



**ЛЕКЦЫЙНЫ КУРС «Апаратруа
лічбавай апрацоўкі сігналаў»**

**ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС «Аппаратура
цифровой обработки сигналов»**

Литература по курсу

Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов: практический подход. – 2-е изд. – 2004. – 992 с.

Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: Учебник для вузов. 2-е изд. – СПб.: Питер – 2007. – 751 с.: ил.

Сперанский В.С. Сигнальные процессоры и их применение в системах телекоммуникаций и электроники. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком. – 2008. – 168 с.: ил.

Введение в цифровую фильтрацию / Под ред. Р. Богнера и А. Константиnidиса. – пер. с англ., под. ред Л.И. Филиппова – М.: Мир, 1976. – 216 с.

Гутников В. С. Фильтрация измерительных сигналов. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1990. – 190 с.

Калабеков Б.А. Микропроцессоры и их применение в системах передачи и обработки сигналов: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1988. – 368 с.

Рабинер Л.Р., Голд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов: Пер. с англ./ Под ред. Ю.Н. Александрова. М.: Мир, 1978.– 637 с.

Шевкопляс Б.В. Микропроцессорные структуры. Инженерные решения: Справочник – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1990. – 512 с.

Сато Ю. Обработка сигналов. Первое знакомство. – 2002. – 175 с.: ил.

Литература по курсу



Общая классификация микропроцессорных средств

1. Микропроцессоры стандартной конфигурации, содержащие в своем составе арифметико-логическое устройство (АЛУ), регистры и схемы управления.

2. Однокристальные микроконтроллеры (ОМК, ОЭВМ) стандартной конфигурации с цифровыми портами. ОМК содержит в своем составе не только АЛУ и регистры, но и дополнительные модули, такие как память данных и память программ, таймеры, порты ввода-вывода, АЦП, ЦАП, аппаратные драйверы стандартных интерфейсов. В настоящее время ОМК составляют 60-70% мирового рынка микропроцессорных средств.

Разновидностью ОМК являются *PIC* – контроллеры (*Peripheral Interface Controller*) – микроконтроллеры с расширенными возможностями по вводу-выводу.

Преимуществом ОМК является компактная система команд.

Общая классификация микропроцессорных средств

3. *MSP (Mixed Signal Processor)* – микропроцессоры с встроенным АЦП и аппаратным умножителем, предназначенные для цифровой обработки аналоговых сигналов.

4. *DSP (Digital Signal Processor)* – микропроцессоры с встроенным АЦП, система команд которых позволяет выполнять базовую операцию «умножение с накоплением», предназначенные для цифровой обработки аналоговых сигналов, для реализации сложных вычислительных алгоритмов в реальном масштабе времени. Типовыми задачами для реализации на основе DSP являются алгоритмы преобразования Фурье, дискретной свертки, цифровой фильтрации, корреляции.

Далее для обозначения термина «Цифровой сигнальный процессор» (Digital Signal Processor, DSP) в учебных материалах будут использоваться также сокращения «ЛСП» (бел.), «ЦСП» (рус.)

Общая классификация микропроцессорных средств

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ АРХИТЕКТУРЫ



Обзор алгоритмов цифровой обработки сигналов

Термин «цифровая обработка сигналов» появился в 1960-1970 г.г. Изначально цифровая обработка сигналов представляла собой узкую область исследований, основным назначением которой было моделирование аналоговых радиотехнических цепей и сигналов на ЭВМ.

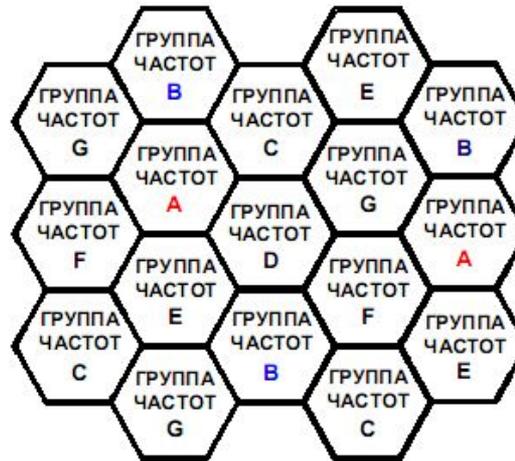
В настоящее время цифровая обработка сигналов (ЦОС) – это теория и множество практических приложений:

- информационно-измерительная техника;
 - автоматика, телемеханика;
 - мобильная связь;
 - радиолокация;
 - радионавигация;
 - прикладная геодезия;
 - медицина;
- и т.д.

Наглядным примером практического использования достижений теории и техники цифровой обработки сигналов является сотовый телефон.

Пример: GSM (Global System for Mobile Communications)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ ГРУПП СОТОВОЙ ТЕЛЕФОННОЙ СЕТИ



- Каждая "ячейка" покрывает участок радиусом 5-10 миль
- Каждая "ячейка" требует наличия собственной базовой станции для приема и ретрансляции
- Каждая "ячейка" должна работать со многими пользователями одновременно
- Пользователи могут быть переключены с одной "ячейки" на другую

Базовая конфигурация сотовой системы показана на рисунке. Область разбита на ячейки, каждая из которых имеет собственную базовую станцию и собственную группу выделенных частот. Благодаря небольшому радиусу каждой ячейки (примерно 16 км), могут использоваться приемники и передатчики низкой мощности.

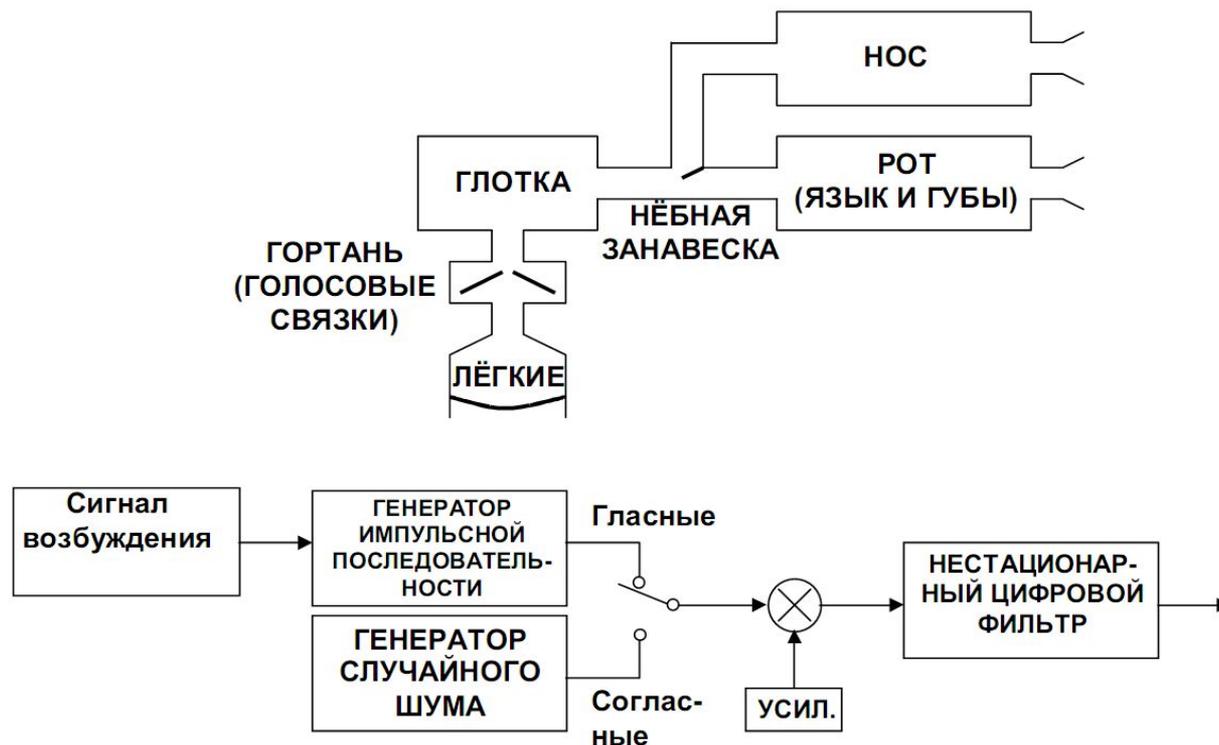
Пример: GSM (Global System for Mobile Communications)

Структурная схема мобильного телефона стандарта GSM. Стандарт GSM является примером TDMA - многоканальный доступ с временным разделением (Time Division Multiple Access). Это цифровая технология передачи сигнала, позволяющая получать доступ к одному радиочастотному каналу большому числу пользователей одновременно. При этом не происходит интерференции, поскольку каждому пользователю в пределах каждого канала выделяются уникальные тайм-слоты (промежутки времени).



Пример: GSM (Global System for Mobile Communications)

Модель линейного кодирования с предсказанием (Linear Predictive Coding, LPC):



LPC-алгоритм использует модель человеческого голосового тракта, которая представляет гортань в виде ряда концентрических полостей-цилиндров различного диаметра и с различной резонансной частотой. Эта модель может быть математически представлена в виде систем уравнений, описывающих свойства каждой полости-цилиндра.

Пример: GSM (Global System for Mobile Communications)

Сигнал возбуждения пропускают через полости-цилиндры, генерируя выходной сигнал. В человеческом организме сигнал возбуждения генерируется с помощью воздушных колебаний голосовых связок или сокращений голосового тракта. В цифровой системе сигнал возбуждения представляет собой ряд импульсов, моделирующих колебания связок, и шум, моделирующий сокращения. Этот сигнал поступает на решетчатый цифровой фильтр. Каждый коэффициент фильтра отображает размер цилиндра. LPC-система характеризуется числом цилиндров, которые использованы в модели. В системе GSM используются восемь цилиндров и, соответственно, должны генерироваться восемь моделирующих коэффициентов.

Использовавшиеся ранее LPC-системы обеспечивали качество, достаточное лишь для того, чтобы разобрать кодируемую речь без распознавания голоса говорящего. Качество было слишком низким. В LPC-системе стандарта GSM используются два усовершенствованных метода, которые улучшают качество кодируемой речи. Это методы регулярного импульсного возбуждения (RPE) и долговременного предсказания (LTP). Их применение позволяет получить удовлетворительное качество кодируемой речи.

Пример: GSM (Global System for Mobile Communications)

На вход речевого кодера поступает серия 16-разрядных отсчетов голосовых данных в виде равномерной ИКМ с тактовой частотой 8 кГц (битрейт составляет 128 Кбит/с). Речевой кодер оперирует с блоками по 20 мс (160 отсчетов) и трансформирует их в 76 коэффициентов (в сумме 260 бит), за счет чего битрейт уменьшается до 13 Кбит/с. Режим прерывистой передачи (DTX) позволяет отключать передачу во время пауз между словами. Такой подход позволяет уменьшить мощность, потребляемую передатчиком, и увеличить полную емкость GSM-системы. Низкая потребляемая мощность продлевает жизнь батарей в телефоне и является важной особенностью для переносных портативных телефонов. Она способствует увеличению максимально возможного количества вызовов за счет снижения межканальной интерференции, позволяя более эффективно использовать выделенный частотный спектр. В обычном разговоре каждый абонент говорит менее 40% времени, и приблизительные оценки показали, что использование DTX может удвоить максимальное количество вызовов системы мобильной связи.

В передатчике размещается голосовой детектор (VAD). Его задача состоит в выделении речи из шумового фона и в игнорировании шума без речи. Входным массивом для голосового датчика является набор параметров, вычисленных речевым кодером. VAD использует эту информацию для принятия решения: содержит или не содержит речь каждый блок по 20 мс, поступающий на кодер. Генератор "комфортного" шума (CNI) встраивается в приемник. "Комфортный" шум вырабатывается во время строга паузы, когда алгоритм DTX выключает передатчик; этот шум подобен по амплитуде и спектру фоновому шуму в передатчике. Цель генерации CNI состоит в подавлении неприятного эффекта переключения между речью на фоне шума и тишиной. Если сигнал принимается без системы CNI, то слышно быстрое чередование речи на фоне интенсивного шума (например, автомобиля) и тишины. Влияние подобного эффекта значительно уменьшает разборчивость речи. Когда задействован шумовой генератор DTX, каждый передаваемый голосовой пакет перед отключением передатчика сопровождается блоком данных, описывающих параметры шумового фона (SID). Этот блок данных служит маркером окончания передачи речи для приемной стороны. Он содержит характерные параметры фонового шума в передатчике, например, информацию о спектре, полученную с помощью линейного прогнозирующего кодирования. Блок данных SID используется генератором "комфортного" шума приемника для синтеза цифрового фильтра, который, при возбуждении его псевдослучайным шумом, генерирует отклик, подобный фоновому шуму в передатчике. Этот "комфортный" шум вставляется в паузы между получаемыми голосовыми пакетами. Параметры шума обновляются через равные промежутки времени с помощью передаваемых во время речевых пауз SID-пакетов.

Для обнаружения и коррекции ошибок в приемнике, процессор добавляет в поток данных служебные биты, за счет чего выходной битрейт кодера увеличивается до 22,8 Кбит/с. Биты в пределах одного блока равномерно перемешиваются со служебными битами псевдослучайным образом, повышая тем самым помехоустойчивость системы.

Обзор алгоритмов ЦОС

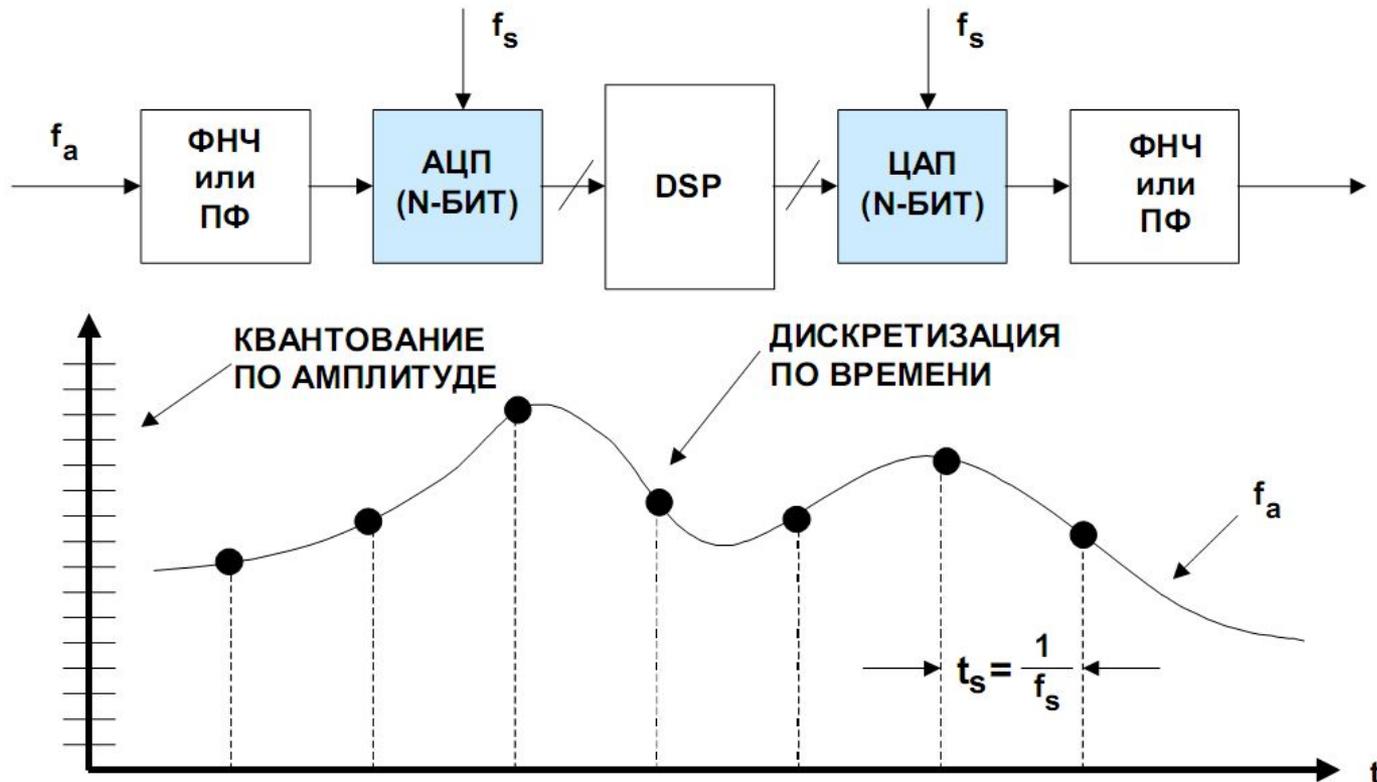
Цифровая обработка принципиально связана с представлением любого сигнала в виде последовательности чисел. Это означает, что исходный аналоговый сигнал должен быть преобразован в некоторую исходную последовательность чисел, которая вычислителем по заданному алгоритму преобразуется в новую последовательность, однозначно соответствующую исходной. Из полученной новой последовательности формируется результирующий аналоговый сигнал.



Обзор алгоритмов ЦОС

В реальных процессах аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования есть два принципа: дискретизация по времени и квантование по амплитуде, которые определяют разрешающую способность данных преобразований.

Система обработки данных в реальном времени на основе ЦСП:



Обзор алгоритмов ЦОС

Выборка непрерывных аналоговых данных должна осуществляться через интервал дискретизации, который необходимо правильно выбирать для точного представления первоначального аналогового сигнала. Чем больше число отсчетов (более высокие частоты дискретизации), тем более точным будет представление сигнала в цифровом виде. В случае малого числа отсчетов может быть достигнуто критическое значение частоты дискретизации, при котором теряется информация о сигнале. Это следует из известной теоремы Котельникова: частота дискретизации f_s сигнала должна быть по крайней мере в 2 раза больше, чем наивысшая частота f_M спектра сигнала:

$$f_M \leq f_s/2$$

В зарубежной литературе данное соотношение часто называют критерием Найквиста.

Обзор алгоритмов ЦОС

Аналого-цифровое преобразование осуществляется в две стадии.

Первая стадия – селективная задержка, где полученная информация – мгновенное значение сигнала в момент осуществления выборки. Обычно реализуется на устройстве выборки-хранения.

Вторая стадия – N-разрядный АЦП преобразовывает мгновенное значение напряжения в самое близкое целое число из 2^N возможных, что ведет к ошибке в каждой выборке на $\pm 1/2 \text{ LSB}$ (*Least Significant Bit* – наименьший значащий бит). В итоге цифровой выходной сигнал является эквивалентным непрерывному входному сигналу плюс ошибка квантования, которая выступает в виде добавленного к сигналу шума.