

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАСКИРОВАНИЯ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ОБЛАСТЕЙ ДЛЯ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОГО ВСТРАИВАНИЯ

Баранник В.В., Бекиров А.Е., Баранник Д.В.

### Введение

Из анализа существующих подходов стеганографического преобразования на основе использования изображения в качестве контейнера можно сформулировать общие недостатки. Такие недостатки характерны как для методов непосредственного, так и косвенного встраивания, а именно [1, 2, 3]:

- визуальные искажения, которые вносятся в изображение в результате стеганографического встраивания;
- низкая устойчивость встроенных данных к атакующим воздействиям, а именно компрессионные атаки и ошибки в канале передачи данных.

Для устранения выявленных недостатков при проектировании стеганографического метода предлагается разработать подход, для выявления областей изображения, которые устойчивы к атакующим воздействиям (в качестве модели атакующего воздействия предлагается использовать дискретное косинусное преобразование (ДКП) с различными коэффициентами квантования). Здесь под устойчивостью областей понимается следующее: если в результате атакующего воздействия (компрессионная атака ДКП с квантованием) значения элементов пространственного представления областей изображения остаются неизменными, то в этом случае область изображения, которая содержит такие элементы, называется *устойчивой к атакующим воздействиям*.

Стеганографическое преобразование на основе использования устойчивых областей изображения с одной стороны позволит повысить стойкость встроенных данных к атакам, а соответственно и увеличить значение вероятности правильного изъятия встроенных данных в условиях наличия атак. С другой стороны, неподверженность элементов таких областей к воздействиям позволит осуществлять стеганографическое встраивание путем минимальной модификации, что в свою очередь отразится на количестве вносимых искажений в результате встраивания.

Значит, *цель исследования* заключается в разработке подхода для выявления областей изображения, потенциально устойчивых к компрессионным атакам на основе ДКП.

### **1. Механизм выявления областей изображения, устойчивых к атакующим воздействиям**

Для цифровых изображений наиболее полезной семантической нагрузкой обладают контуры объектов [4]. Контуры представляют собой линии, которые проходят на границах однородных областей. Элементы  $\{z_{i,j}\}$  пространственно-временного представления изображения, значения которых не превышают определенного порога, формируют однородные области. Это задается следующим условием:

$$|z_{\max} - z_{\min}| \leq 1,$$

где  $z_{\max}$  - элемент области изображения, который обладает наибольшим значением, определяется на основе следующего выражения:

$$z_{\max} = \max_{1 \leq i \leq x} \{z_{i,j}\}, \quad j = \overline{1, y};$$

$z_{\min}$  - элемент области изображения, который обладает наименьшим значением, определяется на основе формулы:

$$z_{\min} = \min_{1 \leq i \leq x} \{z_{i,j}\}, \quad j = \overline{1, y};$$

1 - порог определения однородных областей.

Существующие компрессионные алгоритмы предназначены для сокращения избыточности изображений (психовизуальной, статистической, структурной, комбинаторной). При этом методы направлены на устранение избыточности одновременно с внесением наименьшего количества искажений, т.е. сохранения высокого качества изображения [4]. Для обеспечения невосприимчивости человеческого зрения к искажениям, компрессионное преобразование не вносит искажения в семантически значимые для зрения области [5]. Значит, для выявления областей, устойчивых к компрессионным воздействиям необходимо использовать методы выделения контуров изображения, для последующего их использования для стеганографического встраивания.

Контуры изображения формируются на границах однородных областей изображения. Для того что бы определить принадлежность элементов пространственного представления изображения к однородной области одновременно с проверкой наличия контура необходимо выполнение следующего условий:

- принадлежность элемента изображения  $z_{i,j}$  к однородной области задается условием

$$|z_{i,j} - z_{i+1,j+1}| \leq 1, \quad \text{где } i = \overline{1, x}; \quad j = \overline{1, y};$$

- принадлежность элемента изображения  $z_{i,j}$  к соседней однородной области (формирование контура) определяется выполнением условия

$$\left| z_{i,j} - z_{i\pm 1, j\pm 1} \right| > 1, \text{ где } i = \overline{1, x}; j = \overline{1, y}.$$

Наиболее распространенные и применяемые на практике подходы выявления контуров являются градиентные методы. Градиентные методы основаны на определении в каждой точке массива значения увеличения яркости (градиента) и направления их наибольшего изменения с последующим определением максимальных значений градиента яркости, их статистической обработки и деления на пороги (уровни).

Наиболее распространенным способом поиска контуров является обработка изображения  $Z$  скользящей маской  $K$ . Маска  $K$  представляет собой квадратную матрицу с коэффициентами  $\{k\}$ . Процесс обработки изображения  $Z$  на основе матрицы  $K$  называется фильтрацией или маскированием и задается следующим функционалом  $f(\bullet)$  (рис. 1):

$$M = f(Z, K),$$

где  $M$  - изображение, полученное результате обработки изображения  $Z$  на основе маски  $K$ .

Процесс фильтрации основан на постепенном пространственном перемещении маски фильтра от элемента к элементу изображения. Из анализа рис. 1 видно, что значение элемента  $m_{i,j}$  (отклика фильтрации) вычисляется с использованием значений предыдущих и последующих элементов в двумерной плоскости.

В этом случае значение элемента  $m_{i,j}$  изображения  $M$ , полученного в результате маскирования определяется по формуле:

$$m_{i,j} = \sum_{\xi=i-1}^{i+1} \sum_{\tau=i-1}^{\tau+1} z_{\xi,\tau} \cdot k,$$

или

$$m_{i,j} = z_{i-1,j-1} \cdot k_{-1,-1} + z_{i,j-1} \cdot k_{0,-1} + z_{i+1,j-1} \cdot k_{1,-1} + z_{i-1,j} \cdot k_{-1,0} + z_{i,j} \cdot k_{0,0} + z_{i+1,j} \cdot k_{1,0} + z_{i-1,j+1} \cdot k_{-1,1} + z_{i,j+1} \cdot k_{0,1} + z_{i+1,j+1} \cdot k_{1,1},$$

или

$$m_{i,j} = z_{i-1,j-1} \cdot k_{-1,-1} + z_{i,j-1} \cdot k_{0,-1} + z_{i+1,j-1} \cdot k_{1,-1} + z_{i-1,j} \cdot k_{-1,0} + z_{i,j} \cdot k_{0,0} + z_{i+1,j} \cdot k_{1,0} + z_{i-1,j+1} \cdot k_{-1,1} + z_{i,j+1} \cdot k_{0,1} + z_{i+1,j+1} \cdot k_{1,1}.$$

В качестве метода выделения контуров изображения предлагается использовать оператор Собеля. Данный оператор наиболее часто используется на практике, и имеет следующий вид:

$$m_{i,j} = \sqrt{G_i^2 + G_j^2};$$

$$G_i = K_i \cdot m_{i,j} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \cdot m_{i,j}; \quad G_j = K_j \cdot m_{i,j} = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix} \cdot m_{i,j},$$

где  $K_i$  и  $K_j$ - операторы для определения приращения значения элемента изображения по горизонтали и вертикали соответственно.

$G_i$  и  $G_j$  - блоки изображения, каждый элемент которого содержит приближенные значения производных по горизонтали и вертикали соответственно.

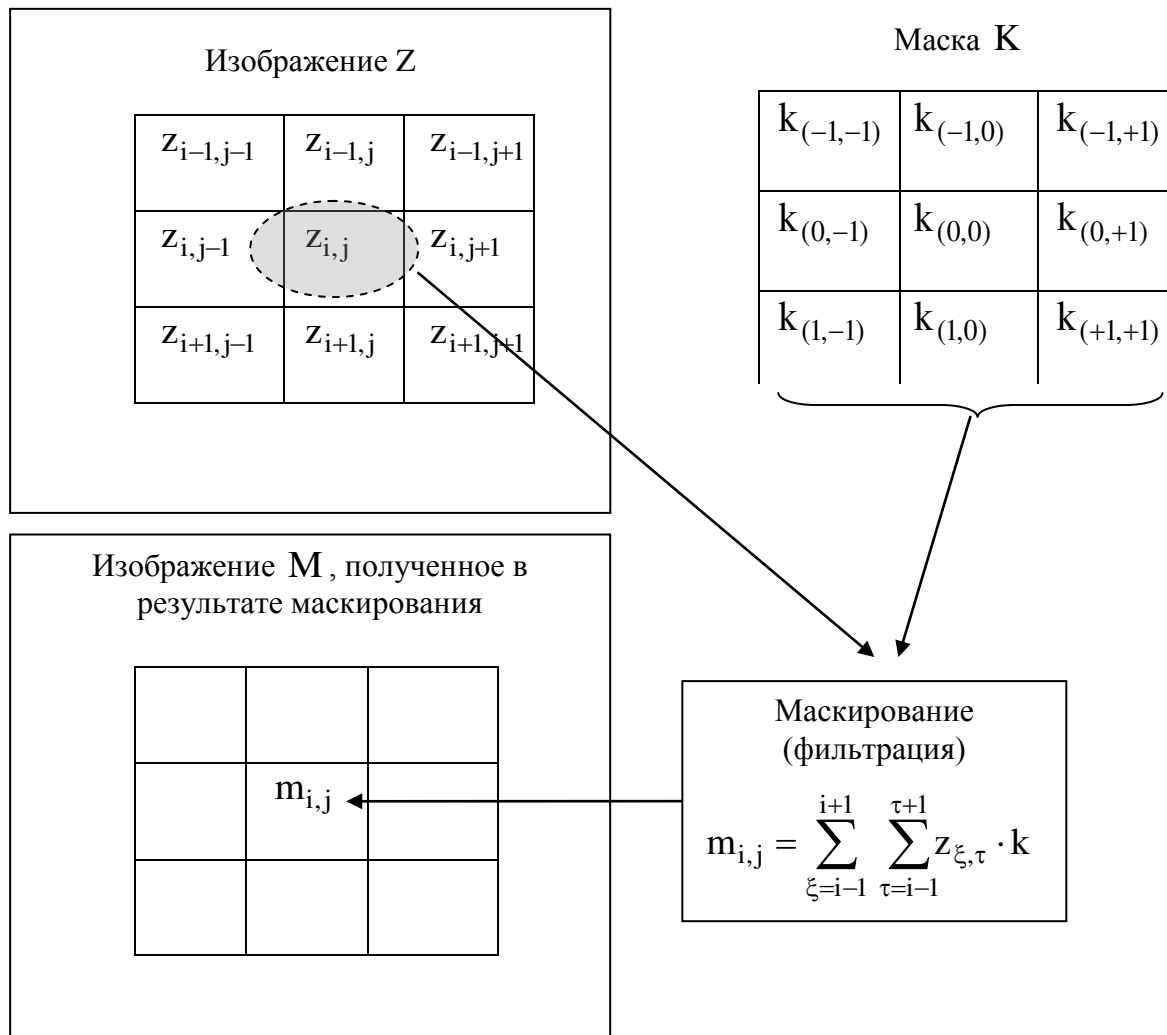


Рис. 1. Схема реализации фильтрации изображения на основе скользящей маски

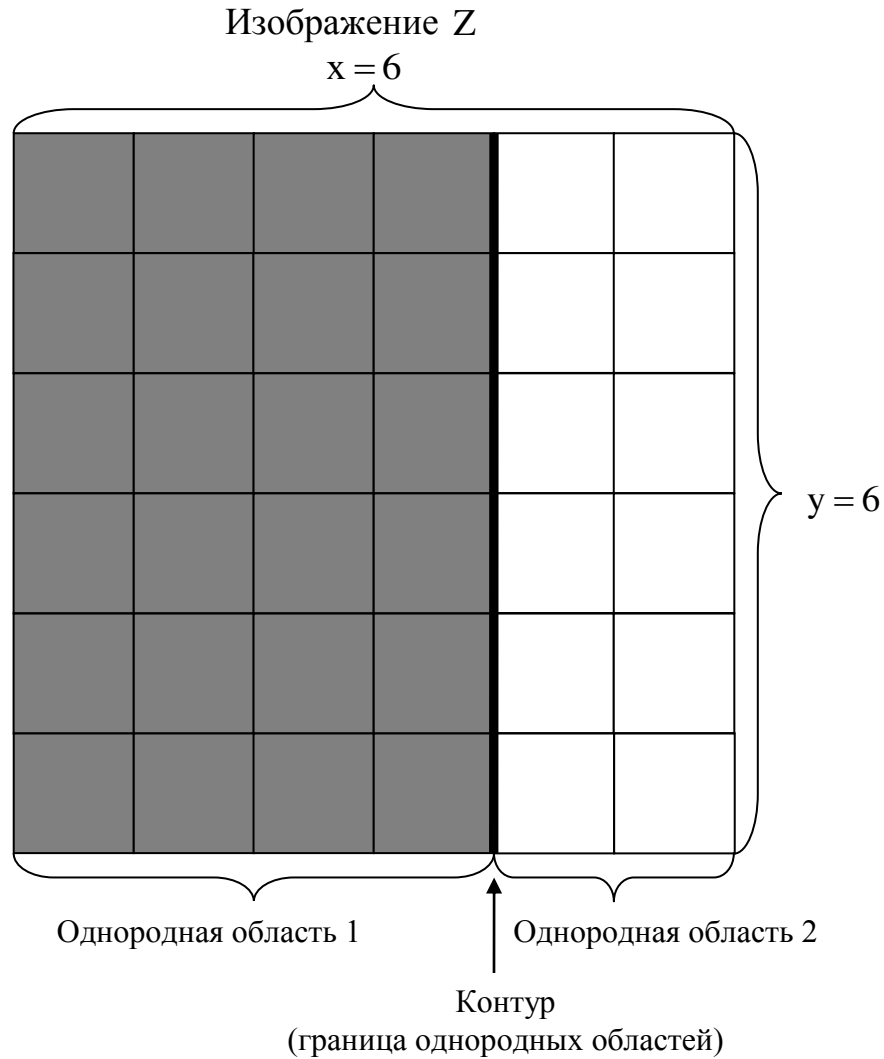
Для маски Собеля  $K$  размерностью  $3 \times 3$  элемента, которая представлена на рис. 1, значение элемента  $m_{i,j}$  изображения после маскирования можно определить на основе формулы в линейном виде, а именно:

$$m_{i,j} = \sqrt{G_i^2 + G_j^2}, \text{ где}$$

$$G_i = (z_{i+1,j-1} + 2 \cdot z_{i+1,j} + z_{i+1,j+1}) - (z_{i-1,j-1} + 2 \cdot z_{i-1,j} + z_{i-1,j+1});$$

$$G_j = (z_{i-1,j+1} + 2 \cdot z_{i,j+1} + z_{i+1,j+1}) - (z_{i-1,j-1} + 2 \cdot z_{i,j-1} + z_{i+1,j-1}).$$

Рассмотрим работу оператора Собеля  $K$  на примере маскирования (фильтрации) изображения  $Z$  размерность  $6 \times 6$  элементов (рис. 2).



*Рис. 2. Исходное изображение с двумя однородными областями*

В качестве примера для изображения  $Z$

$$Z = \begin{pmatrix} 200 & 201 & 201 & 204 & 120 & 121 \\ 201 & 203 & 200 & 200 & 121 & 122 \\ 203 & 203 & 201 & 201 & 123 & 121 \\ 204 & 204 & 201 & 204 & 121 & 120 \\ 202 & 204 & 201 & 202 & 120 & 124 \\ 201 & 202 & 204 & 200 & 120 & 121 \end{pmatrix}.$$

Вычислим значения элементов изображения после маскирования (значение откликов маскирования) с следующими координатами:

1.  $i=1$  и  $j=1$ .

В этом случае есть особенность вычисления значения элемента  $m_{1,1}$  изображения после маскирования. Учитывая, что элементы левее и выше  $z_{1,1}$  отсутствуют, в этом случае при вычислении маски они заменяются нулями либо заменяются значениями соседних элементов. В первом случае края изображения будут определяться как контуры. Поэтому при вычислении элементов на краях изображения, недостающие элементы будут дополняться значениями соседних пикселей. Тогда элемент  $m_{1,1}$  будет принимать значение:

$$m_{1,1} = \sqrt{G_i^2 + G_j^2} = 7;$$

$$G_i = (201 + 2 \cdot 201 + 203) - (200 + 2 \cdot 200 + 201) = 5;$$

$$G_j = (201 + 2 \cdot 201 + 203) - (200 + 2 \cdot 200 + 201) = 5.$$

2.  $i=4$  и  $j=4$ .

В этом случае элемент  $z_{4,4}$  находится на границе двух областей, а элемент  $m_{4,4}$  примет следующее значение:

$$m_{1,1} = \sqrt{G_i^2 + G_j^2} = \sqrt{706^2 + (-319)^2} = 774;$$

$$G_i = (201 + 2 \cdot 202 + 120) - (201 + 2 \cdot 201 + 123) = 706;$$

$$G_j = (123 + 2 \cdot 121 + 120) - (201 + 2 \cdot 201 + 201) = -319.$$

В результате применения оператора Собеля  $K$  к изображению  $Z$  получена маски  $M$ , элементы  $m_{i,j}$  которой принимают следующие значения:

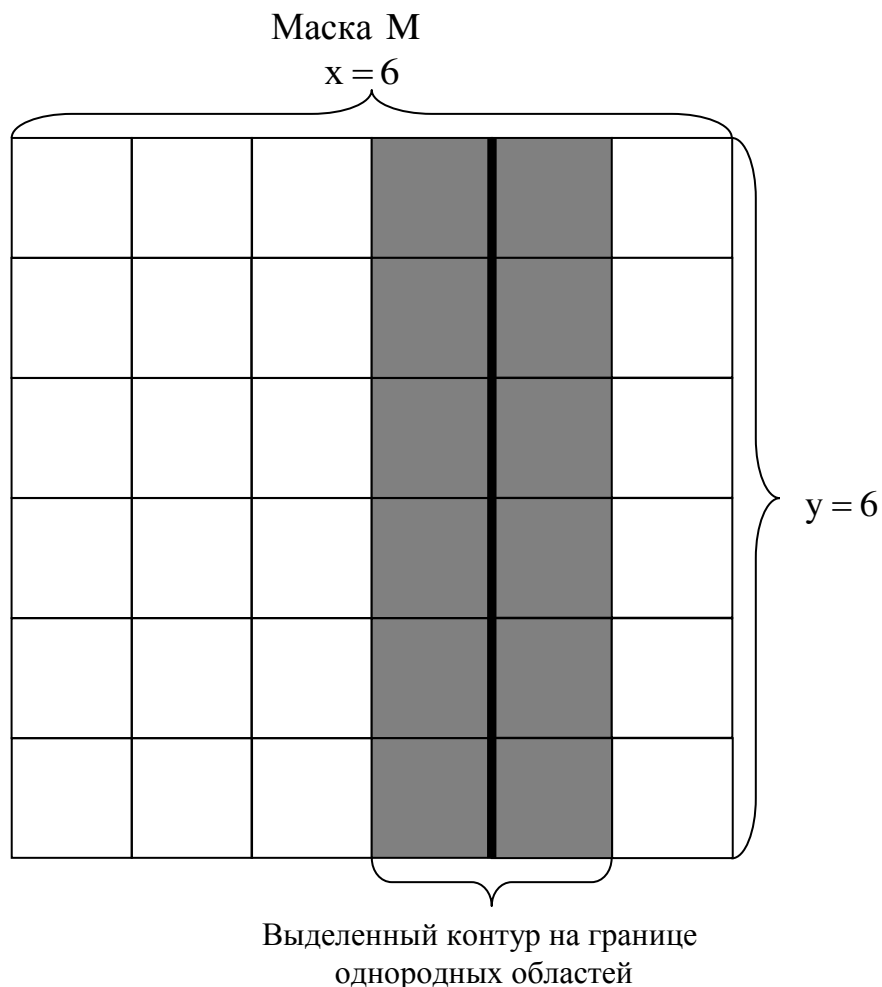
$$Z = \begin{vmatrix} 7 & 4 & 7 & 322 & 327 & 5 \\ 12 & 7 & 7 & 318 & 317 & 5 \\ 10 & 11 & 11 & 317 & 318 & 6 \\ 2 & 10 & 7 & 320 & 324 & 5 \\ 12 & 4 & 6 & 326 & 319 & 8 \\ 7 & 8 & 8 & 333 & 315 & 11 \end{vmatrix}.$$

На рис. 3 представлена маска  $M$  исходного изображения  $Z$ .

Из анализа значений маски  $M$  можно сделать следующие выводы:

1. Элементы  $m_{i,j}$  маски  $M$ , которые соответствуют элементам  $z_{i,j}$  однородных областей изображения  $Z$ , принимают минимальные значения.
2. Значения элементов  $m_{i,j}$ , расположенные на границе однородных областей, принимают максимальное значение.

Таким образом, применение плавающей маски Собеля позволяет выделить контуры объектов на границах однородных областей. Предлагается использовать рассмотренную технологию для выявления областей, которые будут использоваться при стеганографическом встраивании.



*Рис. 3. Маска изображения, полученная в результате применения оператора Собеля*

## **2. Сравнительная оценка устойчивости контуров изображений различной насыщенности к атакующим воздействиям**

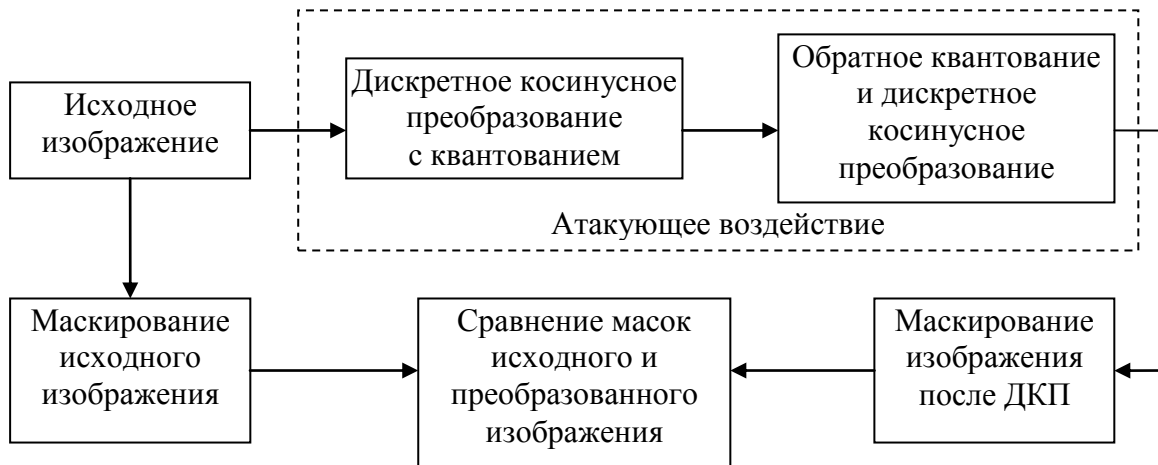
Проверку устойчивости элементов контуров изображения к дискретному косинусному преобразованию предлагается проводить на основе эксперимента. Суть эксперимента заключается в оценке визуальных искажений масок, полученных на основе изображений, которые будут подвержены дискретному косинусному преобразованию с различными коэффициентами квантования. Схематично этапы эксперимента представлены на рис. 4.

В качестве исследуемых изображений используются:

1. Сильнонасыщенное изображение рис. 5.

2. Средненасыщенное изображение рис. 6.

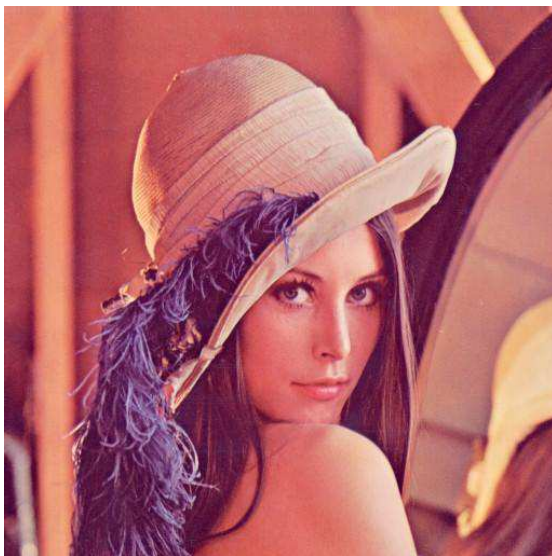
3. Слабонасыщенное изображение рис. 7.



*Рис 4. Этапы эксперимента по выявлению устойчивых областей изображения*



*Рис. 5. Сильнонасыщенное изображение*



*Рис. 6. Средненасыщенное изображение*



*Рис. 7. Слабонасыщенное изображение*

Рассмотрим результаты эксперимента для слабонасыщенного изображения рис. 7. Для данного изображения проводится дискретное косинусное преобразование с различными коэффициентами квантования  $q = 1, 2, 5, 10, 20$ . На рис. 8 представлены изображения, полученные в результате применения к исходному слабонасыщенному изображению дискретного косинусного преобразования с различными коэффициентами квантования.



а)  $q = 1$



б)  $q = 2$



в)  $q = 5$



г)  $q = 10$



д)  $q = 20$

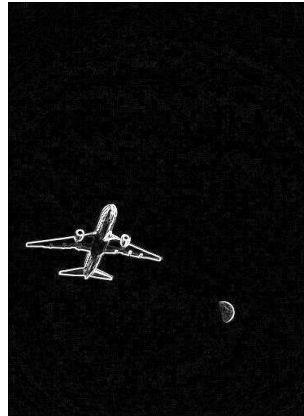
*Рис. 8. Слабонасыщенные изображения, полученные в результате ДКП с различными коэффициентами квантования*

Из анализа изображения на рис. 8 можно сделать вывод, что атакующее воздействие (ДКП и квантования) вносит визуальные искажения в исходное изображение. Сильнее всего визуальные искажения проявляются на изображении, которое получено после ДКП с коэффициентом квантования  $q = 20$ .

Теперь необходимо провести маскирование изображений после атакующего воздействия. Данный этап предусматривает применение плавающего оператора Собеля к каждому элементу пространственного представления слабонасыщенного изображения после дискретного косинусного преобразования с квантованием. Изображения, полученные после маскирования (выделения контуров изображений) представлены на рис. 9.



*а) маска исходного изображения*



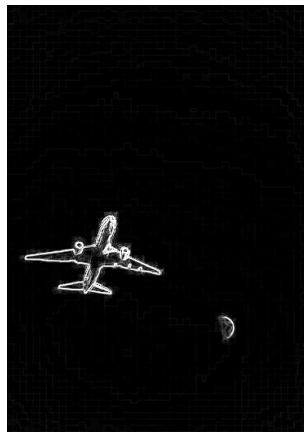
*б) маска изображения после ДКП с квантованием  $q = 1$*



*в) маска изображения после ДКП с квантованием  $q = 2$*



*в) маска изображения после ДКП с квантованием  $q = 5$*



*б) маска изображения после ДКП с квантованием  $q = 10$*



*б) маска изображения после ДКП с квантованием  $q = 20$*

*Рис. 9. Маски, полученные в результате применения оператора Собеля к изображениям после атакующего воздействия*

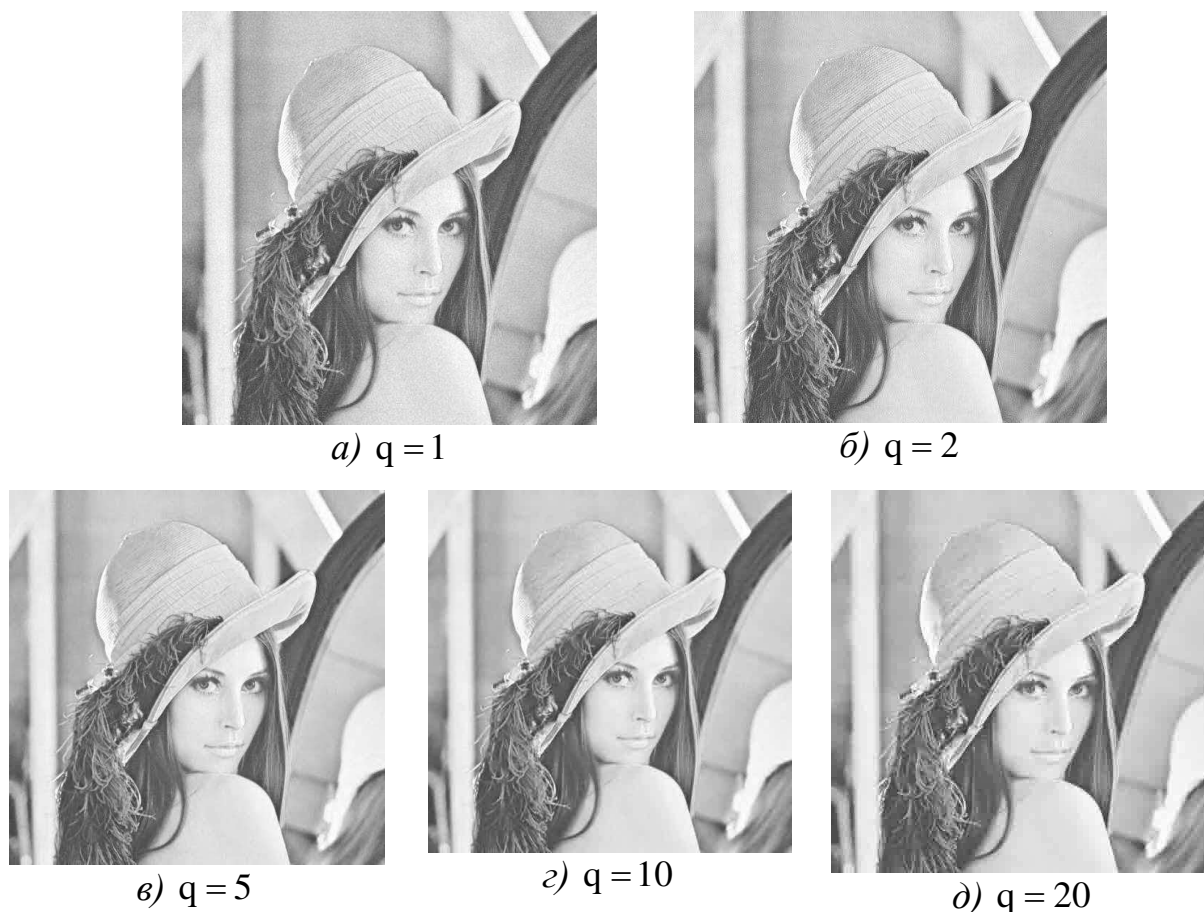
Из анализа масок, получены в результате применения оператора Собеля к изображениям на рис. 8, можно сделать следующие выводы:

1) в результате маскирования выделяются контуры на границах однородных областей;

2) визуальная оценка масок изображений после атакующего воздействия позволяет заключить, что контуры объектов не имеют значительных визуальных искажений;

3) контуры, полученные в результате маскирования изображений после атакующего воздействия, обладают устойчивостью к дискретному косинусному преобразованию с квантованием.

Теперь рассмотрим результаты эксперимента для средненасыщенного изображения. Изображения, полученные в результате применения дискретного косинусного преобразования к исходному изображению (рис. 6) с коэффициентами квантования  $q = 1, 2, 5, 10, 20$  представлены на рис. 10.



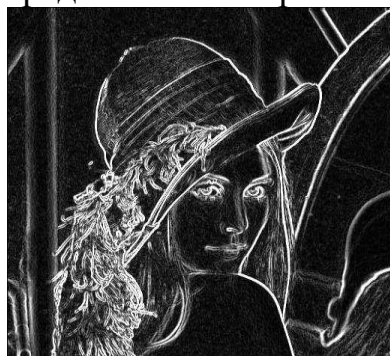
*Рис. 10. Средненасыщенные изображения, полученные в результате ДКП с различными коэффициентами квантования*

Из анализа изображений на рис. 10 следует, что ДКП с различными коэффициентами квантования вносит визуальные искажения в изображение. Наименее заметны искажения для изображения а), полученного в следствии ДКП с коэффициентом квантования  $q = 1$ , и наоборот наиболее визуально заметны искажения на изображении д), которое получено в результате ДКП с  $q = 20$ .

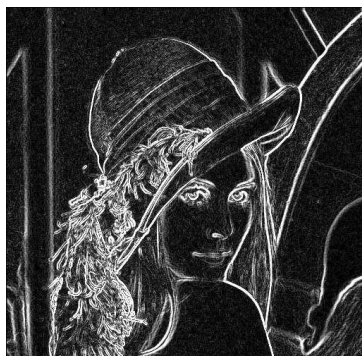
Для визуальной оценки устойчивости контуров изображений после ДКП, сравним результаты маскирования на основе оператора Собеля для средненасыщенного изображения после атакующего воздействия. Для этого необходимо применить маскирование на основе оператора Собеля

последовательно к каждому из изображений, представленных на рис. 10. В этом случае, если атакующее воздействие будет искажать значения элементов на границах однородных областей, то сравнительная оценка масок позволит выявить визуальные искажения.

Результаты маскирования средненасыщенного изображения после атакующего воздействия с различными коэффициентами квантования представлены на рис. 11.



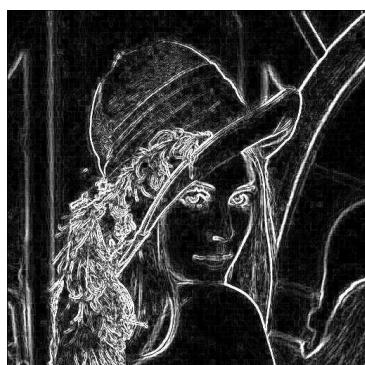
*а) маска исходного изображения*



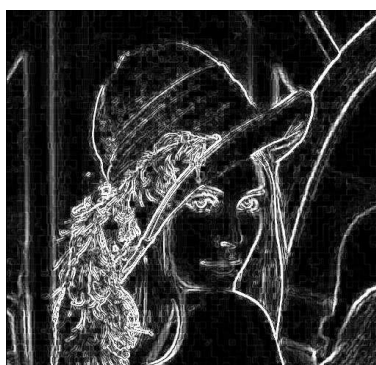
*б) маска изображения после ДКП с квантованием  $q = 1$*



*в) маска изображения после ДКП с квантованием  $q = 2$*



*в) маска изображения после ДКП с квантованием  $q = 5$*



*б) маска изображения после ДКП с квантованием  $q = 10$*



*б) маска изображения после ДКП с квантованием  $q = 20$*

*Рис. 11. Маски, полученные в результате применения оператора Собеля к изображениям после атакующего воздействия*

Из анализа изображений на рис. 11 можно сделать следующие выводы:

1) маскирование средненасыщенного изображения выявило больше контуров в сравнении с слабонасыщенным изображением, что обусловлено большим количеством переходов однородных областей;

2) с увеличением коэффициента квантования наблюдается увеличение визуальных искажений, в том числе и для выявленных контуров;

3) не все контуры являются устойчивыми к визуальным искажениям, при этом в первую очередь разрушаются контуры с меньшим уровнем перехода между однородными областями;

4) контуры, выделенные на границах областей с наибольшими перепадами, являются устойчивыми к атакующему воздействию ДКП с квантованием;

5) степень устойчивости контуров зависит от разности значений элементов пространственного представления изображения на границах однородных областей;

6) для выявления устойчивых контуров изображения для стеганографического встраивания возможно использование бинаризации элементов с различным порогом.

Рассмотрим теперь результаты эксперимента для сильнонасыщенного изображения (рис. 5). Сильнонасыщенное изображение характеризуется большим количеством мелких деталей и переходов яркостей на границах однородных областей. В случае использования сильнонасыщенного изображения для стеганографического преобразования возможно встраивать большее количество информации в сравнении с слабонасыщенным и средненасыщенным изображением. Это обусловлено большим количеством контуров объектов изображения.



а)  $q = 1$



б)  $q = 2$



в)  $q = 5$



г)  $q = 10$



д)  $q = 20$

*Рис. 12. Сильнонасыщенные изображения, полученные в результате ДКП с различными коэффициентами квантования*

Результаты применения оператора Собеля для сильнонасыщенного изображения после атакующего воздействия представлены на рис. 13.

Анализ масок сильнонасыщенного изображения на рис. 13 позволяет заключить что:

1) для сильнонасыщенного изображение менее заметы визуальные искажения контуров однородных областей и перепадов яркости в сравнении с слабо и средненасыщенными изображениями;

2) маска, полученная в результате применения оператора Собеля к сильнонасыщенному изображению после атакующего воздействия, характеризуется большим количеством контуров объектов.

Таким образом, на основе проведенных экспериментов можно заключить, что для выявления областей изображения, устойчивых к атакующим воздействием, возможно использование маскирования. В этом случае реализуется выявление контуров однородных областей. Устойчивость контуров к атакующим воздействиям зависит от степени различия элементов на границе однородных областей.



*а) маска исходного изображения*



*б) маска изображения после ДКП с квантованием  $q = 1$*



*в) маска изображения после ДКП с квантованием  $q = 2$*



*в) маска изображения после ДКП с квантованием  $q = 5$*



*б) маска изображения после ДКП с квантованием  $q = 10$*



*б) маска изображения после ДКП с квантованием  $q = 20$*

*Рис. 13. Маски, полученные в результате применения оператора Собеля к сильнонасыщенным изображениям после атакующего воздействия*

Дальнейшее исследование предлагается проводить в направлении оценки величины пикового отношения сигнал-шум масок изображений. Данная величина характеризует искажения, которые вносятся в контуры изображения в результате атакующего воздействия. При этом для выявления наиболее устойчивых областей возможно использование изменяемого порога бинаризации.

## **Выводы**

1. Предложен подход для устранения выявленных недостатков существующих стеганографических подходов, который заключается в разработке механизма выявления устойчивых областей изображения. Стеганографическое встраивания информации в такие области изображения позволит обеспечить устойчивость встроенных данных к активным стеганографическим атакам.

2. Рассмотрен метод определения устойчивых областей, который заключается в использовании механизма выявления контуров изображения. Для определения контуров однородных областей предлагается использовать оператор Собеля.

3. Проведен эксперимент, который заключается в сравнительной оценке масок различных изображений, которые подвергались атакующим воздействиям с разными коэффициентами ухудшения качества. На основе анализа результатов эксперимента можно заключить, что наибольшей устойчивостью обладают контуры границ областей с наибольшими значениями переходов.

**Научная новизна.** Впервые предложен механизм выявления устойчивых областей изображения для стеганографического встраивания информации. В отличие от других методов, определение областей осуществляется на основе использования маскирования для выявления границ однородных областей изображения.

## **Литература**

1. Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В., Цифровая стеганография. – М.: Солон-Пресс, 2002. – 272 с.
2. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю., Компьютерная стеганография. Теория и практика.- К.: «МК-Пресс». – 2006. – 288с.
3. Тарасов Д.О., Мельник А.С., Голобородько М.М. Класифікація та аналіз безкоштовних програмних засобів стеганографії // Інформаційні системи та мережі. Вісник НУ “Львівська політехніка” № 673.– Львів 2010. – С. 365 – 374.
4. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1073 с.
5. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэломон. – М: Техносфера, 2004. – 368 с.