

## ОБ АЛГОРИТМЕ АДАПТИВНОГО ВЫБОРА DST-КОЭФФИЦИЕНТОВ

Акаффу Аду Гарсиа Думез

г. Белгород, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет»,

11.03.02 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Гурьянова О.И.

г. Белгород, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет»,

02.04.01 – «Математика и компьютерные науки»

**Аннотация.** В докладе приведен алгоритм адаптивного выбора коэффициентов DST. На основе вычислительных экспериментов показана его работоспособность. В качестве порога использовались пороги основанные на энергии коэффициентов.

Обеспечение скрытности одно из требований, предъявляемых к стеганографическим методам [1]. Обеспечение скрытности достижимо при декодировании в компоненте (ах) содержащих наименьшую долю энергии (рис. 1), но это может привести к потере кодируемой информации. Поэтому кодирование в коэффициентах, значение которых ниже некоторого порога не целесообразно. В связи с этим возникает необходимость разработки алгоритма автоматического выбора коэффициента, значение которого выше некоторого порога и обеспечат скрытность и стойкость внедренной информации.

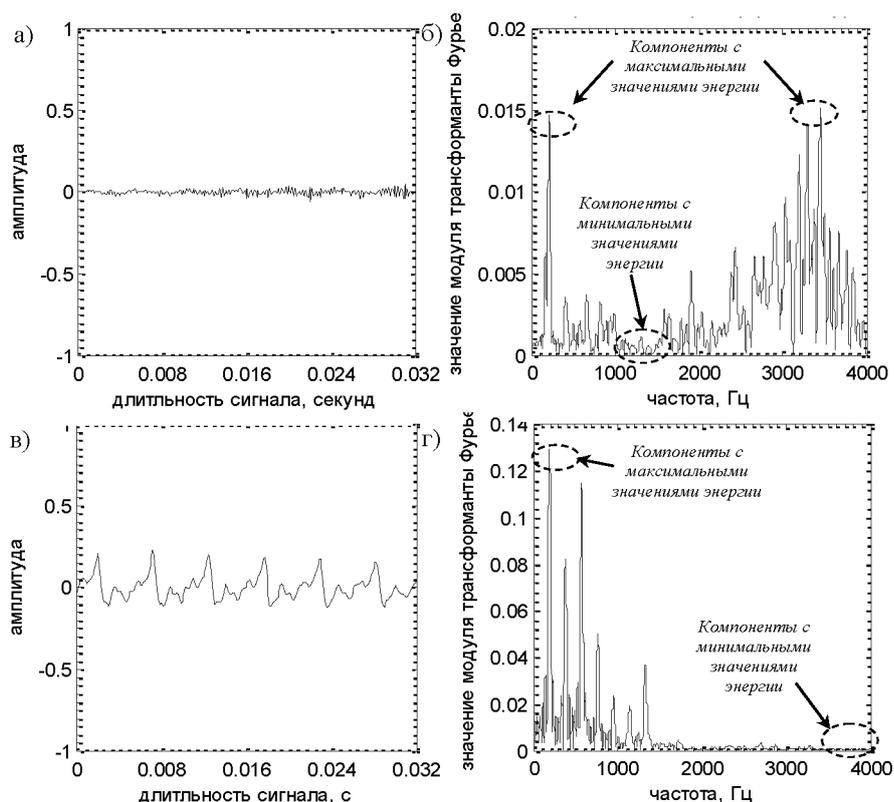


Рисунок 1 – Отрезки аудио-сигнала: а) звук «ш»; б) спектр для звука «ш»; в) звук «о»; г) спектр для звука «о»

При этом не маловажное значение играет обеспечение близкой к нулю вероятности ошибки декодирования скрытой информации. Уменьшение вероятности ошибки декодирования можно достичь благодаря кодированию информации в компоненту(ы) сигнала имеющую подавляющую долю энергии относительно синтезируемого отрезка (рис. 1). В связи с этим возникает необходимость выбора между стойкостью и скрытностью, для этого выбирают компоненту в которой осуществляется кодирование. Выбор

фиксированного порога или кодирование в заранее задаваемом номере компоненты, не обеспечивает необходимой скрытности [1], это наглядно проиллюстрировано на рис. 1. Как видно из спектров (рис. 1, б и г) звуков «о» и «ш» имеющих разное распределение энергии по частотной оси. Выбор, компоненты необходимо осуществлять исходя из частотно-временных характеристик отрезка в котором осуществляется скрытное кодирование, т.е. адаптировано выбирать компоненту для кодирования [2]. Для достижения высокой скрытности и уменьшения вероятности ошибки, адаптацию под каждый отрезок, предлагается осуществлять, используя среднее значение, приходящееся на компоненту.

Рассмотрим один из распространенных методов стеганографического кодирования использующий разложение отрезка аудио-сигнала  $\vec{x}$ , на DCT-коэффициенты вида [3]:

$$g_0 = \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad (1)$$

$$g_m = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i \cdot \cos\left(\frac{(2i+1) \cdot m\pi}{2N}\right), \quad m = 1, 2, \dots, (N-1), \quad (2)$$

где  $x_k$  – значение амплитуды сигнала  $x_k \in \vec{x}$ ;  $m$  – номер DCT-коэффициента;  $g_m$  – DCT-коэффициент  $m = 0, 1, \dots, (N-1)$ .

Ниже представлены результаты расчета DCT-коэффициентов для отрезков аудио-сигналов приведенных на рис. 1.

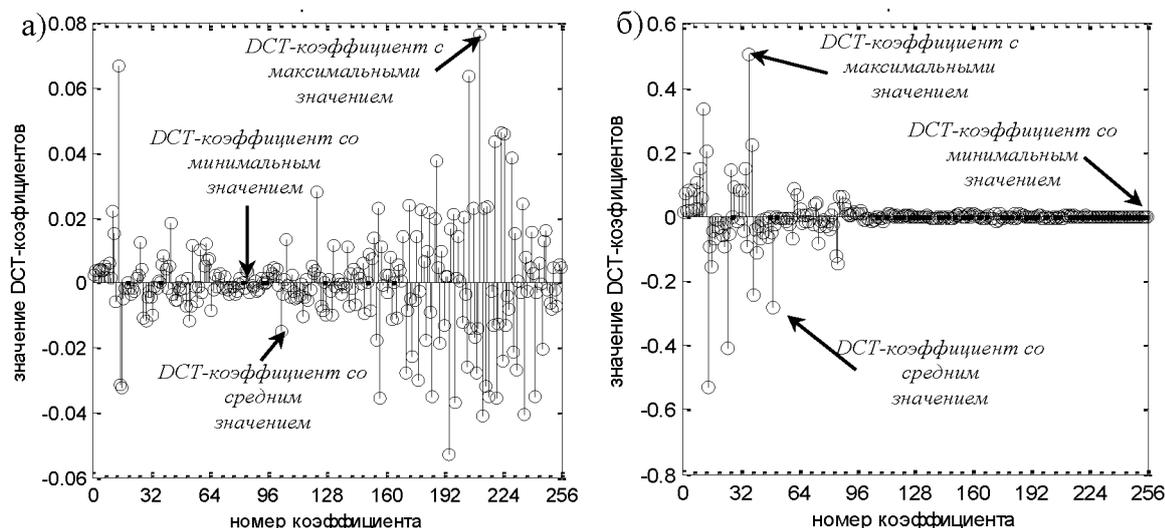


Рисунок 2 – Значения DCT-коэффициентов: а) звук «ш»; а) звук «о»

Среди рассчитанных DCT-коэффициентов (2), можно выделить компоненту определяемую согласно одного из правил:

– DCT-коэффициент имеющий минимальное значение:

$$\left(\|\vec{x}\|^2 - g_k^2\right) = \max_{k \in \{1, 2, \dots, N\}} \varepsilon. \quad (3)$$

– DCT-коэффициент близкий к среднему значению:

$$\left(\frac{2}{N} \cdot \|\vec{x}\|^2 - g_k^2\right) = \min_{k \in \{1, 2, \dots, N\}} \varepsilon. \quad (4)$$

– DCT-коэффициент имеющий максимальное значение:

$$\left(\|\vec{x}\|^2 - g_k^2\right) = \min_{k \in \{1, 2, \dots, N\}} \varepsilon. \quad (5)$$

Изложенный ниже порядок действий позволяет осуществить стеганографическое кодирование бита в DCT-коэффициенте:

Входные данные:

– бит кодируемой информации отрезка  $e_m \in \{-1, 1\}$ .

– длительность отрезка  $N$ .

– значения амплитуд отрезка:  $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_N)^T$ .

Выходные данные:

- значения амплитуд отрезка:  $\vec{y} = (y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_N)^T$ .

1. Разделим аудио-сигнал на отрезки  $\vec{x}$ , размером  $N$  отчетов.

2. Согласно преобразованию (1) рассчитаем для отрезка  $\vec{x}$  DCT-коэффициенты  $\vec{g} = (g_0, g_1, \dots, g_k, \dots, g_m, \dots, g_{N-1})^T$ , т.е. осуществим прямое DCT-преобразование.

3. Вычислим энергию отрезка

$$\|\vec{x}\|^2 = \sum_{i=1}^N x_i^2. \quad (6)$$

4. Согласно одному из правил (3)-(5) определим номер  $k$  DCT-коэффициентов в котором будем осуществлять кодирование.

5. Осуществляем кодирование бита информации  $e_m$ , посредством изменения знака DCT-коэффициента:

$$c_k = e_m \cdot \text{abs}(g_k). \quad (7)$$

где  $\text{abs}(\ )$  – операция отбрасывающая знак у числа;  $c_k$  – значение DCT-коэффициента

$$\vec{c} = (g_0, g_1, \dots, c_k, \dots, g_m, \dots, g_{N-1})^T;$$

6. Осуществляем обратное IDCT-преобразование:

$$y_i = \frac{1}{\sqrt{2}} g_0 + \sum_{m=1}^{k-1} g_m \cdot \cos\left(\frac{(2i-1)m\pi}{2N}\right) + c_k \cdot \cos\left(\frac{(2i-1)k\pi}{2N}\right) + \sum_{m=k+1}^{N-1} g_m \cdot \cos\left(\frac{(2i-1)m\pi}{2N}\right), \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (8)$$

Для определения эффективности работы метода используем показатели оценивающие искажения, вносимые в аудио-сигнал при кодировании предложенным подходом. Для выявления статистики, были посчитаны следующие метрики [4,5]:

Среднеквадратическая ошибка,  $MSE$  :

$$MSE = \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2, \quad (9)$$

где  $x_i$  - значение амплитуды исходного аудио-сигнала;  $y_i$  - значение амплитуды синтезированного аудио-сигнала.

Корреляция,  $\rho$  :

$$\rho = \frac{\left( \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \cdot \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}) \right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (10)$$

где  $\bar{x}$  – постоянная составляющая исходного аудио-сигнала;  $\bar{y}$  – постоянная составляющая синтезированного аудио-сигнала.

Оценку достоверности декодируемой информации, проведем исходя из вероятности ошибки ( $BER$ ) [4]:

$$BER = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left( \left( \text{sign}(e_m) + 1 \right) / 2 \right) \oplus \left( \left( \text{sign}(\tilde{e}_m) + 1 \right) / 2 \right). \quad (11)$$

где  $M$  - количество кодируемых бит;  $\oplus$  - операция «сумма по модулю два»;  $\text{sign}(\ )$  – операция выделения знака;  $\tilde{e}_m$  – декодируемый бит.

Для проверки работоспособности метода, основанного на DCT- преобразовании, использовались фрагменты аудио-сигнала с частотой дискретизации 8 кГц и разрядностью 16 бит [6]. Общая длительность речевого материала составила 23 минуты, с длительностью 0,032 с., (из материала были исключены отрезки

не содержащие энергию - паузы). В качестве шума были взяты  $10^9$  неповторяющихся отрезков ПСП. В результате моделирования было внедрено  $10^9$  бит, результаты моделирования представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Оценка достоверности

№	BER	Noise to signal			
		0.001	0.01	0.1	1
1	Максимальное, (3)	$\approx 0$	$\approx 0$	$\approx 0$	2,1646 E-5
2	Среднее (4)	$\approx 0$	$\approx 0$	2,4071 E-5	0,0396
3	Минимальное, (5)	0,1181	0,1230	0,1247	0,1252

Результаты скрытности внедренной информации приведены в табл. 2 для параметров моделирования приведенных выше.

Таблица 2 – Оценка скрытности

№	Принцип выбора коэффициентов	MSE	$\rho$
1	Максимальное, (3)	2.4277	0.8472
2	Среднее (4)	0.0287	0.9960
3	Минимальное, (5)	8.3411 E-8	0.9999

Приведенный алгоритм наиболее оптимален, с позиции учета частотных свойств аудио-сигнала, содержащего цифровое представление речи, так как решающее правило учитывает неравномерное распределение энергии по частотной полосе и восприятие звука человеком. Использование DCT-коэффициента со средним значением энергии, для скрытного кодирования информации, позволит на два порядка уменьшить изменения энергии в синтезируем отрезке аудио-сигнала.

#### Список использованных источников

- Digital watermarking and steganography. / Cox I., Miller M., Bloom J., Fridrich J., Kalker T.: Morgan Kaufmann, 2007.
- Жиликов Е. Г., Пашинцев В. П., Белов С. П., Лихолоб П. Г. О методе скрытного кодирования контрольной информации в речевые данные // Инфокоммуникационные технологии. – 2015. – Т. 13, № 3. – С. 325--333.
- Signal processing with lapped transforms. / Malvar H. S. – Boston: Artech House, 1992.
- Bandwidth extension of speech signals. / Iser B., Schmidt G., Minker W.: Springer Science & Business Media, 2008.
- Жиликов Е. Г., Лихолоб П. Г., Медведева А. А., Прохоренко Е. Н. Исследование чувствительности некоторых мер качества скрытия информации в речевых сигналах // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2016. – Т. 9, № 230. – С. 174-179.
- ГОСТ 16600-72. Передача речи по трактам радиотелефонной связи. Требования к разборчивости речи и методы артикуляционных измерений [Звукозапись] / ГОСТ 16600-72 ; исп.: Д.И. Библев. – Белгород: НИУ БелГУ, 2016. – 1380 сек. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/312167036\\_Recording\\_Gost\\_16600-72](https://www.researchgate.net/publication/312167036_Recording_Gost_16600-72) DOI: 10.13140/RG.2.2.33677.747203. Жиликов Е. Г., Лихолоб П. Г., Медведева А. А., Прохоренко Е. Н. Исследование чувствительности некоторых мер качества скрытия информации в речевых сигналах // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2016. – Т. 9, № 230. – С. 174-179.

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ КАФЕДРЫ В СРЕДЕ OPNET MODELER

**Ба Хала Ашраф Мохаммед Али**

г. Белгород, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет»,  
11.04.02 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

**Аннотация.** В статье рассматривается создание имитационной модели локальной сети связи в программе OpNet Modeler, предоставляющей широкие возможности моделирования сетей в графическом виде, что является одним из основных преимуществ, так как пользователь имеет возможность видеть как всю сеть в целом, так и, при необходимости, отдельные ее участки.