

5. Шароглазов Б.А., Фарафонов М.Ф., Клементьев В.В. Двигатели внутреннего сгорания: теория моделирование и расчет процессов. – Челябинск: ЮУрГУ, 2004. – 344 с.
6. Пилюхов В.И., Дорух И.В., Береснев А.Л., Береснев М.А. Решение о выдаче патента от 26.01.10 на полезную модель №2009148514 «Система зажигания автомобиля».
7. Береснев А.Л., Береснев М.А. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2010610643 от 15.01.10 «Программа расчета параметров рабочего цикла двигателя внутреннего сгорания».

Береснев Максим Алексеевич

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: toe@tsure.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634393750.

Beresnev Maksim Alekseevich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: toe@tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 88634393750.

УДК 681.3.069

В.А. Каграманянц

**МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ КОМПРЕССИИ АУДИОСИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ
ОПТИМИЗИРОВАННЫХ ДЕЛЬТА-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ВТОРОГО
ПОРЯДКА**

В статье рассматривается метод повышения степени компрессии аудиосигналов, закодированных при помощи оптимизированного дельта-преобразования второго порядка со сглаживанием.

Компрессия; аудио; дельта-преобразование.

V.A. Kagramanyants

**A METHOD OF INCREASED COMPRESSION OF AUDIO-SIGNALS BASED
ON OPTIMIZED DELTA-TRANSFORMATIONS OF SECOND ORDER**

The paper discusses a method of increasing compression ratio of audio signals, encoded with optimized delta-modulation of second order with anti-aliasing.

Compression; audio; delta-transformation.

Постоянно увеличивающиеся объемы передаваемых по коммуникационным каналам мультимедийных данных вызывают необходимость разработки методов эффективной компрессии сигналов для обеспечения кодирования и декодирования аудио- и видеоданных в реальном времени, что особенно актуально для многоканальных систем.

Известен метод компрессии аудиосигналов, основанный на дельта-преобразованиях второго порядка и отличающийся малой вычислительной трудоемкостью, суть которого состоит в следующем [1]. Входной сигнал в виде последовательности отчетов импульсно-кодовой модуляции, разделенной во временной области на неперекрывающиеся фрагменты (окна), поступает на вход кодера. Для

каждого окна производится расчет веса кванта преобразования и выбирается промежуточная частота дискретизации. Условия стыковки и начальные условия соседних аудиофрагментов пересчитываются в зависимости от соотношения весов квантов цифрового преобразования и значений промежуточных частот дискретизации. После этого к звуковым отсчетам фрагмента применяется алгоритм оптимизированного дельта-преобразования второго порядка со сглаживанием, который может быть представлен в следующем виде [1]:

$$\left. \begin{aligned} z_i &= Y_i - y_i; \\ \nabla Y_i &= Y_i - Y_{i-1}; \\ \nabla y_{i-1}^* &= \frac{y_{i+n} - y_i}{n}; n \geq 1; \\ \nabla z_i^* &= \nabla Y_i - \nabla y_{i-1}^*; \\ \Delta_{i+1} &= -\text{sign}(z_i + 1.5\nabla z_i^* + (0.5\nabla z_i^{*2}/c - 0.125c)\text{sign}(\nabla z_i^*)); \\ c^* &\geq c; \quad c > 0; \end{aligned} \right\}$$

где $y_i = y(t_i)$, $i = 0, 1, 2, \dots$ – значения амплитуды входного сигнала, Y_i – значения аппроксимирующей функции, z_i – ошибка преобразования, c^* – постоянная величина, определяющая вес модуля кванта преобразования.

Выбор веса кванта преобразования оказывает влияние на возникновение перегрузок по крутизне и появление шума квантования. Ошибка, связанная с перегрузкой по крутизне, коррелирована с исходным сигналом и имеет составляющие, идентичные по частоте и близкие по фазе основным компонентам входного сигнала [2, 3]. Это ослабевает влияние перегрузки по крутизне на качество кодирования. Шум квантования практически не коррелирован с исходным сигналом и, следовательно, намного более заметен для слушателя, чем шум перегрузки по крутизне при эквивалентном уровне мощности [3, 4].

Принцип кодирования звуковых данных по отдельным фрагментам позволяет выбрать наилучшую величину веса кванта преобразования для каждого из фрагментов, которые, в свою очередь, отличаются различной интенсивностью изменения исходных амплитуд аудиоданных. В качестве метода определения веса модуля кванта преобразования c^* можно воспользоваться следующими соотношениями [1]:

$$\begin{aligned} \xi_{n, cp} &\approx \nabla^2 y_{n, cp}; \\ c_n^* &= \frac{\xi_{n, cp}}{\kappa}; \\ \kappa &= 0, 2 \div 0, 3, \end{aligned}$$

где $\nabla^2 y_{n, cp}$ – среднее значение $\nabla^2 y$ на фрагменте n , а $\xi_{n, cp}$ – среднее значение максимального уровня наихудших воздействий на этом фрагменте.

Частота дискретизации в процессе всей продолжительности преобразований может быть постоянной. Однако использование управления промежуточной частотой дискретизации в процессе компрессии и передачи информации имеет следующие преимущества:

- ◆ повышение компрессии при достаточном качестве кодирования;

- ◆ обеспечение наилучшего качества кодирования при допустимой степени компрессии;
- ◆ обеспечение компрессии, соответствующей текущей пропускной способности сети передачи данных при возможном временном ухудшении или улучшении качества кодирования.

Формирование промежуточной частоты дискретизации (поддискретизации), и как следствие, управление качеством кодирования и скоростью выходного битового потока кодера возможно посредством добавления промежуточных отсчетов (учащения) во фрагменты звуковых данных путем интерполяции или удаления отсчетов звуковых данных из аудиофрагмента (прореживание).

На принимающей стороне полученные компрессированные данные, представляющие собой дельта-последовательность – последовательность знаков квантов цифрового преобразования (дельта-бит), – передаются в декодер, который выполняет восстановление значений отсчетов аудиофрагмента следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \nabla^2 Y_{i+1} &= c^* \Delta_{i+1}; \\ \nabla Y_{i+1} &= \nabla Y_i + \nabla^2 Y_{i+1}; \\ Y_{i+1} &= Y_i + \nabla Y_{i+1}; \end{aligned} \right\}$$

где Y_i – предыдущее значение аппроксимирующей функции, Y_{i+1} – текущее значение аппроксимирующей функции, ∇Y_{i+1} и $\nabla^2 Y_{i+1}$ – первая и вторая разности соответственно. Типичный вид исходного аудиосигнала и сигнала, восстановленного после дельта-преобразования со сглаживанием, представлен на рис. 1.

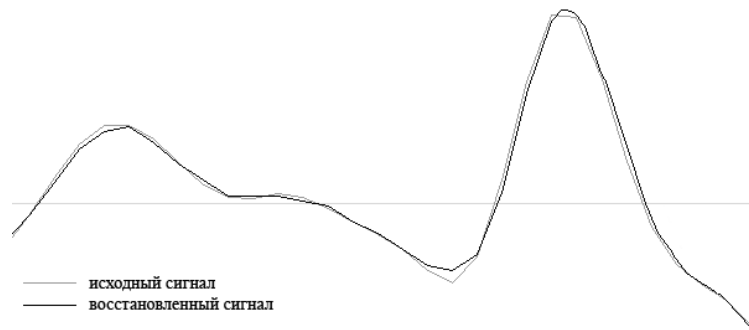


Рис. 1. Исходный аудиосигнал и сигнал, восстановленный после дельта-преобразования со сглаживанием (по оси абсцисс – время, по оси ординат – амплитуда сигнала)

К достоинствам указанного метода следует отнести малую вычислительную трудоемкость, а к недостаткам – степень компрессии, уступающую другим известным методам. Одной из особенностей дельта-последовательности является близость распределения дельта-бит к равновероятному, что затрудняет дальнейшее сжатие последовательности. Поэтому актуальной является задача исследования возможности повышения степени компрессии дельта-последовательности.

В данной работе предлагается метод повышения степени компрессии без существенного снижения качества декодированного сигнала и повышения вычислительной трудоемкости алгоритма.

Разобьем исходную дельта-последовательность на 4-битные отрезки. Экспериментальные исследования свидетельствуют о том, что распределение вероятностей появления этих отрезков примерно одинаково для подавляющего большинства различных дельта-последовательностей (рис. 2).

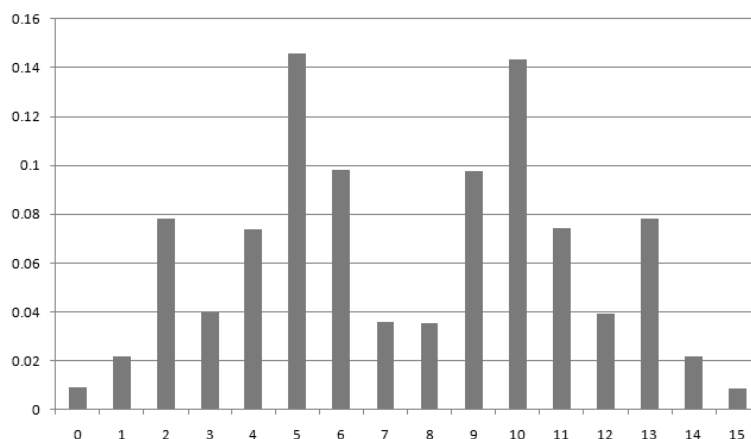


Рис. 2. Типичный вид распределения вероятностей появления 4-битных отрезков в дельта-последовательности (по оси абсцисс номером от 0 до 15 обозначен условный номер 4-битного отрезка)

Однако разброс значений вероятности появления различных 4-битных отрезков невелик, что не позволяет эффективно воспользоваться энтропийными методами кодирования данных.

Так, например, кодирование кодом Хаффмана оказывается малоэффективным. Теоретическая энтропийная оценка показывает, что в идеальном случае экономия при дополнительной компрессии составит не более 8–9 %. Реальная экономия будет еще меньше, поскольку кодирование кодом Хаффмана подразумевает, что значения вероятностей должны примерно соответствовать отрицательным степеням числа "2". В то же время реальные значения вероятности для 4-битных отрезков дельта-последовательности не соответствуют этому правилу. В этом случае код Хаффмана дает отличие от теоретической оценки не более чем 1 бит на 1 символ, что является существенным для рассматриваемой длины символа 4 бита.

С целью повышения степени дополнительной компрессии предлагается метод модификации исходной дельта-последовательности, не приводящий к заметному снижению качества выходного аудиосигнала. Среди 16 возможных 4-битных отрезков дельта-последовательности существуют пары отрезков, дающие при декодировании идентичные значения первой производной сигнала и значения амплитуды сигнала, отличающиеся не более чем на вес модуля кванта преобразования c^* при условии совпадения начальных условий.

Поэтому появляется возможность кодировать такие пары отрезков одним символом, что приводит к сокращению количества различных отрезков-символов с 16 до 11. При этом алгоритм оптимизированного дельта-преобразования второго порядка со сглаживанием без каких-либо модификаций автоматически обрабатывает указанное выше отклонение амплитуды сигнала (рис. 3).

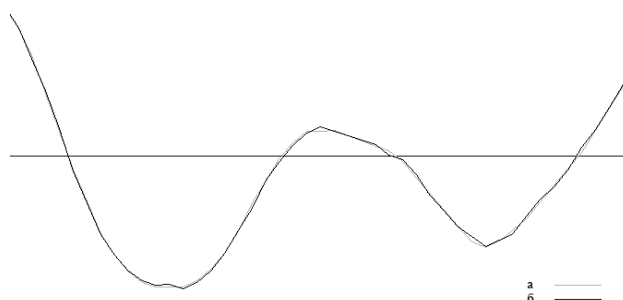


Рис. 3. сравнение изменения формы аудиосигнала при модификации дельта-последовательности: а) восстановленный сигнал после обычного дельта-преобразования, б) восстановленный сигнал после модификации исходной дельта-последовательности (по оси абсцисс – время, по оси ординат – амплитуда сигнала)

Благодаря этому рассматриваемый метод модификации дельта-последовательности приводит к незначительному ухудшению качества декодированного аудиосигнала. Полученный сокращенный алфавит из 11 символов затем кодируется с применением методов статистического кодирования с учетом распределения вероятностей символов.

Экспериментальная проверка рассмотренного метода модификации дельта-последовательности показывает обеспечение дополнительной экономии кодирования в 20-25% при снижении отношения сигнал/шум выходного аудиосигнала около 1 дБ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кравченко П.П. Основы теории оптимизированных дельта-преобразований второго порядка. Цифровое управление, сжатие и параллельная обработка информации: Монография. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008. – 194 с.
2. Венедиктов М.Д., Желевский Ю.П., Марков В.В., Эйдус Г.С. Дельта-модуляция. Теория и применение. – М.: Связь, 1976. – 224 с.
3. Стил Р. Принципы дельта-модуляции / Под ред. В.В. Маркова. – М.: Связь, 1979. – 368 с.
4. Феер К. Беспроводная цифровая связь. – М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.

Каграманянц Виктор Александрович

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

Email: vict@mopevm.tsure.ru.

347928, г. Таганрог, Некрасовский, 44.

Тел.: 88634314945.

Kagramanyants Alexandrovich Victor

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

Email: vict@mopevm.tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 88634314945.