

Шумейко А.А., Пасько А.И.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕСЕПАРАБЕЛЬНОЙ ВЕЙВЛЕТ – СХЕМЫ ДЛЯ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ

В статье показано, что применение целочисленного преобразования $RGB \leftrightarrow YUV$, а также, целочисленных несепабельных (существенно двумерных, не представимых в виде тензорного произведения одномерных) вейвлет-схем, позволяет реализовать эффективные алгоритмы стеганографической защиты.

Введение. При использовании в качестве контейнера для стегановложения статических изображений, нужно учитывать, с одной стороны, особенности восприятия цветовых характеристик [1], а с другой – частотных [2]. В силу антропологических особенностей человека (количество и расположений клеток-колбочек на поверхности глазного дна) восприятие человеком холодных оттенков гораздо хуже, чем теплых. Поэтому искажения холодных оттенком цвета менее заметны. С другой стороны, более высокочастотные составляющие вносят меньший вклад в формирование изображения, чем низкочастотные. Предложена схема стеганографической защиты данных, использующая разделение цветовых пространств с последующим применением безпотерного несепабельного преобразования вейвлетного типа.

Преобразование цветовых пространств. Цвет является результатом восприятия света в сетчатке глаза в спектре, имеющего длину волны от 400 nm до 700 nm. Сетчатка человеческого глаза имеет три типа рецепторов, каждый из которых отвечает за восприятия света определенной части спектра. Четвертый тип рецепторов, присутствующих в сетчатке - палочки, которые эффективны только на чрезвычайно низких светлых уровнях (образно говоря, ночное зрение). Хотя для зрения они достаточно важны, никакой роли для восприятия цвета они не играют. Поскольку для цветового восприятия существуют ровно три типа рецепторов, то именно три цветовых компонента необходимы для описания цвета. Наиболее распространенной и часто используемой в компьютерной графике моделью является модель смешивания трех базовых цветов - красного, зеленого и синего. Смешивание базовых цветов (RGB) в разных пропорциях позволяет получить всю цветовую палитру. Популярность RGB модели объясняется, прежде всего, тем, что отображение цвета на экране монитора реализуется именно смешиванием базовых цветов. Однако большим недостатком этой системы является равноправие всех цветовых компонентов. Этот фактор стимулировал появление других систем цветопередачи, в которых основную информационную нагрузку несет одна цветовая компонента - люминесцентная составляющая (яркость изображения). Для дополнения люминесцентной составляющей до оригинального сигнала существуют две цветовые компоненты. Структура этих компонентов определяет ту или иную систему цветопередачи – YUV, YIQ, YCrCb. В 1953 г. Национальный комитет по телевизионным системам (NTSC – National Television System Committee) принял в качестве стандарта цветовую систему YIQ, основанную на модели МКО XYZ. Из-за ограничений на ширину полосы пропускания яркость определяется одной координатой Y. Сигнал Y занимает основную часть полосы частот (0-4 МГц), причем в нем пропорции красного,

зеленого и синего основных цветов NTSC выбраны так, что он соответствует кривой спектральной чувствительности глаза. В сигнале Y содержится информация о яркости, поэтому в черно-белом телевидении используется только эта координата. Для того чтобы передавать цвет, т. е. тон и насыщенность, при помощи более узкой полосы частот, учитываются некоторые особенности зрительного восприятия. В частности, чем меньше предмет, тем хуже различаются его цвет, а объекты, меньшие определенного размера, кажутся черно-белыми. Если же объект меньше некоторого минимального предела, то его цвет вообще не воспринимается. В системе YIQ информация о тоне и насыщенности цвета представляется с помощью линейных комбинаций разностей красного, зеленого и синего цветов и значения Y. Координата I (синфазный сигнал) соответствует цветам от оранжевого до голубого, т. е. "теплым" тонам, Q – от зеленого до пурпурного, т. е. всем остальным – "холодным" тонам. Координата I занимает полосу частот примерно 1.5 МГц, а Q – только 0.6 МГц. Для связи между RGB и YIQ используются равенства

$$\begin{cases} Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B, \\ I = \text{Red} - \text{Cyan} = 0.596R - 0.275G - 0.3216B, \\ Q = \text{Magenta} - \text{Green} = 0.212R - 0.523G + 0.311B. \end{cases}$$

Таким образом, наименее чувствительны искажения, привнесенные в цветовую компоненту Q, а наиболее – в компоненту Y. Заметим, что при компьютерной реализации эти преобразования переводят множество целых чисел RGB во множество действительных чисел YIQ. После внесения стегоданных в YIQ требуется вернуть данные в формат RGB, что приводит к накоплению ошибок округления и искажению внедренной информации. Эта проблема приводит либо к необходимости кодирования стегоданных избыточными кодами (с целью компенсации ошибки), либо применить другое преобразование, позволяющее перевести множество целых чисел в целые (и наоборот). Нами предложено использовать для разделения цветов целочисленную схему – прямой ход выглядит следующим образом

$$Y = [(R + 2*G + B) / 4]; U = (R - G); V = (B - G);$$

и обратный ход

$$G = (Y - [(U + V) / 4]); R = U + G; B = V + G;$$

где [.] здесь и далее целая часть числа.

Полученные цветовые компоненты YUV не столь эффективны, как YIQ, зато избавлены от такой проблемы, как ошибки округления.

Целочисленное вейвлет-преобразование. Использование дискретного тригонометрического преобразования Фурье, так же, как и ортогонального (или биортогонального) вейвлет преобразования, приводит к появлению ошибок округления. Поэтому для частотного анализа изображения было предложено использовать целочисленное вейвлет-преобразование. Традиционно для этой цели используется сепарабельная схема или схема Маллата ([2]). В частности, в стандарте JPEG2000 ([3]) применяется следующая конструкция. Пусть c_i^0 исходные данные, прямой ход выглядит следующим образом

$$c_{2i}^1 = c_{2i}^0 - \left[\frac{c_{2i-1}^0 + c_{2i+1}^0 + 2}{4} \right], c_{2i+1}^1 = c_{2i+1}^0 + \left[\frac{c_{2i}^1 + c_{2i+2}^1}{2} \right],$$

а обратный –

$$c_{2i+1}^0 = c_{2i+1}^1 - \left[\frac{c_{2i}^1 + c_{2i+2}^1}{2} \right], c_{2i}^0 = c_{2i}^1 - \left[\frac{c_{2i-1}^0 + c_{2i+1}^0 + 2}{4} \right].$$

Множество коэффициентов с четным индексом образует низкочастотный домен (L), а с нечетным – высокочастотный (H). Последовательное применение того же алгоритма позволяет разделить исходные данные на четыре частотных домена. Из которых домен LL наиболее чувствителен к ошибке, а домен HH наименее чувствителен. Приоритетность доменов для вложения стеганографических данных – HH, HL, LH. Вложение данных в низкочастотные данные не желательно.

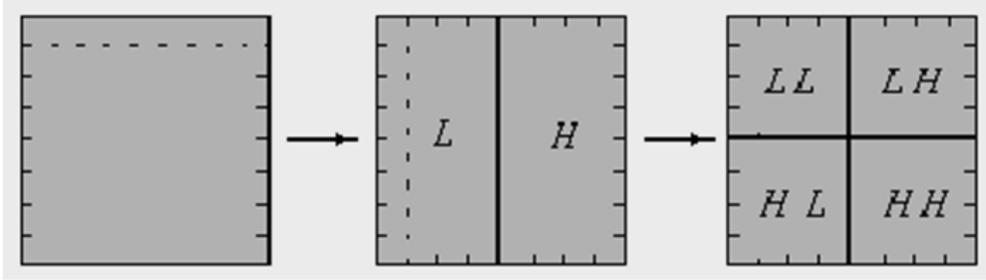


Рис.1. Схема Маллата получения частотных характеристик вейвлет-преобразования.

Заметим, что сепарабельная схема изначально ориентирована на одномерные данные, поэтому использование двумерной вейвлет-схемы для обработки изображений является более предпочтительным. Для фильтрации данных $p_{i,j}$ была предложена несепарабельная (не представимая в виде тензорного произведения одномерных) вейвлет-схема с той же сложностью, то есть с равным числом арифметических операций.

На первом шаге проводится децимация данных с четными индексами $s_{i,j}^0 = p_{2i,2j}$.

На втором шаге по децимированным значениям строим линейные восстановления в точках с одним нечетным индексом и вычисляем соответствующие частотные коэффициенты

$$s_{i,j}^1 = p_{2i+1,2j} - \left[\frac{p_{2i,2j} + p_{2i+2,2j}}{2} \right], s_{i,j}^2 = p_{2i,2j+1} - \left[\frac{p_{2i,2j} + p_{2i,2j+2}}{2} \right],$$

и, наконец, на третьем шаге получаем частотные коэффициенты с нечетными индексами

$$s_{i,j}^3 = p_{2i+1,2j+1} - \left[\frac{s_{i,j}^0 + s_{i,j+1}^0 + s_{i+1,j}^0 + s_{i+1,j+1}^0}{4} \right] - \left[\frac{s_{i,j}^1 + s_{i,j+1}^1 + s_{i,j}^2 + s_{i+1,j}^2}{4} \right].$$

По аналогии со схемой Маллата можно записать $HH = \{s_{i,j}^3\}$, $HL = \{s_{i,j}^2\}$, $LH = \{s_{i,j}^1\}$, $LL = \{s_{i,j}^0\}$.

Приоритет использования частотных доменов для вложения тот же.

Анализ полученных результатов. Обозначим через

$$\hat{p}_{i,j} = \frac{1}{(2N+1)^2} \sum_{v,\mu=-N}^N p_{i+v,j+\mu}$$

среднее значение $p_{i,j}$ в окрестности $\Omega_{i,j}$, совпадающей с квадратом с центром в (i,j) и стороной $2N+1$. Пусть $f(P)$ ($P \in [0,1]$) равно количеству точек $p_{i,j}$ исходного изображения, таких, что

$\hat{p}_{i,j} = P$. График $f(P)$ характеризует распределение точек внутри окрестности. По этому графику можно судить о степени искажений, внесенных стегановложением.

На приведенных графиках непрерывная линия соответствует функции $f(P)$ оригинального изображения, а прерывистая – заполненному контейнеру.

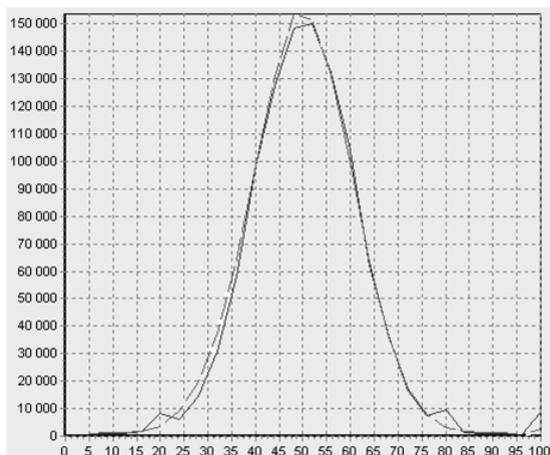


Рис.2. Результат применения целочисленных вейвлет стандарта JPEG2000

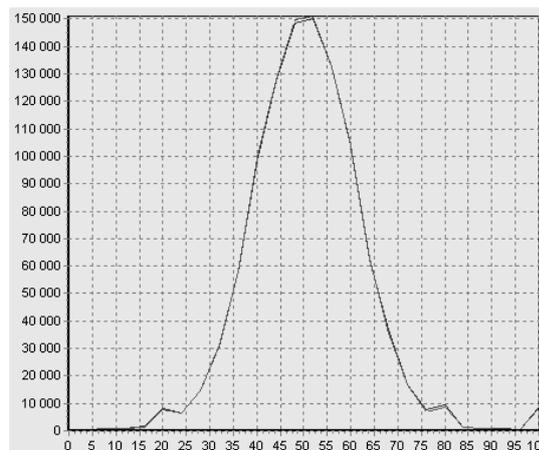


Рис.3. Результат применения предложенного алгоритма.

Выводы. Применение целочисленного преобразования $RGB \leftrightarrow YUV$, а также, целочисленных несепарабельных (существенно двумерных, не представимых в виде тензорного произведения одномерных) вейвлет, позволяет реализовать эффективные алгоритмы стеганографической защиты. Искажения, вносимые несепарабельными вейвлетами (при вложении одного и того же объема информации) меньше, чем при использовании сепарабельных вейвлет той же сложности.

Литература.

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений .- М.: Техносфера, 2005.- 1070 с.
2. Mallat S.A. Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 11, No. 7, July 1989, p. 674-693.
3. Farah I.R., Ismail I.B., Ahmed M.B. A Watermarking System Using the Wavelet Technique for Satellite Images. Processings of world academy of science/ engineering and technology. Vol. 17, 2006, p. 97-102.
4. Грибунин В. Г., Оков И. Н., Туринцев И. В. Цифровая стеганография. — М.: «Солон-Пресс», 2002. — 272 с.

Застосування несепабельної вейлет-схеми для стеганографічного захисту даних./

Шумейко О.О., Пасько А.І.

У статті показано, що застосування цілочисельного перетворення $RGB \leftrightarrow YUV$, а також, цілочисельних несепабельних (істотно двовимірних) вейлет-схем, дозволяє реалізувати ефективні алгоритми стеганографічного захисту.

Применение несепабельной вейлет-схемы для стеганографической защиты данных./

Шумейко А.А., Пасько А.И.

В статье показано, что применение целочисленного преобразования $RGB \leftrightarrow YUV$, а также, целочисленных несепабельных (существенно двумерных, не представимых в виде тензорного произведения одномерных) вейлет-схем, позволяет реализовать эффективные алгоритмы стеганографической защиты.

Application of Non-separable Wavelets for the Steganography Data Protection./ Shumeiko O.O.,

Pas'ko A.I.

It is rotined in the article, that application of integer transformation of $RGB \leftrightarrow YUV$, and also, integer Non-separable Wavelets, allows to realize the effective algorithms of Steganography Data Protection.

Шумейко Александр Алексеевич проф., д.т.н.

Украина Днепродзержинск ул.Днепростроевская, 2

Днепродзержинский государственный технический университет

shumeiko_a@ukr.net м.т. 80661267315

Пасько Артем Игоревич магистр

Украина Днепродзержинск ул.Днепростроевская, 2

Днепродзержинский государственный технический университет