселей контейнера при реализации ССИ.

9) Реализовать LSB-алгоритм. В качестве метрик для оценки искажений заполненных контейнеров использовать $\mu_{\max D}$, μ_{SNR} , μ_{PSNR} . При скрытии

использовать псевдослучайный порядок обхода пикселей контейнера при реализации ССИ.

10) Реализовать LSB-алгоритм. В качестве метрик для оценки искажений заполненных контейнеров использовать μ_{NMSE} , μ_{SNR} , μ_{PSNR} . При скрытии использовать обратный порядок обхода пикселей контейнера при реализации ССИ.

11) Реализовать LSB-алгоритм. В качестве метрик для оценки искажений заполненных контейнеров использовать μ_{L_p} , μ_{MSE} , $\mu_{\max D}$. При скрытии использовать два младших двоичных разряда яркости/цветности пикселя.

12) Реализовать LSB-алгоритм. В качестве метрик для оценки искажений заполненных контейнеров использовать $\mu_{\max D}$, μ_{MSE} , μ_{PSNR} . Построить зависимости вероятности ошибок при извлечении скрытых данных от объема скрываемой информации.

13) Реализовать LSB-алгоритм. В качестве метрик для оценки искажений заполненных контейнеров использовать $\mu_{\max D}$, μ_{MSE} , μ_{L_p} . При скрытии использовать два младших двоичных разряда яркости/цветности пикселя.

14) Реализовать LSB-алгоритм. В качестве метрик для оценки искажений заполненных контейнеров использовать μ_{SNR} , μ_{L_p} , μ_{LMSE} . При скрытии использовать два младших двоичных разряда яркости/цветности пикселя.

15) Реализовать LSB-алгоритм. В качестве метрик для оценки искажений заполненных контейнеров использовать $\mu_{\max D}$, μ_{SNR} , μ_{PSNR} . При скрытии использовать обратный порядок обхода пикселей контейнера при реализации ССИ.

Метрики для оценки искажений, вносимых стегоалгоритмами при встраивании данных в графические контейнеры

Приведенные в данном приложении метрики позволяют получить численную оценку изменений графического контейнера, возникающих в результате стеганографического скрывания конкретного сообщения с использованием выбранного алгоритма ССИ. Для оценки изменений контейнера-изображения, как правило, используются критерии, основанные на сравнении исходного I и заполненного \tilde{I} его представлений. Все критерии можно разделить на две группы:

- 1) объективные (не использующие особенности качественного восприятия человека);
- 2) субъективные (использующие особенности перцептивного восприятия и требующие дополнительной калибровки в зависимости от множества сопутствующих параметров, включающих уровень освещенности, расстояния от глаз до изображения и т.п.).

Критерии второго типа включают модель восприятия графического изображения P (как правило это набор фильтрующих преобразований) и метрики различия μ , на основе которых вычисляется оценка качества [49]

$$q = \mu(P(I), P(\tilde{I})).$$

В критериях первого типа модель восприятия изображения отсутствует, а оценка качества вычисляется непосредственно как метрика от изображений [49]:

$$q = \mu(I, \tilde{I}).$$

Что касается метрик μ , то в критериях первого и второго типа зачастую используются одни и те же метрики. Далее рассмотрим некоторые из них подробнее.

Максимальное абсолютное отклонение

$$\mu_{\max D}(I, \tilde{I}) = \max_{x,y} |I_{x,y} - \tilde{I}_{x,y}|,$$

$x = \overline{1, W}$, $y = \overline{1, H}$, W, H – ширина и высота изображений I, \tilde{I} (здесь и далее контейнеры имеют одинаковые размеры).

Среднее квадратичное отклонение

$$\mu_{MSE}(I, \tilde{I}) = \frac{1}{WH} \sum_{x=1, y=1}^{W, H} (I_{x,y} - \tilde{I}_{x,y})^2.$$

Нормированное среднее квадратичное отклонение

$$\mu_{NMSE}(I, \tilde{I}) = \frac{\sum_{x=1, y=1}^{W, H} (I_{x,y} - \tilde{I}_{x,y})^2}{\sum_{x=1, y=1}^{W, H} (I_{x,y})^2}.$$

Отношение сигнал-шум

$$\mu_{SNR}(I, \tilde{I}) = \frac{1}{\mu_{NMSE}(I, \tilde{I})}.$$

Норма Минковского (L_p -норма)

$$\mu_{L_p}(I, \tilde{I}) = \left(\frac{1}{WH} \sum_{x=1, y=1}^{W, H} (I_{x,y} - \tilde{I}_{x,y})^p \right)^{\frac{1}{p}}, \quad p \leq 4.$$

Среднее квадратичное отклонение лапласиана

$$\mu_{LMSE}(I, \tilde{I}) = \frac{\sum_{x=1, y=1}^{W, H} (\nabla^2 I_{x,y} - \nabla^2 \tilde{I}_{x,y})^2}{\sum_{x=1, y=1}^{W, H} (\nabla^2 I_{x,y})^2},$$

где $\nabla^2 I_{x,y} = I_{x+1,y} + I_{x,y+1} + I_{x-1,y} + I_{x,y-1} - 4I_{x,y}$. Данная метрика характеризует искажение не самого изображения, а его производной, что позволяет оценить изменение цветовых переходов (например, появление контрастных участков) [49].

Пиковое отношение сигнал-шум

$$\mu_{PSNR}(I, \tilde{I}) = WH \frac{\max_{x,y} (I_{x,y})^2}{\sum_{x=1, y=1}^{W, H} (I_{x,y} - \tilde{I}_{x,y})^2}.$$

Нормированная взаимная корреляция и корреляция качества

$$\mu_{NC}(I, \tilde{I}) = \frac{\sum_{x=1, y=1}^{W, H} (I_{x,y} \tilde{I}_{x,y})}{\sum_{x=1, y=1}^{W, H} (I_{x,y})^2}, \quad \mu_{CQ}(I, \tilde{I}) = \frac{\sum_{x=1, y=1}^{W, H} (I_{x,y} \tilde{I}_{x,y})}{\sum_{x=1, y=1}^{W, H} I_{x,y}}.$$

Отношение сигма-сигнала к шуму

$$\mu_{SSNR}(I, \tilde{I}) = \frac{1}{WH} \sum_b \mu_{SSNR,b}(I, \tilde{I}),$$

$$\text{где } \mu_{SSNR,b}(I, \tilde{I}) = 10 \log_{10} \frac{\sigma_{I,b}^2}{(\sigma_{I,b}^2 - \sigma_{\tilde{I},b}^2)^2}, \quad \sigma_{I,b} = \sqrt{\frac{1}{WH} \sum_{(x,y) \in b} (I_{x,y})^2 - \left(\frac{1}{WH} \sum_{(x,y) \in b} I_{x,y} \right)^2}.$$

Данная метрика применима к анализу изображения, разбитого на блоки b .

Универсальный индекс качества (УИК) [41]

$$\mu_{UQI} = \frac{\sigma_{I,\tilde{I}}}{\sigma_I \sigma_{\tilde{I}}} \cdot \frac{2m_I m_{\tilde{I}}}{m_I^2 + m_{\tilde{I}}^2} \cdot \frac{2\sigma_I \sigma_{\tilde{I}}}{\sigma_I^2 + \sigma_{\tilde{I}}^2} = \frac{4\sigma_{I,\tilde{I}} m_I m_{\tilde{I}}}{(\sigma_I^2 + \sigma_{\tilde{I}}^2)(m_I^2 + m_{\tilde{I}}^2)},$$

где m_I, σ_I – математическое среднее и дисперсия изображения,

$\sigma_{I,\tilde{I}} = \frac{1}{WH} \sum_{x=1, y=1}^{W, H} [(I_{x,y} - m_I)(\tilde{I}_{x,y} - m_{\tilde{I}})]$ – взаимная корреляционная функция

изображений I, \tilde{I} . С помощью данной метрики оцениваются коррелированность, изменение динамического диапазона, а также изменение среднего значения одного изображения относительно другого. Значения УИК $\mu_{UQI} \in [-1, 1]$, минимальному искажению изображения соответствуют значения $\mu_{UQI} \approx 1$.

Ввиду нестационарности цифрового сигнала, соответствующего произвольному фотографическому изображению, целесообразно рассматривать вариант вычисления УИК в непересекающихся блоках изображения фиксированного размера. Также, с учетом обработки полноцветных контейнеров-изображений, УИК можно вычислять отдельно по каждому цветовому каналу, а итоговый критерий, характеризующий качество изображения целиком, вычислять как среднее геометрическое значений всех цветовых компонент (R,G,B) [57]:

$$\mu_{UQI,rgb} = \sqrt[3]{\mu_{UQI}(I^{(R)}, \tilde{I}^{(R)}) \mu_{UQI}(I^{(G)}, \tilde{I}^{(G)}) \mu_{UQI}(I^{(B)}, \tilde{I}^{(B)})},$$

где $\mu_{UQI}(I^{(k)}, \tilde{I}^{(k)}) = N^{-1} \sum_{b=1}^N \mu_{UQI,b}(I^{(k)}, \tilde{I}^{(k)})$ – УИК изображения, вычисленный для его k -й цветовой плоскости, $k = \{R, G, B\}$, N – число блоков размером $l \times l$, внутри которых вычисляется УИК; $\mu_{UQI,b}(I^{(k)}, \tilde{I}^{(k)})$ – индекс, характеризующий качество b -го блока изображения.

Подобие гистограмм

$$\mu_{HS}(I, \tilde{I}) = \sum_{c=0}^C |v_I(c) - v_{\tilde{I}}(c)|,$$

где $v(c)$ – относительная частота элементов контейнера.

Типовые преобразования изображений, которые можно рассматривать в качестве негативных воздействий при оценке робастности стегосистем

Важным фактором, определяющим робастности стегосистем, является стойкость в смысле сохранения скрытой в контейнерах информации по отношению к внешним негативным воздействиям (НВ) преднамеренного и непреднамеренного характера. В данном приложении приводятся наиболее распространенные преобразования изображений, потенциально применимые к заполненным скрытой информацией или маркированным цифровыми водяными знаками графическим контейнерам \tilde{I} .

1) *Нормализация яркости изображения.* Данное преобразование заключается в присвоении всем пикселям $I_{x,y}$ изображения новых значений яркости с целью охватить весь возможный интервал ее изменения

$$J_{x,y} = a + b \cdot I_{x,y}, \quad x = \overline{1, W}, y = \overline{1, H},$$

где a, b – коэффициенты, которые находятся из системы

$$\begin{cases} a + b \cdot I_{\min} = 0 \\ a + b \cdot I_{\max} = L \end{cases},$$

где I_{\min} , I_{\max} – минимальное и максимальное значение яркости исходного изображения, максимальная яркость L по умолчанию задается равной 255, W, H – ширина и высота изображения.

2) *Линейное изменение динамического диапазона яркости.* Заключается в линейном поэлементном преобразовании изображения следующего вида

$$J_{x,y} = \min \{ \alpha \cdot I_{x,y}, 255 \}, \quad \alpha \in \mathbf{R}, \alpha > 0.$$

3) *Масштабирование.* Заключается в изменении размеров изображения (увеличение или уменьшение) с сохранением или без сохранения исходных пропорций. При использовании данного типа НС по отношению к заполненным контейнерам-изображениям, как правило, оценивается возможность извлечения стеганографически-скрытой информации из мелкомасштабного представления контейнера (после приведения его к исходному масштабу).

4) *Гауссово размытие.* Это фильтр размытия изображения, использующий нормальное распределение для вычисления преобразования, применяемого к каждому пикселю изображения. Размытое изображение получается по формуле

$$J = G * I, \quad G_{x,y} = A \cdot e^{-\frac{(x-M/2)^2 + (y-M/2)^2}{2\sigma^2}},$$

где $*$ – операция свертки, параметр σ задает степень размытия, $M = 2 \cdot [3\sigma] + 1$ – размер окна фильтра, определяемый по правилу «трех сигма», $[...]$ – целая часть числа, коэффициент A обеспечивает нормировку и находится из

условия нормировки $\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{M-1} G_{x,y} = 1$. Матричный фильтр G называется

гауссианом. Чем больше его размер, тем сильнее размытие (при фиксированном σ).

5) *Удаление пятен (Despeckle)*. Данная процедура основана на выполнении дискретной свертки изображения с шумоподавляющей маской и предназначена для компенсации аддитивных помех, например, возникающих в ходе съемки изображения, или для сглаживания исходного изображения. Преобразование значений пикселей исходного изображения при удалении пятен реализуется по следующей формуле

$$J_{x,y} = \frac{\sum_{n_x=-1}^1 \sum_{n_y=-1}^1 I_{x+n_x, y+n_y} H_{1+n_x, 1+n_y}}{\sum_{n_x=-1}^1 \sum_{n_y=-1}^1 H_{1+n_x, 1+n_y}}, \quad x = \overline{1, W}, y = \overline{1, H},$$

где H_{n_x, n_y} – шумоподавляющая маска, которая может иметь различное заполнение. Краевые точки исходного изображения не обрабатываются.

6) *Медианная фильтрация*. Данная процедура предназначена для подавления шумов как аддитивного, так и аппликативного характера. Медианный фильтр реализуется как процедура локальной обработки скользящим окном различной формы (для простоты можно использовать квадратное окно размерами $M \times M$, где $M = 2p + 1, p \in \mathbf{N}$). Процедура обработки заключается в том, что для каждого положения скользящего окна, попавшие в него значения яркости/цветности пикселей изображения, упорядочиваются по возрастанию своих значений. Средний отсчет в этом упорядоченном списке называется *медианой* рассматриваемой группы. Данным медианным значением заменяется значение центрального пикселя в окне обработки.

7) *Повышение резкости*. Алгоритмы повышения резкости (усиления контраста) основаны на высокочастотной фильтрации изображений (с различными масками фильтров). В простейшем случае процедура повышения резкости изображения I имеет вид

$$J_{x,y} = I_{x,y} + q(I_{x,y} - I_{x,y}^{(S)}),$$

где $I_{x,y}^{(S)} = \sum_{n_x=0}^{M-1} \sum_{n_y=0}^{M-1} G(n_x, n_y) \cdot I_{x-n_x, y-n_y}$, – результат усреднения $I_{x,y}$ в окне размерами $M \times M$ (все элементы G равны $1/M^2$), $q > 0$ – коэффициент усиления разностного изображения.

8) *Аддитивное зашумление*. Реализуется путем добавления к значениям яркости/цветности пикселей изображения последовательности значений гауссовских случайных величин ξ с заданной плотностью распределения p_ξ

$$J_{x,y} = I_{x,y} + \xi_{x,y}, \quad p_\xi(i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_\xi}} e^{-\frac{i^2}{2D_\xi}}, \quad \text{где } D_\xi \text{ – дисперсия шума.}$$

9) *Импульсное зашумление*. Под импульсным шумом понимается искажение сигнала импульсами, т.е. выбросами с очень большими

положительными или отрицательными значениями и малой длительностью. Выбросы шума особенно заметны на очень темных или очень светлых участках изображений. Зашумленное изображение формируется следующим образом

$$J_{x,y} = \begin{cases} I_{x,y}, & 1-p \\ R_{x,y}, & p \end{cases},$$

где p – вероятность импульсного шума; $R_{x,y}$ – заменитель значения яркости/цветности пикселя с координатами (x, y) . При $R_{x,y} \in [r_{\min}, r_{\max}]$ изображение искажается импульсным шумом случайного значения (RVIN), При $R_{x,y} \in \{r_{\min}, r_{\max}\}$ – импульсным шумом фиксированного значения или шумом «соли и перца» (SPN).

10) *Сжатие с потерями качества JPEG*. При сжатии изображений по стандарту JPEG происходит потеря малозначительных для человеческого восприятия высокочастотных составляющих контейнера. При применении данного типа НВ к заполненным контейнерам следует рассматривать JPEG-компрессию с различными значениями показателя качества (изменяемыми в пределах от 1 до 100).