

УДК 681.3.069

П.П. Кравченко, В.А. Каграманянц

ОПТИМИЗИРОВАННЫЕ ДЕЛЬТА-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА И КОМПРЕССИЯ АУДИОСИГНАЛОВ

Рассматривается метод компрессии аудиосигналов, основанный на оптимизированных дельта-преобразованиях второго порядка со сглаживанием и предлагается метод повышения компрессии, не приводящий к существенному снижению качества декодированного сигнала и повышению вычислительной трудоемкости алгоритма.

Компрессия; аудио; дельта-преобразование.

P.P. Kravchenko, V.A. Kagramanyants

OPTIMIZED SECOND-ORDER DELTA-TRANSFORMATIONS AND AUDIO COMPRESSION

This paper discusses a method of audio compression, based on optimized second-order delta-transformations and proposes an approach of increasing compression ratio without significant decrease of decoded audio quality or increase of computational complexity.

Compression; audio; delta-modulation.

С развитием телекоммуникационных технологий все большее внимание уделяется разработке методов эффективной компрессии аудио- и видеоданных в реальном времени. Особую актуальность эта задача представляет для многоканальных систем. Известно множество методов кодирования аудиосигналов, отличающихся качественными характеристиками, вычислительной трудоемкостью, уровнем компрессии и т.д. Среди методов, отличающихся малой вычислительной трудоемкостью, особый интерес представляет основанный на дельта-преобразованиях второго порядка. Суть данного метода состоит в следующем [1].

Входной оцифрованный поток аудиоданных поступает в кодер в виде набора отсчетов импульсно-кодовой модуляции, разделенных во временной области на фрагменты (окна). В кодере производится расчет веса кванта преобразования и выбирается промежуточная частота дискретизации. Условия стыковки и начальные условия соседних аудио-фрагментов пересчитываются в зависимости от соотношения весов квантов цифрового преобразования и значений промежуточных частот дискретизации. Затем к отсчетам применяется алгоритм оптимизированного дельта-преобразования второго порядка со сглаживанием, который может быть представлен в следующем виде:

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

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 производится для каждого окна отдельно. Для 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.

Выбранное значение веса кванта оказывает влияние на проявление шума квантования и на характер перегрузок по крутизне. 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], что ослабляет 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].

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 аудио-фрагмента 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 и ∇Y_i – значения аппроксимирующей функции и ее приращения на предыдущем шаге, $\nabla^2 Y_{i+1}$ – вторая разность на текущем шаге, Y_{i+1} и ∇Y_{i+1} – текущие значения аппроксимирующей функции и ее приращения.

Описанный выше метод обладает низкой вычислительной трудоемкостью в сравнении с другими методами компрессии аудио, что особенно характерно для декодирования (2 базовых операции сложения). В то же время, к недостаткам можно отнести сравнительно более низкую степень компрессии, уступающую многим известным методам. Поэтому актуальной является задача исследования возможности повышения результирующей степени компрессии метода на основе дельта-преобразований второго порядка.

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

Исходная дельта-последовательность рассматривается как последовательность отрезков длиной 4 бита. Экспериментальные исследования показывают, что распределение вероятностей появления этих отрезков примерно одинаково для подавляющего большинства различных дельта-последовательностей. Тем не менее, разброс значений вероятности появления различных 4-битных отрезков невелик, что не позволяет эффективно воспользоваться энтропийными методами кодирования данных.

С целью повышения степени компрессии предлагается следующий метод модификации исходной последовательности, не приводящий к заметному снижению качества выходного аудиосигнала.

Поскольку длина отрезка равна 4 битам, то существует 16 возможных типов таких отрезков. Среди этих 16 отрезков встречаются такие пары отрезков, которые дают при декодировании идентичные значения первой производной сигнала и значения амплитуды сигнала, отличающиеся не более чем на вес модуля кванта преобразования s^* при условии совпадения начальных условий. В этом случае появляется возможность кодировать такие отрезки одним символом, что приводит к сокращению общего числа отрезков-символов с 16 до 11. При этом исходный алгоритм оптимизированного дельта-преобразования второго порядка со сглаживанием без каких-либо модификаций автоматически обрабатывает указанное выше отклонение амплитуды сигнала. Благодаря этому, рассматриваемый метод модификации дельта-последовательности приводит к незначительному ухудшению качества декодированного аудиосигнала.

Полученный сокращенный алфавит из 11 символов с учетом распределения их вероятностей затем кодируется с применением специального метода статистического кодирования. Вводимое усложнение алгоритма позволяет сохранить вычислительную трудоемкость на достаточно низком уровне.

Проведенные эксперименты показывают, что предложенный метод модификации дельта-последовательности позволяет обеспечить дополнительное повышение степени компрессии на 20-25% при снижении отношения сигнал/шум 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.

Кравченко Павел Павлович

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

E-mail: kravch@tsure.ru.

347928, Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634314945.

Каграманянц Виктор Александрович

E-mail: vict@mopevm.tsure.ru.

Тел.: 88634371746.

Kravchenko Pavel Pavlovich

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

E-mail: kravch@tsure.ru.

44, Nekrasovski, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634314945.

Victor Alexandrovich Kagramanyants

E-mail: vict@mopevm.tsure.ru.

Phone: +78634371746.