

Введение

Решение задачи удовлетворения потребностей народного хозяйства и населения Российской Федерации в услугах связи предусматривает расширение существующих и создание новых сетей, слияние их во Взаимоувязанную сеть связи (ВСС) России. Основным направлением развития ВСС России является переход к цифровым методам передачи информации и использование перспективных высокоэффективных методов цифрового представления (кодирования), цифровой обработки и передачи непрерывных сообщений (первичных сигналов).

Для того, чтобы кодирование сообщений было полезным в телекоммуникационных приложениях, оно должно быть стандартизировано. Иначе, оно должно подчиняться одинаковым алгоритмам и битовому формату. Стандарты кодирования устанавливаются различными организациями: Международным союзом электросвязи (МСЭ) (ранее МККТТ — Международный Консультативный Комитет по Телефонии и Телеграфии) — организации в составе ЮНЕСКО, Ассоциацией индустрии связи (АИС), Центром исследований и развития радиосистем (ЦИР) в Японии, Международной корпорацией морских спутников — Inmarsat, Европейским Институтом стандартов телекоммуникаций (ЕИСТ) и другими правительственными организациями разных стран. Так, вопросами стандартизации кодеров и декодеров (кодеков) занимаются сектора стандартизации МСЭ. Упомянутые сектора выпускают документы, известные как Рекомендации. Например, Рекомендации МСЭ по кодированию речи имеют обозначение G.7xx.

Эффективность цифровой системы передачи (ЦСП) во многом определяется методом цифрового кодирования, т.е. методом преобразования непрерывных сообщений в импульсные последовательности. Широкое распространение в ВСС получили методы цифрового представления с *непосредственным* (примитивным) кодированием отсчетов сообщения на основе той или иной системы счисления. Это хорошо известные кодеки с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ), обеспечивающие скорость передачи по каналу связи в 64 000 двоичных единиц (бит) в секунду. В иерархии цифровых систем и сетей канал с таким видом модуляции и скоростью называют основным цифровым каналом (ОЦК). Первый стандарт речевого ИКМ кодирования с такой скоростью передачи имеет обозначение G.711.

В ЦСП с ИКМ в цифровую форму преобразуются отсчеты мгновенных значений (выборки) непрерывного сообщения, взятые в дискретные моменты времени. При этом определяются знак (полярность) выборки и размах импульса (амплитуда). Формирование цифровой комбинации, соответствующей данной выборке, никак не связано с

результатами кодирования предыдущих и последующих выборок. Соответственно на выходе декодера получают выборку определенной полярности и размаха, которая не зависит от предыдущих и последующих цифровых комбинаций. Такая независимость, с одной стороны, обеспечивает простоту и гибкость цифровой системы и возможность работы с сигналами различных источников. С другой стороны, это приводит к определенной информационной избыточности передаваемых сообщений и повышению требуемой скорости цифровой передачи, выражаемой произведением частоты дискретизации на число разрядов кодовой комбинации. Указанные недостатки ИКМ кодеков устраняются при переходе к методам цифрового представления непрерывных сообщений на основе *кодирования с предсказанием*.

Из всего многообразия методов цифрового кодирования в настоящее время, как показывает отечественный и зарубежный опыт, наибольшее распространение получают методы, в основе которых лежит процесс предсказания: в цифровой сигнал преобразуется разность между текущими и предсказанными значениями кодируемых отсчетов сообщений — так называемый разностный сигнал или *сигнал погрешности предсказания*. В тех случаях, когда разностный сигнал подвергается квантованию с числом уровней более двух, соответствующий метод кодирования называется дифференциальной импульсно-кодовой модуляцией (ДИКМ).

Следует отметить, что частным случаем ДИКМ является дельта-модуляция (ДМ), при которой разностный сигнал квантуется только на два уровня, но с повышенной частотой дискретизации. Несмотря на то, что ДИКМ и ДМ различаются своими свойствами, общим для них является использование процесса предсказания.

Кодеки с ИКМ и ДИКМ могут иметь как фиксированные параметры (наиболее простая реализация), так и перестраиваемые (*адаптивные*), которые меняются в зависимости от тех или иных показателей первичного непрерывного сигнала. В адаптивных кодеках (сокращенно АИКМ, АДИКМ, АДМ) могут меняться такие параметры, как частота дискретизации, пределы шкалы квантования, шаг квантования и т.п. Так, например, МСЭ разработана Рекомендация G.721 для кодера с адаптивной дифференциальной ИКМ (АДИКМ), работающего на скорости 32 000 бит/с. С данным стандартом связаны и другие стандарты:

- 1) G.723, который расширяет G.721 путем введения дополнительных скоростей передачи 24 000 и 40 000 бит/с;
- 2) G.726 объединяет и заменяет G.721 и G.723 с переходом на скорость до 16 000 бит/сек;
- 3) в G.727 рекомендовано использовать четное количество уровней квантования для всех связанных с ним кодеров.

В учебном пособии излагаются методы цифрового представления непрерывных сообщений с предсказанием и дифференциальной ИКМ, нашедших широкое применение в различных цифровых инфокоммуникационных системах и входящих в рабочую программу курсов «Общая теория связи» и «Цифровая обработка сигналов».

В первой главе рассмотрены вопросы цифрового представления непрерывных сообщений методом ИКМ, даются оценки информационной эффективности и подробный анализ помехоустойчивости ЦСП с ИКМ.

Во второй главе рассматриваются основные понятия о предсказании сигналов и исследуется ЦСП с предсказанием, изучаются вопросы оценки параметров линейного фильтра-предсказателя или коэффициентов линейного предсказания на основе различных методов, к которым относятся метод наименьших квадратов и метод факторизации корреляционной функции.

В третьей главе рассматриваются особенности ЦСП с ДИКМ; дается обобщение задачи оценки параметров предсказания в ЦСП с ДИКМ с учетом эффекта квантования; рассматриваются вопросы регуляризации оценок коэффициентов линейного предсказания в условиях зашумления сигналов; приводится методика расчета помехоустойчивости ЦСП с ДИКМ, основанная на методике анализа помехоустойчивости ЦСП с ИКМ; дается численный расчет помехоустойчивости ЦСП с ДИКМ при заданной функции корреляции исходного первичного сигнала.

Четвертая глава посвящена вопросам адаптации в ЦСП с ДИКМ, исследуются рекуррентные (последовательные) методы оценки параметров фильтра-предсказателя и квантователя системы адаптивной ДИКМ (АДИКМ).

В пятой главе рассматриваются вопросы, связанные с курсовым проектированием системы передачи непрерывных сообщений с ДИКМ. Даются исходные данные и перечень вопросов, подлежащих разработке; приводятся достаточно подробные методические рекомендации по выполнению различных пунктов технического задания.

В двух приложениях рассматриваются математические аспекты, связанные с расчетом интегралов от двумерной гауссовской случайной величины, используемые при расчете помехоустойчивости ЦСП с ИКМ и ДИКМ.

Данное пособие предназначено для студентов бакалаврской подготовки, обучающихся по направлению 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи. Оно окажется полезным как для студентов радиотехнического направления, так и для студентов прикладной математики.