

РЕАЛИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ВСТРАИВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ В ОБЛАСТЬ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

В.В. Генрих, Д.И. Некрасов

Научный руководитель: О.О. Евсютин, к.т.н., доцент кафедры БИС

Введение

Развитие технологий обработки и передачи цифровой информации в настоящее время привело к появлению проблемы защиты авторских прав на мультимедиа-данные. Один из подходов к решению данной проблемы основан на встраивании в цифровые объекты цифровых водяных знаков (ЦВЗ) – специальных и обычно невидимых меток, которые содержат в себе информацию о владельцах данных объектов. Кроме аутентификации владельцев цифровых объектов цифровые водяные знаки также используются для аутентификации самих цифровых объектов, в том числе для выявления фальсификаций. Обычно ЦВЗ используются применительно к изображениям, аудиофайлам и видеоданным. Встраивание ЦВЗ является одним из методов цифровой стеганографии [1].

В данной работе в качестве цифровых объектов рассматриваются цифровые изображения.

Существуют различные критерии, согласно которым проводится классификация алгоритмов встраивания данных, в том числе и ЦВЗ, в цифровые изображения. Одним из таких критериев является вид области, в которую производится встраивание: пространственная или частотная.

При встраивании информации в пространственную область изменения вносятся непосредственно в пиксели. Примеры современных алгоритмов встраивания ЦВЗ приведены в статьях [2–6].

Методы встраивания информации в частотную область различаются в зависимости от выбранного частотного преобразования, к которым относят дискретное преобразование Фурье (ДПФ) [7], дискретное косинусное преобразование (ДКП) [8], дискретное вейвлет-преобразование (ДВП) [9] и другие виды преобразований. Частотное встраивание позволяет наилучшим образом выбирать элементы данных, которые можно использовать для незаметной записи дополнительной информации.

Целью данной работы является реализация и исследование алгоритма встраивания ЦВЗ в область ДВП.

Описание алгоритма встраивания

В статье [9] описывается алгоритм встраивания ЦВЗ в область ДВП цифрового изображения.

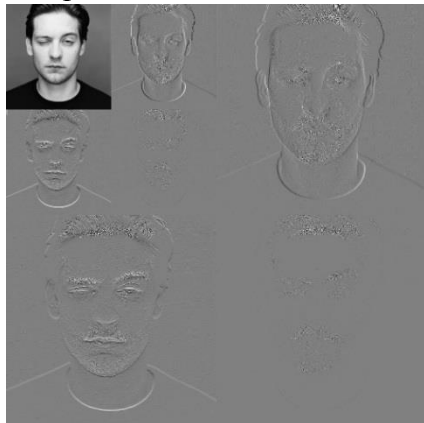


Рисунок 1 – Пример ДВП цифрового изображения

Для встраивания ЦВЗ производится преобразование изображения путем применения двух итераций двумерного ДВП – при каждой итерации преобразование применяется изначально ко всем строкам, а после ко всем столбцам массива значений компоненты светимости Y , полученной при переходе от RGB-представления изображения к цветовой модели $YCbCr$. В результате такого преобразования выделяются четыре частотных области: низкочастотная (LL), среднечастотные (LH и HL) и высокочастотная (HH). Каждая из этих областей представляет собой квадратную матрицу коэффициентов преобразования. При каждой последующей итерации ДВП применяется к низкочастотному квадранту, в результате чего появляются частотные области высшего порядка (например, при второй итерации: LH2, LL2, HL2 и HH2). Пример показан на рисунке 1.

Изменение коэффициентов ДВП в низкочастотной области может привести к искажению изображения, полученного после обратного дискретного вейвлет-преобразования (ОДВП). Это связано с тем, что в квадранте LL находятся значимые составляющие спектра ДВП, которые содержат наиболее важную информацию об исходном изображении. В связи с этим встраивание производится в другие области, например, в LH2, так как именно этот квадрант содержит малозначимые компоненты, и его коэффициенты могут быть изменены без ущерба для изображения.

Рассматриваемый алгоритм встраивания имеет следующий вид:

1. Для встраивания одного бита ЦВЗ берется группа из k абсолютных значений коэффициентов C_k LH2-области ДВП;
2. Задается значение S , определяющее допустимый уровень вносимых искажений;
3. Производится встраивание бита ЦВЗ в группу коэффициентов C_k по формуле:

$$\check{C}_k = C_k + W^T(WW^T)^{-1}[\alpha A_1 + (1 - \alpha)A_0 + WC_k] \quad (1)$$

где $\check{C}_k$ – группа из k модифицированных коэффициентов LH2-области ДВП, полученных при встраивании одного бита;

W – весовая матрица;

α – значение встраиваемого бита;

A_i – величина, изменяющая модуль суммарной энергии группы k коэффициентов C_k таким образом, чтобы было проведено встраивание определенного значения бита.

4. Данные шаги повторяются для всех битов ЦВЗ.

Алгоритм извлечения является очевидным.

Результаты исследований

Эффективность рассматриваемого алгоритма оценивалась с учетом следующих характеристик: пикового отношения сигнала к шуму (PSNR), определяющего уровень искажений изображения-стегоконтейнера относительно исходного изображения; количества встраиваемой информации (в битах); количества ошибок в извлеченном сообщении.

В ходе исследования были выявлены некоторые особенности алгоритма, которые необходимо учитывать при его реализации.

Количество встраиваемой информации ограничено размерами самого изображения. При проведении двух итераций ДВП будет получено 4 квадранта верхнего уровня, одним из которых является квадрант LH2. Порядок соответствующей матрицы коэффициентов в 4 раза меньше порядка матрицы пикселей исходного изображения, а емкость – меньше в 16 раз. Согласно исследуемому алгоритму, один бит сообщения встраивается в k коэффициентов. Таким образом, емкость встраивания можно определить по следующей формуле:

$$N = m^2 / 16k \quad (2)$$

где m – порядок матрицы с коэффициентами изображения.

Согласно исходному алгоритму, встраивание одного бита секретного сообщения производится в k коэффициентов области LH2 ДВП. При таком подходе энергия исходного коэффициента может существенно измениться, что происходит уже при взятии его изначального значения по модулю. В связи с этим при извлечении бита может произойти ошибка, что приведет к неправильному извлечению всего символа. В ходе исследования были проведены эксперименты, при которых происходило встраивание во всю LH2-область. В итоге было установлено, что при извлечении действительно возникают ошибки (приложение Б).

Для учета данных особенностей в алгоритм были внесены некоторые изменения для случая, когда все составляющие весовой матрицы W равны единице: если при получении модифицированного коэффициента квадранта LH2 его знак изменился относительно знака исходного коэффициента, то знак коэффициента со встраиванием изменяется на противоположный; также для того, чтобы учесть изменение энергии, формула (1) была модифицирована и представлена следующим образом:

$$\check{C}_k = C_k + W_2[\alpha A_1 + (1 - \alpha)A_0 + WC_k] \quad (3)$$

где множитель W_2 – матрица-строка, компоненты которой равны отношению значения отдельно взятого коэффициента C_k к сумме всех k коэффициентов (таким образом учитывается то, какой вклад вносит k -й коэффициент в суммарную энергию).

Данный подход позволил уменьшить число ошибок при извлечении до нуля при незначительном уменьшении качества изображения (приложение Б).

Заключение

В данной работе реализован алгоритм встраивания ЦВЗ в среднечастотную область LH2 дискретного-вейвлет преобразования. Проведено исследование алгоритма, в ходе которого были выявлены его недостатки, заключающиеся в получении неверных значений бит при извлечении. Изучено влияние параметров алгоритма встраивания на качество изображения-стегоконтейнера. Установлено, что значение PSNR выше при меньшем количестве k коэффициентов, в которых встраивается один бит, и меньшем значении S , которое вносит основной вклад в изменение энергии коэффициентов области LH2. Проведена модификация алгоритма, позволяющая свести количество ошибок к нулю при незначительном уменьшении качества изображения. Целесообразность применения того или иного подхода определяется поставленными целями – в необходимости нулевых ошибок или же в наименьших искажениях.

Список использованных источников

1. Грибунин В.Г. Цифровая стеганография / В.Г. Грибунин, И.Н. Оков, И.В. Туринцев. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009. – 272 с.
2. Fallahpour M. Subjectively adapted high capacity lossless image data hiding based on prediction errors / M. Fallahpour, D. Megias, M. Ghanbari // Multimedia Tools and Applications. – 2011. – Vol. 52(2). – P. 513-527.
3. Islam S. Edge-based image steganography / S. Islam, M.R. Modi, P. Gupta // EURASIP Journal on Information Security. – 2014. – 8.
4. Al-Dmour H. A steganography embedding method based on edge identification and XOR coding / H. Al-Dmour, A. Al-An // Expert Systems with Applications. – 2015. – Vol. 46. – P. 293-306.
5. Jung K.-H. Data hiding method using image interpolation / K.-H. Jung, K.-Y. Yoo // Computer Standards & Interfaces. – 2009. – Vol. 31. – P. 465-470.
6. A Reversible Data Hiding Method Using Improved Neighbor Mean Interpolation and Random-Block Division / L. Liu, T. Chen, S. Zhu, W. Hong, X. Si // Information Technology Journal. – 2014. – Vol. 13, № 15. – P. 2374-2384.
7. Evsutin O.O. An Adaptive Algorithm for the Steganographic Embedding Information into the Discrete Fourier Transform Phase Spectrum / O.O. Evsutin, A.S. Kokurina, R.V. Mescheryakov, O.O. Shumskaya // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2016. – Vol. 451. – P. 47-56.
8. Евсютин О.О. Улучшенный алгоритм встраивания информации в сжатые цифровые изображения на основе метода PM1 / О.О. Евсютин, А.С. Кокурина, А.А. Шелупанов, И.И. Шепелев // Компьютерная оптика. – 2015. – Т. 39, № 4. – С. 572-581.
9. Chen S.-T. Optimization-based image watermarking with integrated quantization embedding in the wavelet-domain / S.-T. Chen, H.-N. Huang, W.-M. Kung, C.-Y. Hsu // Multimedia Tools and Applications. – 2015. – Vol. 75(10). – P. 5493-5511.

Приложение А
Выборка тестовых изображений

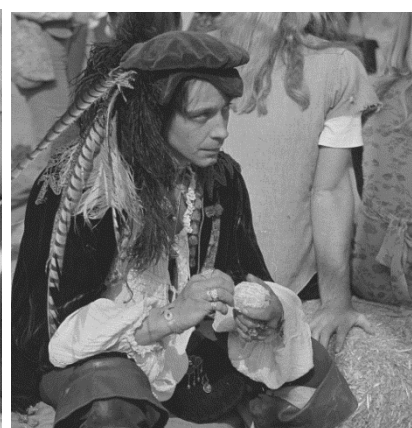
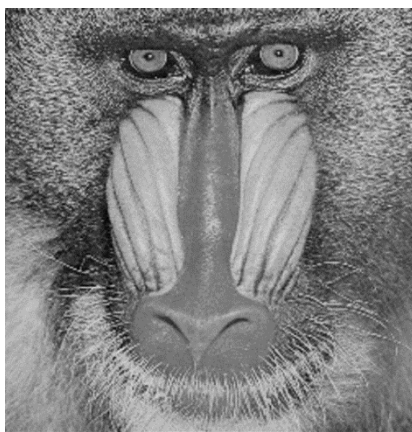
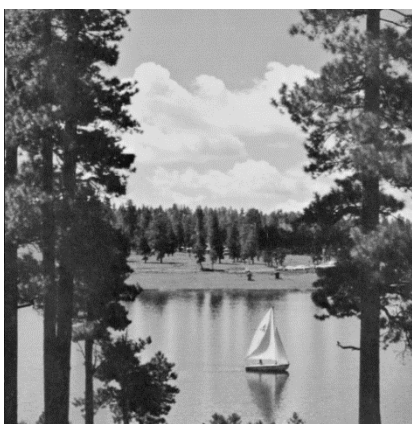




Рисунок А.1 – Выборка тестовых изображений

Приложение Б

Исследование алгоритма встраивания для выборки из 10 изображений

Таблица Б.1 – Количество ошибок при извлечении

k	W	S	Количество встраиваемых бит	Битовые ошибки, %	Ошибки в байтах, %
4	{1 1 1 1}	60	4096	2,33	18,55
4	{0.7 1.2 1.3 1.4}	60	4096	4,17	30,82
2	{1 1}	30	8192	1,7	13,6
1	{1}	15	16384	1,02	8,16

Таблица Б.2 – PSNR при исходном и модифицированном алгоритмах

k	W	S	Количество встраиваемых бит	PSNR для исходного алгоритма, дБ	PSNR для модифицированного алгоритма, дБ
4	{1 1 1 1}	60	4096	40,77	38,94
4	{0.7 1.2 1.3 1.4}	60	4096	40,87	-
2	{1 1}	30	8192	40,45	39,98
1	{1}	15	16384	40,23	40,21

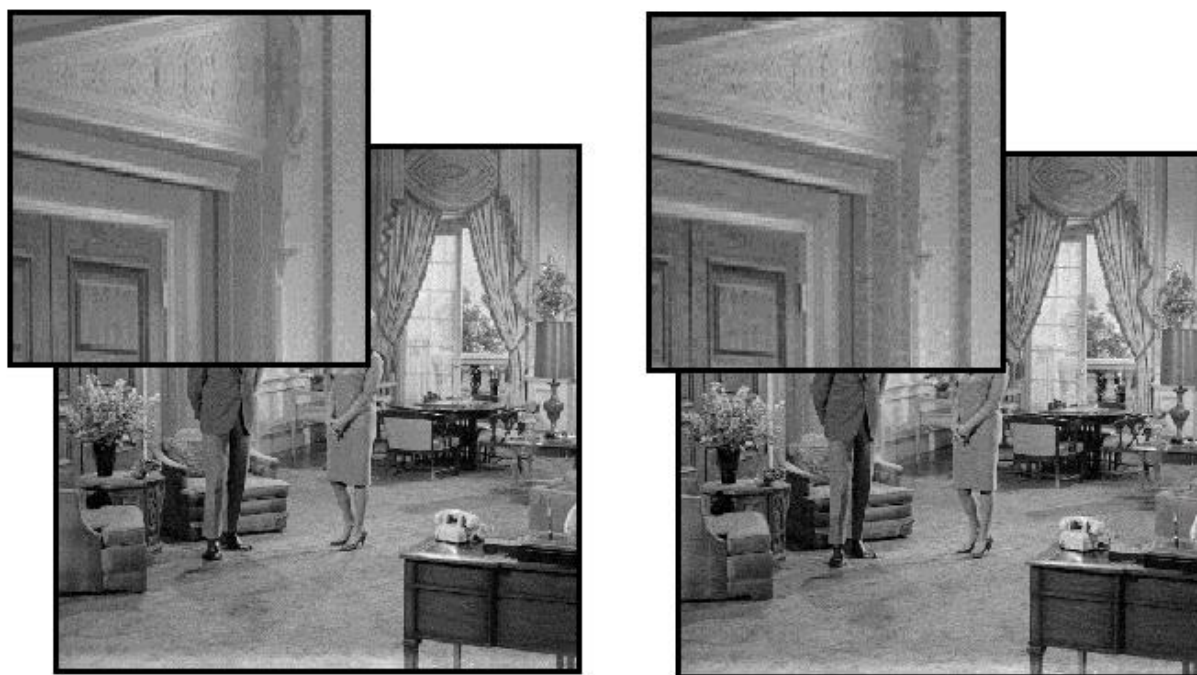


Рисунок Б.1 – Сравнение оригинального изображения и изображения-стегоконтейнера при использовании исходной формулы встраивания ($k = 4$, $W = \{1\ 1\ 1\ 1\}$, $S = 60$)

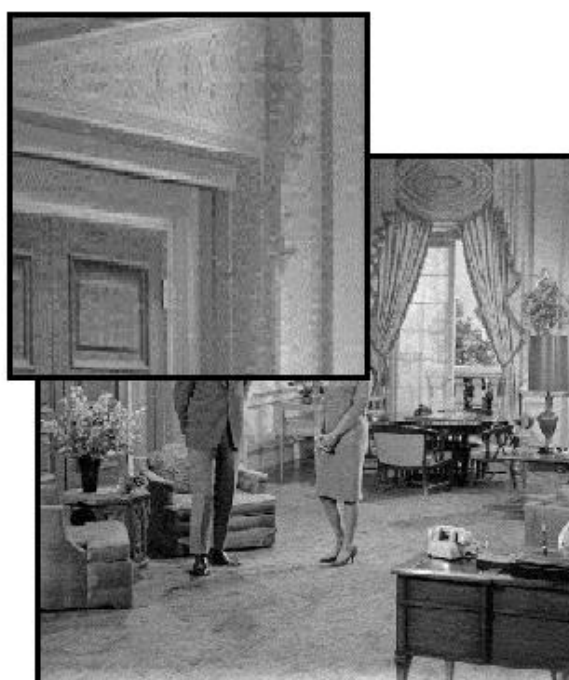
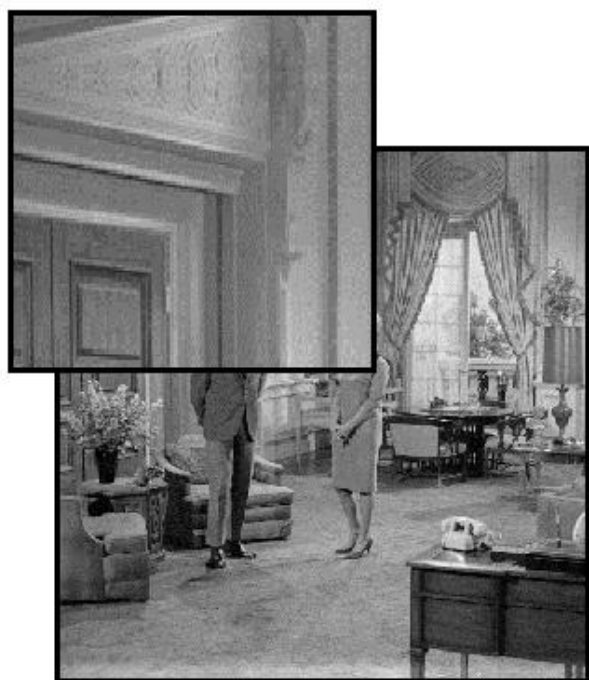


Рисунок Б.2 - Сравнение оригинального изображения и изображения-стегоконтейнера при использовании модифицированной формулы встраивания ($k = 4$, $W = \{1\ 1\ 1\ 1\}$, $S=60$)

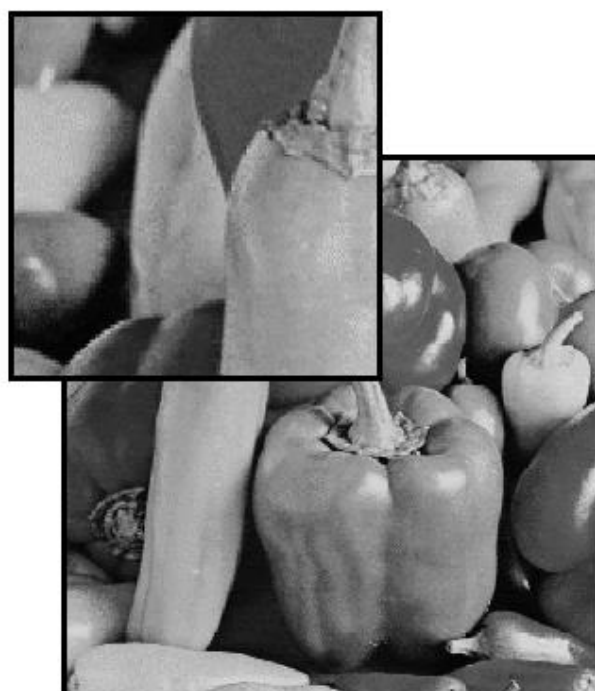
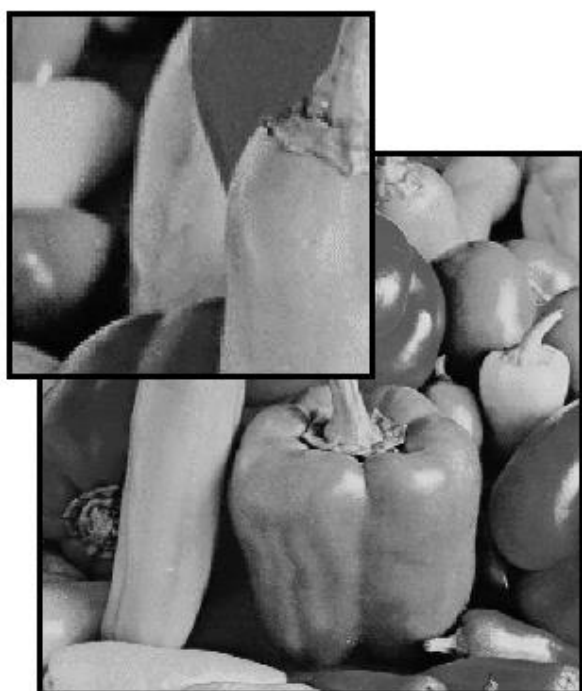


Рисунок Б.3 – Сравнение оригинального изображения и изображения-стегоконтейнера при использовании исходной формулы встраивания ($k = 2$, $W = \{1\ 1\}$, $S = 30$)

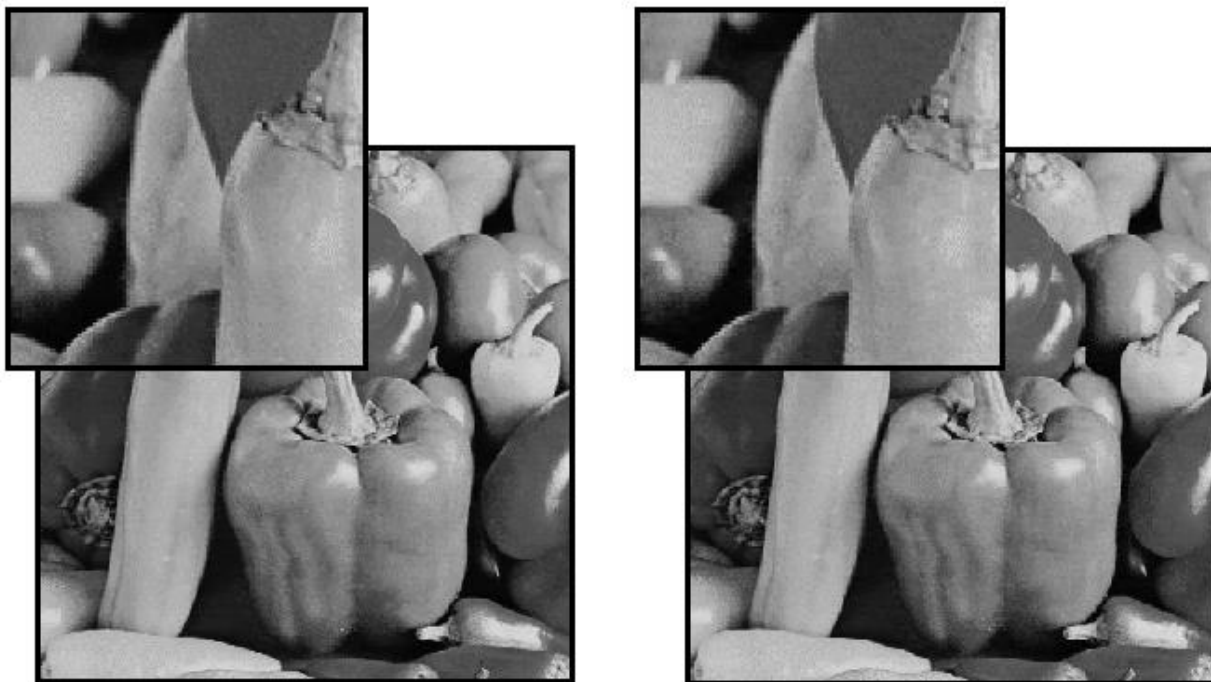


Рисунок Б.4 – Сравнение оригинального изображения и изображения-стегоконтейнера при использовании модифицированной формулы встраивания ($k = 2$, $W = \{1\ 1\}$, $S = 30$)

Таблица Б.3 – PSNR при $k=4$, $W = \{1\ 1\ 1\ 1\}$

S	PSNR для исходного алгоритма, дБ	PSNR для модифицированного алгоритма, дБ
15	50,08	48,64
20	49,01	47,44
25	47,72	46,05
30	46,45	44,76
35	45,28	43,57
40	44,28	42,52
45	43,39	41,58
50	42,41	40,60
55	41,54	39,73
60	40,77	38,94

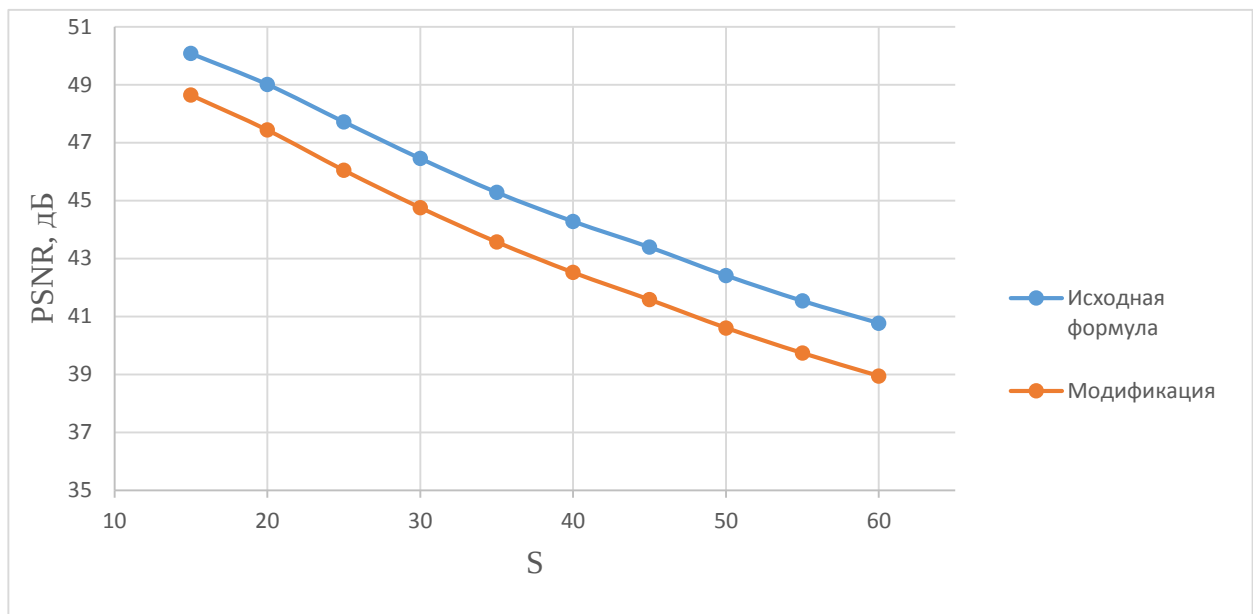


Рисунок Б.5 – График PSNR при $k=4$, $W = \{1\ 1\ 1\ 1\}$

Таблица Б.4 – Количество ошибок при извлечении для исходного алгоритма ($k = 4$, $W = \{1\ 1\ 1\ 1\}$)

S	Битовые ошибки, %	Байтовые ошибки, %
15	4,94	26,49
20	3,67	19,66
25	3,76	20,17
30	2,98	15,95
35	3,17	16,99
40	2,83	15,19
45	2,97	15,95
50	2,52	13,52
55	2,64	14,17
60	2,38	12,73

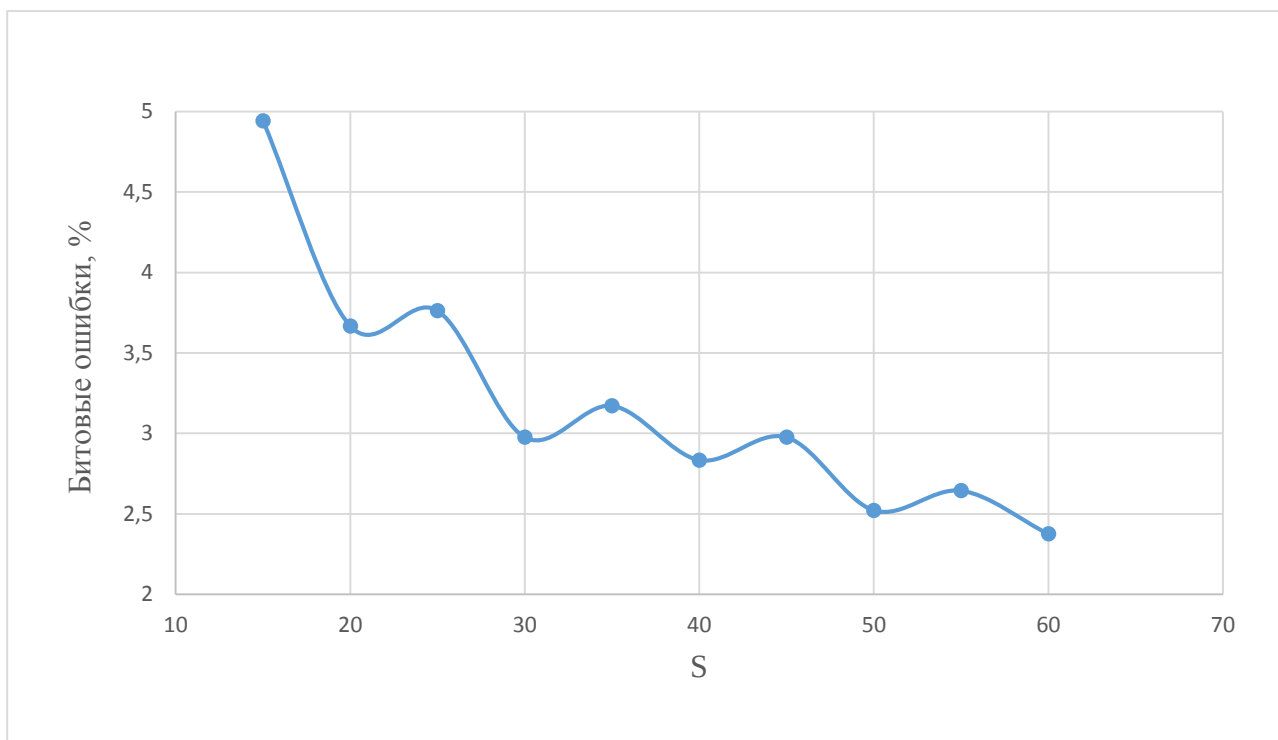


Рисунок Б.6 – График битовых ошибок при ($k=4$, $W=\{1\ 1\ 1\ 1\}$)

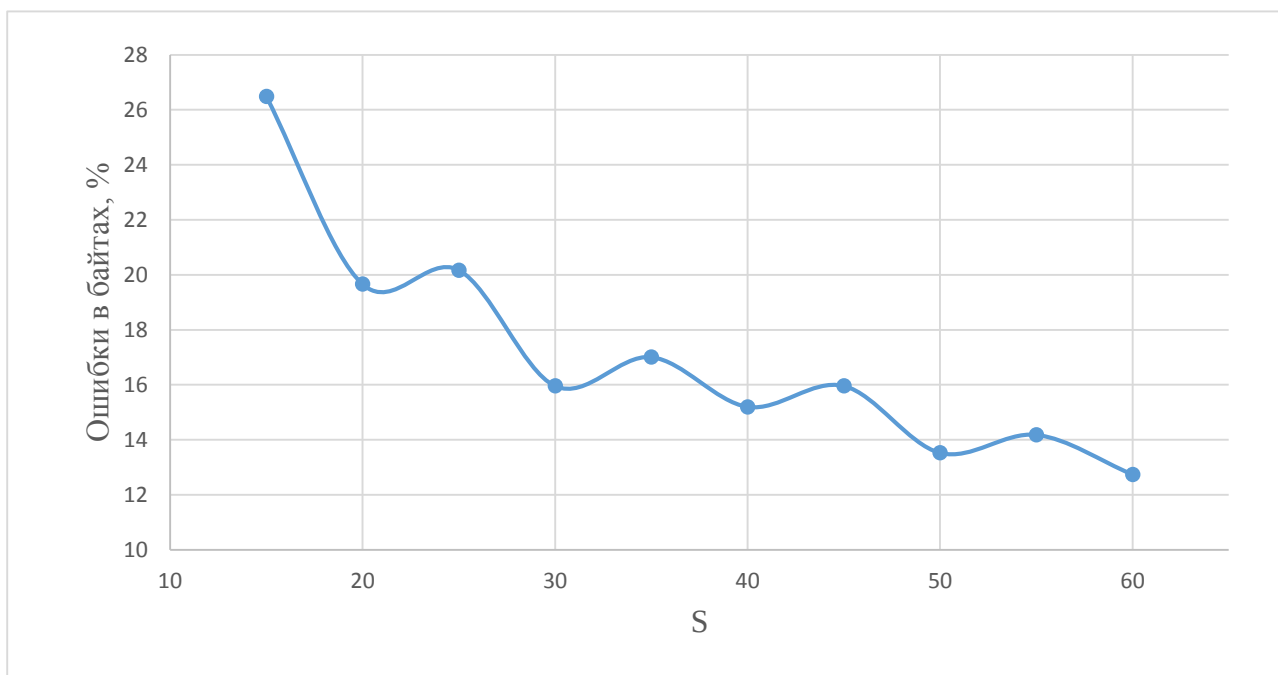


Рисунок Б.7 – График ошибок в байтах ($k=4$, $W=\{1\ 1\ 1\ 1\}$)

Таблица Б.5 – PSNR при $k=4$, $W = \{1\ 1\ 1\ 1\}$, $S=60$

Объем встраиваемого сообщения, бит	PSNR для исходного алгоритма, дБ	PSNR для модифицированного алгоритма, дБ
400	50,09	48,52
800	47,29	45,58
1200	45,73	43,93
1600	44,57	42,78
2000	43,63	41,83
2400	42,94	41,11
2800	42,27	40,49
3200	41,76	39,92
3600	41,30	40,01
4096	40,77	38,94

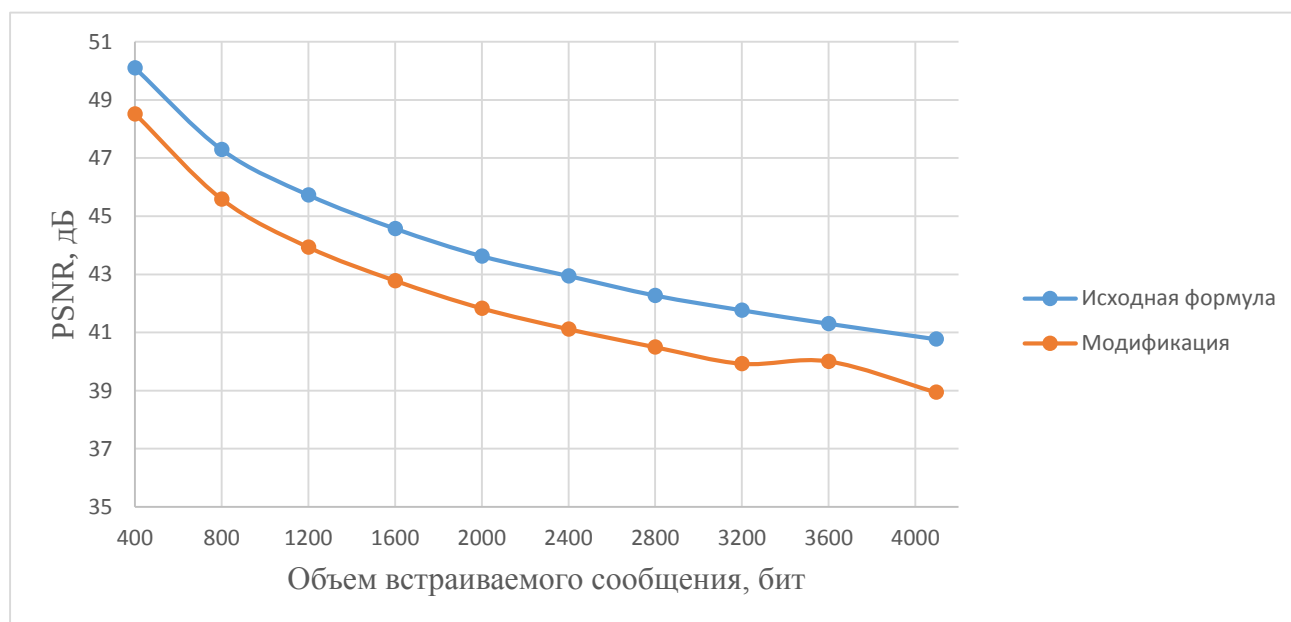
Рисунок Б.8 – График PSNR при $k=4$, $W = \{1\ 1\ 1\ 1\}$, $S=60$

Таблица Б.6 – Количество ошибок при извлечении для исходного алгоритма
($k = 4$, $W = \{1\ 1\ 1\ 1\}$, $S = 60$)

Объем встраиваемого сообщения, бит	Битовые ошибки, %	Байтовые ошибки, %
400	2,19	17,49
800	1,85	14,75
1200	2,08	16,55
1600	2,16	17,19
2000	2,07	16,47
2400	2,26	18,04
2800	2,34	18,62
3200	2,41	19,23
3600	2,39	19,03
4096	1,85	14,75

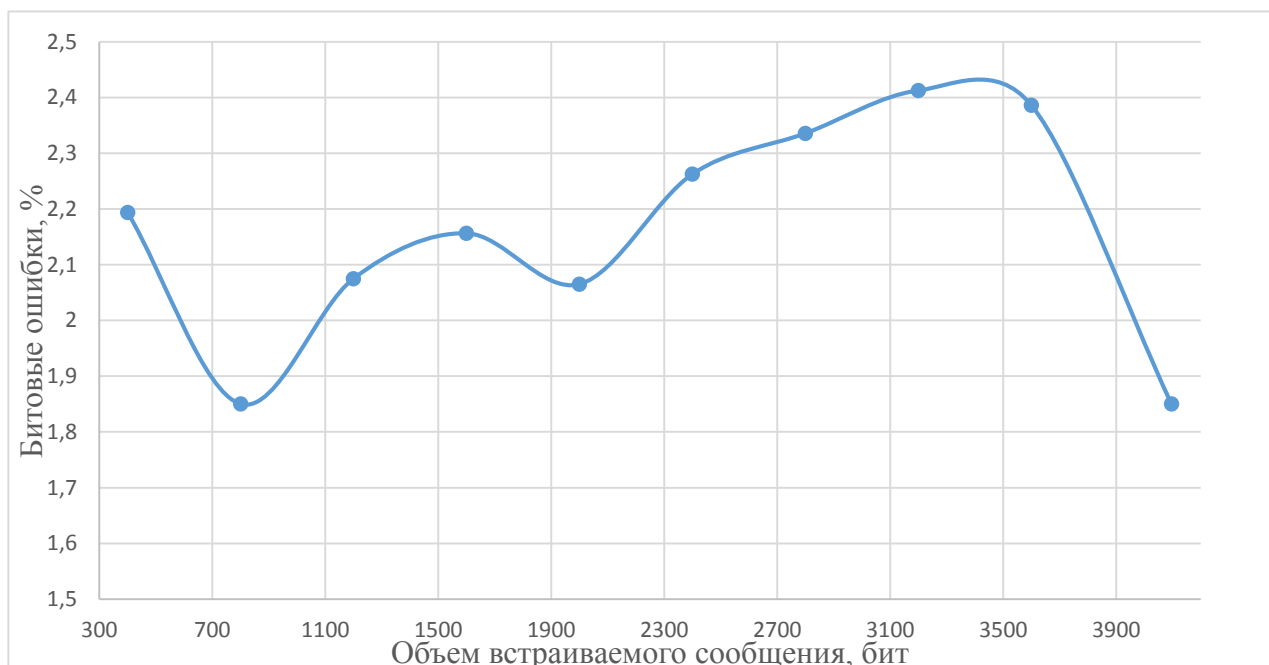


Рисунок Б.9 – График битовых ошибок при ($k = 4$, $W = \{1\ 1\ 1\ 1\}$, $S = 60$)

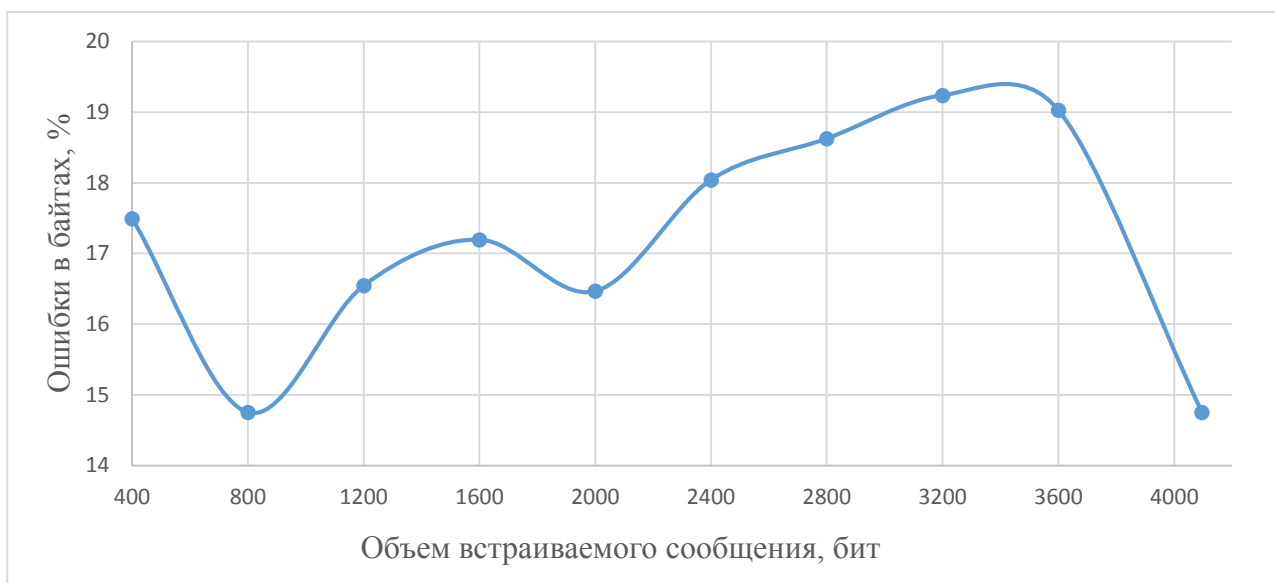


Рисунок Б.10 – График ошибок в байтах при ($k = 4$, $W = \{1\ 1\ 1\ 1\}$, $S = 60$)