

СПОСОБ СЖАТИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРАНСФОРМАНТ ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УОЛША НА ОСНОВЕ МАССИВОВ ПЕРЕМЕННОЙ РАЗРЯДНОСТИ

Ю.В. Данюк

(представил д.т.н., проф. В.А. Краснобаев)

Предложен способ сжатия трансформанты Уолша, позволяющий сократить избыточность информации при кодировании речевых сигналов за счет использования массивов переменной разрядности.

Постановка проблемы. В методах сжатия информации, основанных на ортогональных преобразованиях, актуальной является задача выбора способа кодирования трансформанты, полученной в результате прямого преобразования. От выбранного способа зависит объем цифрового представления трансформанты.

Обзор литературы. В [1, 2] стандартными способами кодирования коэффициентов трансформант ортогональных преобразований считаются коды Шеннона-Фанно и Хаффмана. Данным кодам характерно свойство, которое состоит в том, что при кодировании сигнала, имеющего 2^n возможных значений, максимальная длина кодовой комбинации составит 2^{n-1} разрядов [3]. Это приводит к уменьшению коэффициента сжатия.

Целью статьи является разработка способа сжатия коэффициентов трансформант преобразования Уолша на основе массивов переменной разрядности, который позволит уменьшить максимальную длину кодовой комбинации, что приведет к увеличению коэффициента сжатия.

При разработке способа было проведено исследование трансформант преобразования Уолша, полученных на основе исходных данных, которые представляют собой речевые сигналы с одинаковыми параметрами: частота дискретизации $f_d = 8000$ Гц, количество каналов – 1, количество бит на один отсчет – 8. Исследование проводилось на наборе речевых фрагментов различных людей в количестве 150 человек с указанными параметрами. Анализ полученных трансформант показал, что значительная часть коэффициентов имеет значения, для кодирования которых необходима разрядная сетка различной длины. Причем, как правило, эта длина значительно меньше исходной. Например, при кодировании речевых сигналов при длине блока в 16 отсчетов для представления коэффициентов

трансформанты достаточно 3 – 5 разрядов вместо исходных 8 (рис. 1). Следует также отметить, что в данном случае не учтен первый коэффициент преобразования, так как для его представления необходимо больше, чем 8 разрядов. Поэтому для представления первого коэффициента предполаг:

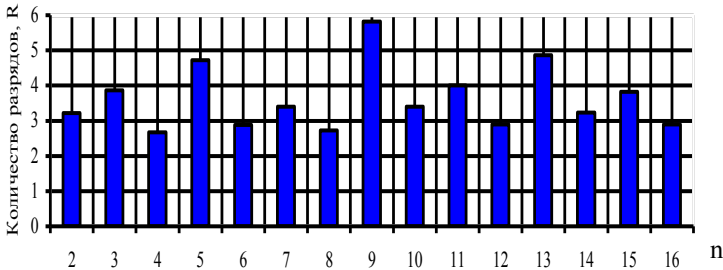


Рис. 1. Зависимость среднего количества разрядов, необходимых для представления коэффициентов трансформанты преобразования Уолша при длине блока 16 от номера коэффициента трансформанты n

После прямого преобразования Уолша [5] из полученного массива коэффициентов трансформанты mkt , соответствующего определённой области исходного сигнала, формируется одномерный массив модулей коэффициентов трансформанты mmt :

$$mmt_i = |mkt_i|, \quad (1)$$

Информация о знаке коэффициентов трансформант сохраняется в массиве однобитных чисел mzt в виде:

$$mzt_i = \begin{cases} 0, & \text{если } mkt_i < 0; \\ 1, & \text{если } mkt_i > 0, \end{cases} \quad (2)$$

где mkt_i – i -й коэффициент трансформанты; $i \in (2; N)$; N – длина обрабатываемого блока.

Массив значений модулей трансформант mmt разбивается на массивы переменной разрядности mpr^i , значения которых формируются как:

$$mpr_j^i = \begin{cases} \text{маркер,} & \text{если } mmt_k \geq 2^i; \\ mmt_k, & \text{если } 2^{i-1} \leq mmt_k < 2^i, \end{cases} \quad (3)$$

где mpr_j^i – массив значений переменной разрядности; mmt_k – массив модулей коэффициентов трансформант; k – порядковый номер значения массива модулей трансформант; $k \in (2; N)$, где N – длина обрабатываемого блока; i – разрядность чисел массива; $i \in (1; R_{\max})$; R_{\max} – максимальная разрядность модулей коэффициентов; j – порядковый номер

значения массива mpr_j^i ; $j \in 1 \dots n_{i-1} - n^{i-1}$; n_{i-1} – общее число значений в предыдущем массиве разрядности $i - 1$; n^{i-1} – число информационных значений в массиве разрядности $i - 1$.

Наличие информационного ограничителя в массиве разрядности i указывает на то, что на его месте должно находиться значение из массива разрядности $i + 1$. В качестве информационного ограничителя должна быть использована одна из разрешенных кодовых комбинаций при условии принятия мер, исключающих её появление в исходном наборе данных. Предлагается использовать в качестве информационного ограничителя 0 (ноль). Следовательно, во всех значениях массива модулей трансформант mmt должны отсутствовать нули. Для достижения такого результата предлагается воспользоваться свойством преобразования Уолша, суть которого состоит в том, что после прямого преобразования все коэффициенты трансформанты являются одновременно либо четными, либо нечетными [4]. Чтобы использовать в качестве маркера ноль, необходимым и достаточным условием является нечетность всех коэффициентов трансформанты. Для этого перед прямым преобразованием необходимо произвести оценку входящего блока на четность и при необходимости внести изменения, воспользовавшись правилом

$$x_1 = \begin{cases} x_1 - 1, & \text{если все числа четные(нечетные);} \\ x_1 - 1, & \text{четных и нечетных чисел четное количество;} \\ x_1, & \text{если четных и нечетных чисел нечетное количество,} \end{cases} \quad (4)$$

где x_1 – первый отсчет исходного блока.

Для точного восстановления информации на приемной стороне необходимо в структуре передаваемого блока предусмотреть место для маркера четности размером в один бит. За счет введения этого маркера на приемной стороне при необходимости будет корректироваться значение x_1 .

Разделение маркера и информационных кодовых комбинаций осуществляется за счёт того, что любая кодовая комбинация, отвечающая условию $2^{i-1} \leq \text{mmt}_k < 2^i$, имеет единицу в старшем разряде и все числа массивов mpr в пределах одного уровня имеют одинаковую разрядность.

Исключение из числа информационных кодовых комбинаций значения равного нулю путем внесения изменений в исходный сигнал, приводит к тому, что в распоряжении разработчика имеется единственная кодовая комбинация длиной в один разряд – единица. Поэтому существует возможность сопоставления данной кодовой комбинации наиболее часто встречающемуся значению коэффициентов трансформант. Значение единицы может быть использовано также для представления 3 (тройки), так как это будет единственным числом, для представления которого необходимо два разряда, а для представления 5 и 7 можно использовать 2 и 3 соответственно и т.д. Таким обра-

зом, при кодировании каждого символа будет выделяться на один бит меньше. На рис. 1 приведено распределение в процентах значений коэффициентов трансформант преобразования Уолша с учетом правила (4).

Таблица 1

Распределение модулей коэффициентов трансформант преобразования Уолша

Длина блока	Средний процент значений									
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
4	48,19	13,96	6,68	4,50	3,33	2,61	2,12	1,78	1,52	1,31
8	36,42	15,35	7,66	5,04	3,61	2,81	2,29	1,91	1,66	1,45
16	27,39	15,17	8,09	5,36	3,97	3,14	2,66	2,19	1,88	1,66
32	20,16	14,12	8,47	5,56	4,11	3,24	2,68	2,28	1,97	1,74
64	14,48	11,79	8,44	5,86	4,32	3,36	2,75	2,34	2,05	1,82

Приведенное распределение получено экспериментальным путём с использованием тестового набора речевых сигналов. Из приведенного распределения следует, что наиболее часто встречающимся значением трансформант преобразования Уолша является значение равное 1 (единице).

Рассмотрим в качестве примера массив mkt , состоящий из 7 значений, каждое значение массива может быть представлено с использованием разрядной сетки длиной не более 3 разрядов: $mkt = \{1, 5, 1, 7, 3, 3, -1\}$.

Сформируем массив знаков mzt и массив модулей mmt :

$$mzt = \{1, 1, 1, 1, 1, 1, 0\}; mmt = \{1, 5, 1, 7, 3, 3, 1\}.$$

Из массива mmt , значения которого представляются с использованием разрядной сетки длиной не более 3 разрядов, формируем 3 массива переменной разрядности $mrg\ i$, значения которых представляются с использованием разрядных сеток длиной 1 и 2 разряда:

$$mrg^1 = \{1, 0, 1, 0, 0, 0, 1\}; mrg^2 = \{0, 0, 1, 1\}; mrg^3 = \{2, 3\}.$$

Схема алгоритма формирования массивов переменной разрядности приведена на рис. 2. Объем V_w цифрового представления одного блока речевого сигнала подвергнутого дискретному преобразованию Уолша и закодированного с использованием предлагаемого способа кодирования составит

$$V_w = V_0 + V_z + V_{tr}, \quad (5)$$

где V_0 – объём цифрового представления постоянной составляющей; V_z – объём цифрового представления матрицы знаков; V_{tr} – объём цифрового представления трансформанты, без постоянной составляющей.

Объём V_{tr} может быть определён следующим образом

$$V_{tr} = n_1 + m\Gamma_1 + \sum_{i=2}^{R_{\max}} n_i \cdot (i-1) + m\Gamma_i, \quad (6)$$

где n_i – количество информационных символов массиве разрядности i ; $m\Gamma_i$ – количество информационных ограничителей в массиве разрядности i .

Коэффициент сжатия блока длиной N составит:

$$K_{сж} = V/V_w = (N-1) \cdot r / \left(V_0 + V_z + n_1 + mr_1 + \sum_{i=2}^{R_{max}} n_i(i-1) + mr_i \right), \quad (7)$$

где V – объём цифрового представления исходного блока; r – разрядность исходных данных.

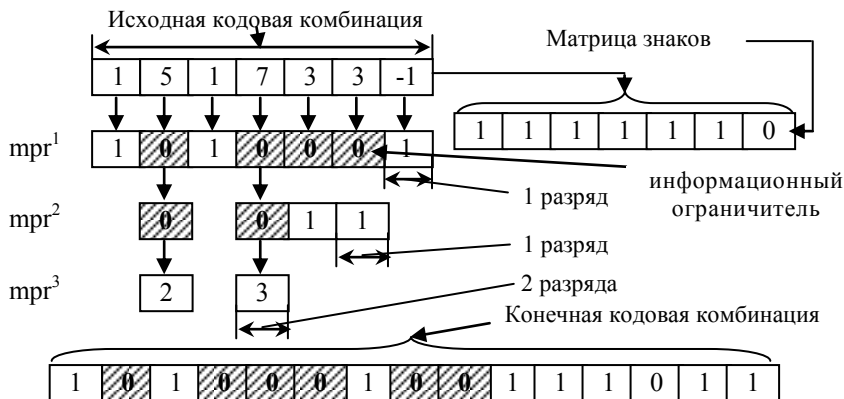


Рис. 2. Схема алгоритма формирования массивов переменной разрядности

Для приведённых в табл. 1 распределений средних значений трансформант средний коэффициент сжатия $K_{сж} = 2,65$.

Вывод. Разработанный способ сжатия коэффициентов трансформанты дискретного преобразования Уолша на основе массивов переменной разрядности обеспечивает средний коэффициент сжатия на 4 – 15% по сравнению с кодами Хаффмана и Шеннона-Фанно. Априорно можно утверждать, что низкая вычислительная сложность и простота в реализации способа позволяют строить на его основе новые методы компактного представления аудиоданных с более высокими коэффициентами сжатия по сравнению с существующими.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ватолин Д.С. Алгоритмы сжатия изображений. – М.: МГУ, 1999. – 76 с.
2. Прэнтт У. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1985. – 736 с.
3. Зелинский С. В цифровых тисках // Спир. – 2001. – № 9. – С. 56 – 60.
4. Данюк Ю.В., Колмыков М.Н. Исследование базиса преобразования Уолша // Зб. наук. праць ІПМЕ. – К.: ІПМЕ, НАНУ. – Вип. 25. – 2004. – С. 24 – 26
5. Бондарев В.Н., Трестер Г., Чернега В.С. Цифровая обработка сигналов: методы и средства. – Х.: Конус, 2001. – 398 с.

Поступила 17.08.2004

ДАНЮК Юрий Владимирович, адъюнкт ХУ ВС. В 2000 году окончил ХВУ. Область научных интересов – обработка и передача информации.
