УДК 621.396.01

Е.В. БОЛГОВА

E.V. BOLGOVA

**О СУБИНТЕРВАЛЬНОМ МЕТОДЕ СКРЫТНОГО ВНЕДРЕНИЯ ДАННЫХ В ИЗОБРАЖЕНИЯ**

**ON THE SUBINTERVAL METHOD DATA HIDDEN EMBEDDING IN IMAGES**

*В данной статье предложено описание метода внедрения/извлечения дополнительной информации в неинформационные интервалы пространственных частот изображений на основе относительного изменения заданных проекций. Внедряемая информация представляется последовательностью нулей и единиц. Для проверки работоспособности разработанного метода были проведены вычислительные эксперименты*

*Ключевые слова: субинтервальная матрица; скрытное внедрение; интервал пространственных частот*

*In this article, we propose a description of the method of embedding/extracting additional information into non-information intervals of spatial frequencies of images based on the relative change of given projections. The embedded information is represented by a sequence of zeros and ones. To test the workability of the developed method, computational experiments were carried out.*

*Keywords: subinterval matrices; hidden embedding; spatial frequencies interval*

В настоящее время информационное общество одной из основных форм обмена информацией принимает изображения и видео. Зачастую изображения являются объектом охраны авторских прав, что предполагает возможность осуществления контроля за их использованием, например, на основе скрытного внедрения контрольных данных в изображение. Одним из способов решения данной задачи является скрытное внедрение информации в изображения [1, 2].

В предложенном методе для внедрения информации, представленной последовательностью нулей и единиц, предлагается вносить относительные изменения в значения двух выбранных проекций  и  [3] изображения-контейнера Ф на собственные векторы, соответствии единичным собственным числам субинтервальных матриц, соответствующих неинформационным интервалам пространственных частот (ИПЧ) , таким образом, чтобы в результате изменения проекций добиться выполнения следующих неравенств (рисунок 1):

- при внедрении нуля должно выполняться неравенство:

, (1)

- при внедрении единицы должно выполняться неравенство:

, (2)

где  и  – измененные значения соответствующих проекций,  – пороговое значение относительного отличия измененных проекций.

а б







Внедрение 0







Внедрение 1

Рисунок 1 – Относительное изменение значений проекций при внедрении 0 и 1: а – внедрение 0, б – внедрение 1

Очевидно, что значение порога  влияет на величину искажений изображения-контейнера: при увеличении порогового значения увеличиваются искажения изображения-контейнера (снижается скрытность внедрения информации). Также следует отметить, что пороговое значение  влияет на устойчивость восстановления (извлечения) внедренной информации: при наличии внешних разрушающих воздействий, например, аддитивный шум, уменьшение порогового значения приводит к увеличению искажений внедренной информации.

В данной работе для обеспечения устойчивости внедренной информации к внешним разрушающим воздействиям, а также скрытности информации, внедренной в изображение-контейнер, предлагается адаптивно определять пороговые значения  для каждого интервала ПЧ, в который осуществляется внедрение.

Пороговое значение  при внедрении информации в интервал пространственных частот  предлагается определять на основании среднего значения проекций, определяющих значение части энергии  [3] изображения-контейнера Ф в данном интервале, соответствующих ненулевым собственным числам субинтервальных матриц.

При размерности изображения-контейнера Ф  пикселей и разбиении частотной области на  равновеликих непересекающихся ИПЧ пороговое значение  при внедрении информации в интервал пространственных частот , , , определяется следующим соотношением:

, (3)

где  – коэффициент внедрения, позволяющий интерактивно уточнять пороговое значение ,

, (4)

 – среднее значение проекций, определяющих значение части энергии  изображения-контейнера Ф в заданном интервале ,

, (5)

 – часть энергии изображения-контейнера Ф в интервале ПЧ .

,  – оценки количества ненулевых собственных чисел х субинтервальных матриц  и  соответственно.

В данном методе исходной информацией является изображение-контейнер и встраиваемая (внедряемая) в него информация, которая представлена в виде текстового сообщения или изображения. Внедрение информации осуществляется в изображение-контейнер, которое задается в виде матрицы , , , значения элементов которой соответствуют яркости пикселей изображения-контейнера. Непосредственно перед внедрением скрываемая информация преобразуется в последовательность бит , .

Предлагаемый метод внедрения/извлечения заключается в следующем.

Частотная область разбивается на заданное количество  равновеликих непересекающихся интервалов пространственных частот. На основании метода выделения информационных и неинформационных ИПЧ [3] на множестве  интервалов пространственных частот выделяются информационные и неинформационные ИПЧ изображения-контейнера для заданного значения порога  на основе решающего правила. Внедрение предполагается осуществлять в неинформационные ИПЧ , индексы которых  образуют множество . В множестве  неинформационные ИПЧ упорядочены по убыванию значений соответствующих долей энергии.

Опишем метод внедрения дополнительной информации , , в очередной неинформационный ИПЧ ,

. (6)

Определим множество единичных собственных чисел субинтервальных матриц  и , соответствующих заданному неинформационному ИПЧ .

Обозначим,  и  – множества собственных векторов, соответствующих единичным собственным числам субинтервальных матриц  и ,

, (7)

. (8)

где  и  – количество единичных собственных чисел субинтервальных матриц  и  (предполагается упорядоченность по убыванию соответствующих множеств собственных чисел).

Каждый бит последовательности , , внедряется на основании относительного изменения значений двух проекций изображения-контейнера Ф на очередные две заданные пары собственных векторов.

Рассмотрим внедрение отдельного бита  с применением пар собственных векторов ,  и , , соответствующих единичным собственным числам матриц  и ,

, (9)

, . (10)

Вычислим проекции  и  изображения-контейнера Ф на выбранные пары собственных векторов ,  и , :

, (11)

. (12)

Если внедряемый бит  равен 0, то соответствующие значения проекций  и  следует изменить таким образом, чтобы для измененных значений  и  выполнилось неравенство (1).

Если внедряемый бит  равен 1, то соответствующие значения проекций  и  следует изменить таким образом, чтобы для измененных значений  и  выполнилось неравенство (2).

Внедрение данных в изображение-контейнер Ф осуществляется на основании следующего соотношения:

, (13)

или в матричном виде при внедрении всех возможных бит в ИПЧ :

. (14)

где – матрица измененных на основании соотношений (1) и (2) проекций изображения-контейнера Ф на пары собственных векторов, соответствующих единичным собственным числам субинтервальных матриц  и ;  – изображение-контейнер, содержащее внедренную информацию.

Извлечение из изображения-контейнера  значения отдельного бита данных, внедренных с применением пар собственных векторов ,  и ,  осуществляется следующим образом.

Вычислим проекции  и  изображения  на выбранные пары собственных векторов:

, (15)

. (16)

Тогда для определения значения извлекаемого бита информации  используются следующие условия:

. (17)

Для одновременного внедрения информации в другие неинформационные ИПЧ выполняются действия, аналогичные приведенным выше.

Тогда, метод внедрения информации одновременно в несколько ИПЧ можно сформулировать в следующем виде:

. (18)

где – матрица измененных на основании соотношений (1) и (2) проекций изображения Ф на пары собственных векторов, соответствующих единичным собственным числам субинтервальных матриц  и .

Извлечение (восстановление) информации, внедренной на основании соотношения (18), осуществляется на основании соотношений (15)-(17).

Чтобы выполнялось условие точного восстановления, пары матриц собственных векторов  и , а также пары матриц собственных векторов  и , применяемых в соотношении (18),

, ,

соответствующие различным ИПЧ  и , должны быть взаимно ортогональны, что имеет место при соответствующих единичных собственных числах.

Для проверки работоспособности разработанного метода были проведены вычислительные эксперименты.

В качестве изображения-контейнера выбрано изображение (рисунок 2а) , , в которое был внедрен фрагмент размерностью 32х16 пикселей изображения, приведенного на рисунке 2б. Бинарное представление внедренного фрагмента приведено на рисунке 2в, значение порога  было выбрано равным =0,99. Для внедрения были использованы неинформационные интервалы ПЧ с индексами (1, 4) и (3, 2). При проведении вычислительного эксперимента внедряемый фрагмент содержит 4096 бит. Значение коэффициента  выбрано равным =0,1.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| а | б | в | г |

Рисунок 2 – Результаты внедрения информации в изображение-контейнер:

а) исходное изображение; б) изображение, на основе которого формируется внедряемый фрагмент; в) бинарное представление внедряемого фрагмента; г) результат внедрения

Соответствующее искажение изображения-контейнера имеет следующие значения:

- среднеквадратическое отклонение (СКО) [4]: 0,0151;

- коэффициент структурного сходства [5]: 0,9899.

Искажение восстановленных данных отсутствует (СКО=0).

Проведенный вычислительный эксперимент показал, что разработанный метод внедрения позволяет восстанавливать данные без искажения, при незначительных искажениях изображения-контейнера, содержащего внедряемые данные.

Таким образом, разработан метод внедрения/извлечения дополнительной информации в неинформационные интервалы пространственных частот изображений на основе относительного изменения заданных проекций, который позволяет внедрять дополнительную информацию с незначительными искажениями изображения-контейнера и восстановленных данных при использовании разработанных решающих правил выбора информационных и неинформационных интервалов ПЧ.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Грибунин, В.Г. Цифровая стеганография / Грибунин, В.Г., Оков, И.Н., Туринцев, И.В. – М.: Солон-пресс, 2016. 262 с.

2. Конахович, Г.Ф. Компьютерная стеганография. Теория и практика / Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. К.: МК-Пресс, 2006. 288 с.

3. Болгова, Е.В. О методе субинтервального скрытного внедрения данных в изображения / Болгова Е.В., Черноморец А.А. // Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика. – 2018, Т. 45. № 1. – С. 192-201.

4. Ахмед Н., Рао К.Р, 1980. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. М., Связь, 248.

5. Сёмкин Б.И., Двойченков В.И., 1973. Об эквивалентности мер сходства и различия. Исследование систем. Т. 1. Анализ сложных систем. Владивосток, ДВНЦ АН СССРС: 95-104.

**Болгова Евгения Витальевна**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород

старший преподаватель кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Тел.: +7(4722) 30-13-00

E-mail: bolgova\_e@bsu.edu.ru