

УДК 621.376.56

О. А. Гомцяц

Национальный политехнический университет Армении

Моделирование распределения числа символов двоичного сигнала дельта-модуляции

Рассмотрены возможности использования дельта-модуляции в качестве аналого-цифрового преобразования на первой ступени новой каскадной кодирующей конструкции, разработанной для цифровых систем обработки информации. Выбор дельта-модуляции обоснован ее простотой по сравнению с другими видами аналого-цифрового преобразования, помехозащищенностью и, самое главное, низкой вероятностью появления пачек символов. Последнее свойство, а также применение перемежителя на следующих стадиях многокаскадного кодирования, позволяют существенно улучшить характеристики цифровых систем обработки информации. Приведены распределения пачек символов для различных входных сигналов и алгоритмов дельта-модуляции.

Дельта-модуляция, вероятность распределения пачек символов, каскадная кодовая конструкция, перемежитель

При передаче информации по сильно зашумленным каналам, особенно в условиях ограниченной мощности сигнала (например, в спутниковых каналах связи, радиорелейных системах и т. п.), существует высокая вероятность образования пакетов ошибок. Эффективным методом борьбы с такими пакетными ошибками является применение сложных кодирующих схем, в которые входят перемежители.

В отличие от классической схемы, впервые рассмотренной в [1], автором настоящей статьи предложена новая каскадная кодирующая конструкция, показанная на рис. 1 [2], [3], где 1 – источник информации; 2 – аналого-цифровое преобразование (АЦП); 3 – компрессия; 4 – шифрование; 5 – помехоустойчивое кодирование; 6 – перемежение; 7 – линейное кодирование; 8 – канал связи; 9 – линейное декодирование; 10 – деперемежение; 11 – помехоустойчивое декодирование; 12 – дешифрование; 13 – декомпрессия; 14 – цифроаналоговое преобразование; 15 – потребитель информации.

Новшествами этой схемы являются применение дельта-модулятора на уровне 1, а также использование перемежителя на уровне 5 после помехоустойчивого кодера.

Постановка задачи. В общем случае наиболее распространенным методом АЦП в системах обработки информации являются импульсно-кодовая модуляция (ИКМ) и некоторые ее разновидности, например адаптивная дифференциальная ИКМ (АДИКМ). Многочисленные исследования показывают, что с АДИКМ может конкурировать адаптивная дельта-модуляция (АДМ) по ряду параметров, таких, как примерно в полтора раза более низкая тактовая частота; меньшая чувствительность к ошибкам трансформации и сдвигания символов, поскольку погрешность декодирования составляет всего лишь один шаг квантования, и др. [4], [5]. Причем с помощью АДМ обеспечивается приемлемое качество телефонной связи даже при вероятности ошибки символа 10^{-3} .

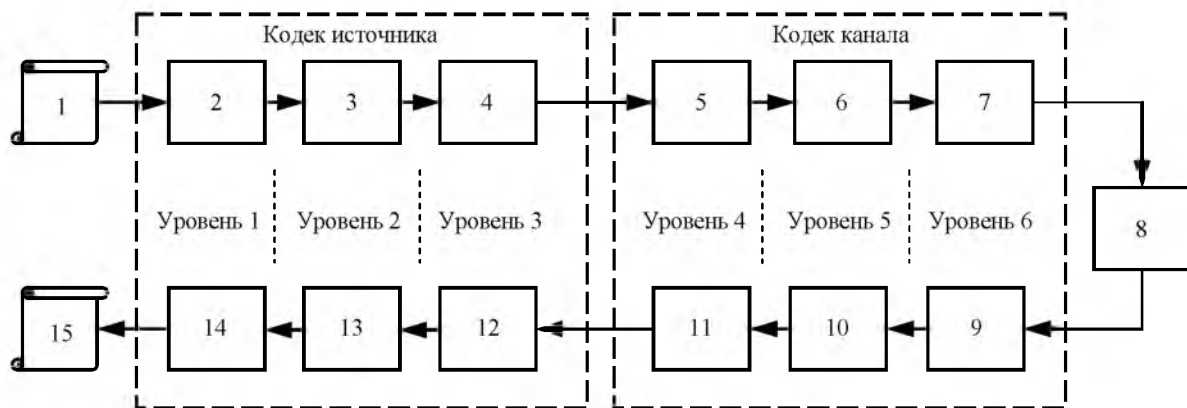


Рис. 1

Напротив, при ИКМ ошибка декодирования может достигать до половины динамического диапазона сигнала, а при АДИКМ имеет амплитуду, соответствующую пиковому значению первой разности входного сигнала. Поэтому для них допустимая вероятность ошибки составляет не более 10^{-6} .

Для более детального сравнения различных видов АЦП приведем таблицу, которая составлена по данным, заимствованным из [4], [6], а также в результате анализа большого количества других литературных источников. В таблице использованы следующие сокращения: LPC – linear predictive coding – линейное кодирование с предсказанием; RPE-LTP – regular pulse excitation – long time prediction – регулярное импульсное возбуждение с долговременным предсказанием; CELP – code excited linear prediction – линейное предсказание с кодовым возбуждением; MOS – mean opinion scores – средняя экспертная оценка; G711 и G721 – стандарты ИТУ-Т. Сравнение представленных методов кодирования ведется относительно сложности кодера ИКМ, принятого за единицу.

Как видно из таблицы, при сравнении рассмотренных кодеров по средней скорости передачи, MOS, и особенно по сложности реализации, можно отдать предпочтение дельта-модуляции (ДМ).

Еще одним показателем для сравнения различных видов кодеров является структура цифрового сигнала, т. е. импульсной последовательности на выходе АЦП. Структура импульсной последовательности – некоторое расположение символов этой последовательности на временной оси, которое зависит от характеристик передаваемых сигналов и метода АЦП [5], [7]. В импульсной последовательности могут быть как одиночные символы, так и пакеты (пакеты), содержащие некоторое количество подряд идущих символов одной полярности, разделенных символами другой полярности. Обычно эта структура случайная и характеризуется вероятностью появления символов. Появление таких пакетов затрудняет декодирование сигнала на последующих этапах многоуровневой схемы, поскольку многие помехоустой-

чивые коды наиболее эффективны в случае статистически независимых канальных ошибок, например для канала с аддитивным "белым" гауссовским шумом (АБГШ). В каналах с многолучевым распространением, подверженным замираниям, наблюдается снижение мощности сигнала, в результате чего появляется большое число ошибок, которые группируются в пакеты. С другой стороны, при записи информации дефекты в записывающей среде также приводят к появлению пакетов ошибок. Поэтому важное значение имеет исследование структуры двоичного ДМ-сигнала с целью выявления вероятности появления пакетов символов.

Далее приведены результаты моделирования цифрового сигнала ДМ при ее различных входных сигналах и методах.

Результаты исследований. Наибольший интерес представляет исследование преобразования речевого сигнала линейным и адаптивным дельта-модуляторами, и в частности распределения длины пакетов одинаковых символов при входном стационарном и нестационарном речевых сигналах.

На рис. 2 и 3 приведены зависимости вероятностей $F(l)$ появления пакетов из l импульсов одинаковой полярности на выходе линейного дельта-модулятора (ЛДМ) при стационарном и нестационарном входном сигналах соответственно в зависимости от их мощности P_c .

При расчетах частота дискретизации принята равной 48 кГц, что при ДМ численно совпадает со скоростью передачи в 48 кбит/с. Подробное описание алгоритмов моделирования сигналов и систем с ДМ можно найти в [5], [7].

Распределение пакетов импульсов имеет закономерность, заключающуюся в том, что с увеличением мощности входного сигнала наступает перегрузка по крутизне и на выходе дельта-модулятора пакеты с большим числом символов появляются чаще. Результаты исследований, проведенные для других тактовых частот, подтверждают эту закономерность.

Рис. 4 и 5 демонстрируют зависимости распределения пакетов импульсов для АДМ в случае

Метод и уровень кодирования	Реализация кодирования	Скорость передачи, кбит/с	MOS	Условная сложность реализации
Кодеры формы волны (уровень 2)	ИКМ, G711	64	4.0	1
	АДИКМ, G721	32	3.7	10
	АДМ	32	3.6	0.3
Гибридный кодер (уровень 3)	RPE-LTP, основной кодер GSM	13	3.5	30
Гибридный кодер (уровень 3)	CELP	4.8	3.2	30...100
Кодер с линейным предсказанием (уровень 3)	Кодирование с линейным предсказанием – LPC10 (Федеральный стандарт США)	2.4	2.9	50

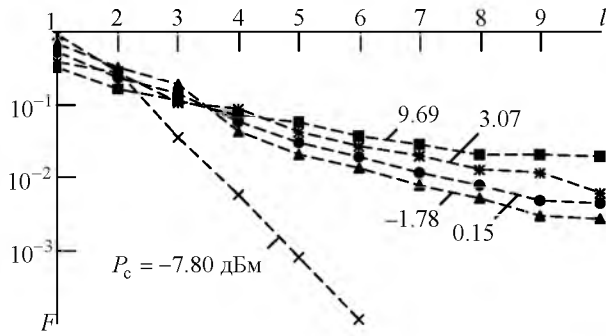


Рис. 2

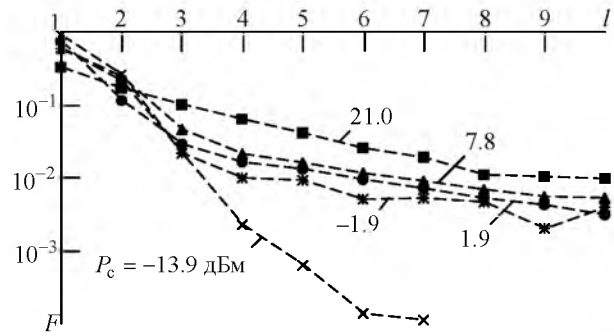


Рис. 3

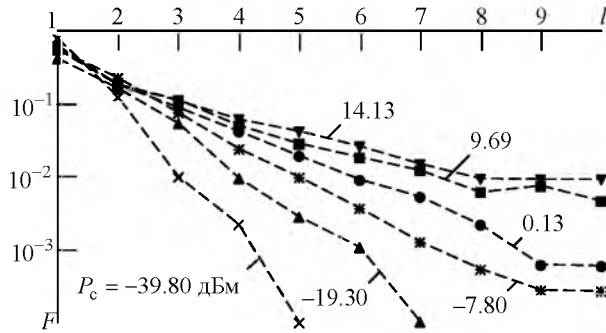


Рис. 4

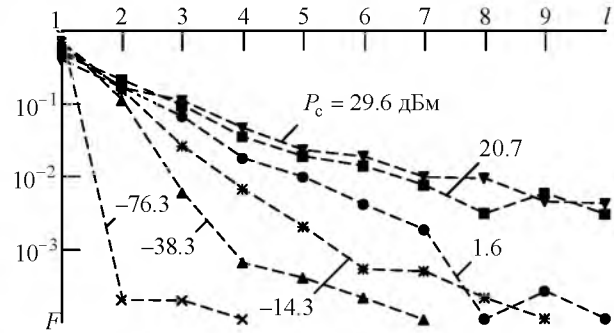


Рис. 5

стационарного и нестационарного речевых сигналов соответственно при различной мощности входного сигнала P_c . Сравнение приведенных зависимостей показывает, что распределения пачек символов для стационарного и нестационарного сигналов весьма близки друг к другу.

Из зависимостей на рис. 4 и 5 также следует, что тенденция увеличения вероятности появления длинных пачек при перегрузках кодера, т. е. при увеличении P_c , сохраняется. Однако сравнение зависимостей, приведенных на рис. 2 и 5, показывает, что возникновение пачек импульсов при АДМ (рис. 5) вероятно при больших мощностях сигнала, чем для ЛДМ (рис. 2). Так, распределения пачек импульсов при ЛДМ для $P_c = 7.8$ дБм почти совпадает с распределением при АДМ для $P_c = 39.8$ дБм. Таким образом, АДМ обеспечивает расширение динамического диапазона передаваемых сигналов более чем на 30 дБ при сохранении качества передачи.

В настоящей статье обоснован выбор ДМ на первом уровне многокаскадной кодовой схемы. Показано, что при увеличении мощности входного сигнала вероятность появления на выходе дельта-

модулятора пачек с большим числом одинаковых импульсов растет из-за перегрузки модулятора по крутизне. Однако следует отметить одинаковый спадающий характер распределений числа импульсов в пачках для разных входных сигналов: пачки из 6–7 символов появляются с вероятностью порядка 10^{-4} , а более короткие пачки (3–5 символов) – с вероятностью 10^{-3} . Это обстоятельство может иметь решающее значение в пользу выбора ДМ для каскадной кодовой конструкции.

Полученные результаты и анализ многочисленных литературных источников показали, что ДМ имеет меньшую вероятность появления пачек символов, чем другие методы АЦП, такие, как ИКМ и АДИКМ. Это особенно важно для современных каскадных кодирующих систем, где дополнительно используется и перемежитель с целью уменьшения вероятности групповых ошибок.

В заключение добавим, что некоторые результаты исследований сложной кодирующей конструкции, в которую входят кодеры ДМ и Рида–Соломона, перемежитель, фазовый модулятор и канал с АГБШ, можно найти в [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Форни Д. Каскадные коды / пер. с англ. В. В. Зяблова и О. В. Попова; под ред. С. И. Самойленко. М.: Мир, 1970. 207 с.

2. Gomtsyan H. A. Generalized model of the digital communication systems // Материалы 13-й межрегион. конф. МНТО РЭС им. А. С. Попова "Обработка сигналов в системах телефонной связи и вещания". Пушкинские

горы, 5–12 июля 2004 г.; Москва, 19–20 окт. 2004 г. / МНТО РЭС им. А. С. Попова. М., 2004. С. 79–81.

3. Гомцян О. А. Обобщенная концепция каскадного кодирования в цифровых системах обработки информации // Изв. НАН РА и НПУА. Сер. тех. наук. 2016. Т. 69, № 1. С. 42–48.

4. Дельта-модуляция. Теория и применение / М. Д. Венедиктов, Ю. П. Женевский, В. В. Марков, Г. С. Эйдус. М.: Связь, 1976. 272 с.

5. Венедиктов М. Д., Гомцян О. А. Дельта-модуляция. Теория и применение / ВЗЭИС. М., 1984. 87 с.

6. Быков С. Ф., Журавлев В. И., Шалимов И. А. Цифровая телефония. М.: Радио и связь, 2003. 144 с.

7. Моделирование структуры двоичного ДМЦИК-сигнала / М. Д. Венедиктов, Б. Ш. Златкин, О. А. Гомцян, Б. Ш. Монастырский // Техника средств связи. Сер. ТРС. 1983. Вып. 1.

8. Гомцян О. А., Бадалян Б. Ф. Применение дельта-модуляции в каскадной кодирующей системе // Тр. 11-й Междунар. науч.-практ. конф. "Современные информационные и электронные технологии". Одесса, 24–28 мая 2010 г. Казань: Изд-во КНИТУ, 2010. Т. 1. С. 223.

H. A. Gomtsyan

National Polytechnic University of Armenia

Simulation of the distribution symbols number in the binary delta - modulation signal

The possibilities of using delta-modulation as analog-to-digital converter in the first stage in the new cascade coding structure for digital data processing systems are developed. Selecting the delta-modulation is motivated account of its simplicity, comparable to other types of analog-to-digital conversion, noise immunity, and most importantly, with a low probability of symbols bursts appearance. The latter property, as well as the using interleaver in the following stages of multi-coding can significantly improve the characteristics of digital data processing systems. The distribution of the symbols bursts for the various input signals and delta-modulation algorithms are obtained.

Delta-modulation, the probability distribution of symbols bursts, concatenated codes construction, interleaver

Статья поступила в редакцию 16 марта 2016 г.

УДК 621.396

Е. С. Ключев, И. В. Рябов, И. В. Стрельников, П. М. Юрьев
Поволжский государственный технологический университет

Теория и моделирование цифровых вычислительных синтезаторов

Рассмотрено проектирование цифровых вычислительных синтезаторов (ЦВС), построенных на базе метода прямого цифрового синтеза частот и сигналов, расчета фазовых отклонений в ЦВС. Приведены структурная и функциональная электрические схемы указанного ЦВС, а также структуры ЦВС с коммутацией фазовых отсчетов и ЦВС с квадратурными выходами. Приводятся основные формулы расчета уровней побочных спектральных составляющих в ЦВС при формировании сложных сигналов.

Прямой цифровой синтез частот и сигналов, цифровые вычислительные синтезаторы, уровень амплитудных шумов, фазовый шум, цифровой накопитель, цифроаналоговый преобразователь, функциональный преобразователь "код-синус", фильтр нижних частот, многоуровневые сигналы, уровень побочных спектральных составляющих, частотно-модулированный сигнал

Синтезаторы прямого цифрового синтеза частот и сигналов (цифровые вычислительные синтезаторы – ЦВС) по сравнению с другими видами синтезаторов обладают рядом преимуществ:

- имеют высокое быстродействие (время переключения с одной частоты на другую менее 10 нс);
- позволяют обеспечить высокую разрешающую способность (шаг сетки частот менее 0.001 Гц);
- архитектура ЦВС облегчает их интегральное исполнение по сравнению с синтезаторами с ФАПЧ;

– имеют хорошие технологичность и повторяемость параметров при тиражировании [1]–[6].

Обобщенная структура ЦВС (рис. 1) содержит цифровой накопитель (ЦН) частоты ЦНЧ, цифровой накопитель фазы ЦНФ, функциональный преобразователь ФП, цифро-аналоговый преобразователь ЦАП и фильтр нижних частот ФНЧ. Под действием сигнала опорной частоты f_0 ЦНЧ формирует линейно нарастающий код частоты N_f , за-