

Звук и видео как сигналы

Цифровой звук и видео

Лекция 1

Определение сигнала

- «процесс изменения во времени физического состояния какого-то объекта, в результате которого осуществляется передача энергии и информации»
- «варьируемая переменная, с помощью которой передается информация по электронным цепям»

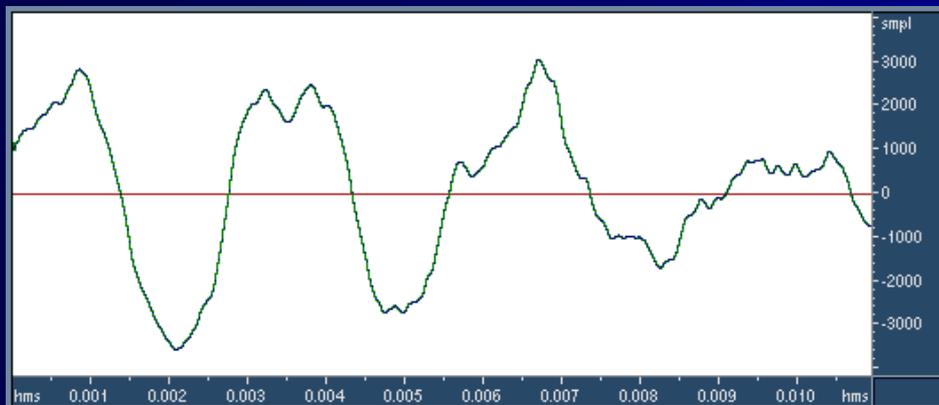
Классификация сигналов

- по способу физического представления
 - акустические, световые, электрические и др.*
- по степени предсказуемости
 - детерминированные*
 - случайные*
 - квазислучайные*
- по степени изменения свойств
 - стационарные*
 - нестационарные*
- по характеру изменения значений функции, описывающей сигнал, и ее переменной
 - непрерывные (аналоговые), дискретные, цифровые*

Сигналы

- Сигнал – скалярная функция от одного или нескольких аргументов.

Примеры сигналов



$s(t)$ – звук



$f(x,y)$ – изображение

Звуковые сигналы

- Музыкальные и речевые сигналы – *квазислучайные нестационарные* сигналы, то есть предсказать их значения можно только с некоторой вероятностью, поэтому для их изучения используются статистические методы, а также методы спектрального и корреляционного анализа

Детерминированный сигнал

- Простейшим периодическим детерминированным сигналом является гармоническое колебание, определяемое законом: $s(t) = A \times \cos(\omega t - \psi)$
- Под непериодическим сигналом понимают любой детерминированный сигнал, для которого не существует конечного отрезка времени T , отвечающего условию: $s(t) = s(t + T)$
- Основной характеристикой непериодического сигнала является его спектральная функция

Случайные сигналы

- Случайные сигналы представляют собой хаотические функции времени
- Основные характеристики случайных сигналов:
 - закон распределения вероятностей (относительная длительность пребывания величины сигнала в определенном интервале уровней, отношение максимальных значений к среднеквадратичному (пикфактор) и ряд других)
 - спектральное распределение мощности сигнала (распределение средней мощности сигнала по частотам)

Спектр сигнала

- Введем понятие спектра аналогового сигнала:

$$X(\nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot e^{-2\pi i \nu t} dt$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(\nu) \cdot e^{2\pi i \nu t} d\nu$$

(разложение на синусоиды с различными частотами)

$x(t)$ – исходный сигнал

$X(\nu)$ – спектр, т.е. коэффициенты при гармониках с частотой ν

Виды сигналов

- *Непрерывный* (аналоговый) сигнал – значения функции и аргумента в котором изменяются непрерывно и могут быть измерены в любые моменты времени
- *Дискретный* сигнал – значения функции в котором изменяются непрерывно, а аргумент может принимать только строго фиксированные значения
- *Цифровой* сигнал – значения функции и аргумента в котором могут быть только дискретными

Примеры сигналов

- Аналоговые (непрерывные)

- Примеры:

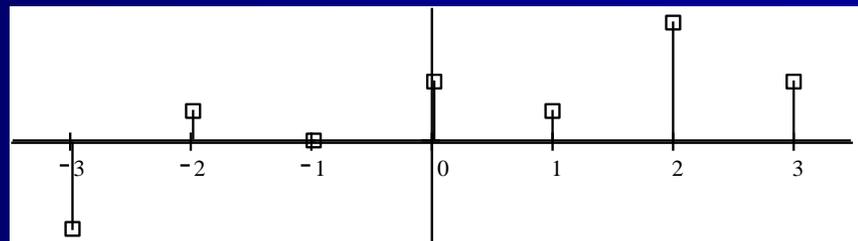
- звук в воздухе или в проводе, идущем от микрофона
- изображение (до ввода в компьютер)
- запись показаний датчика

- Цифровые (дискретные)

- Примеры:

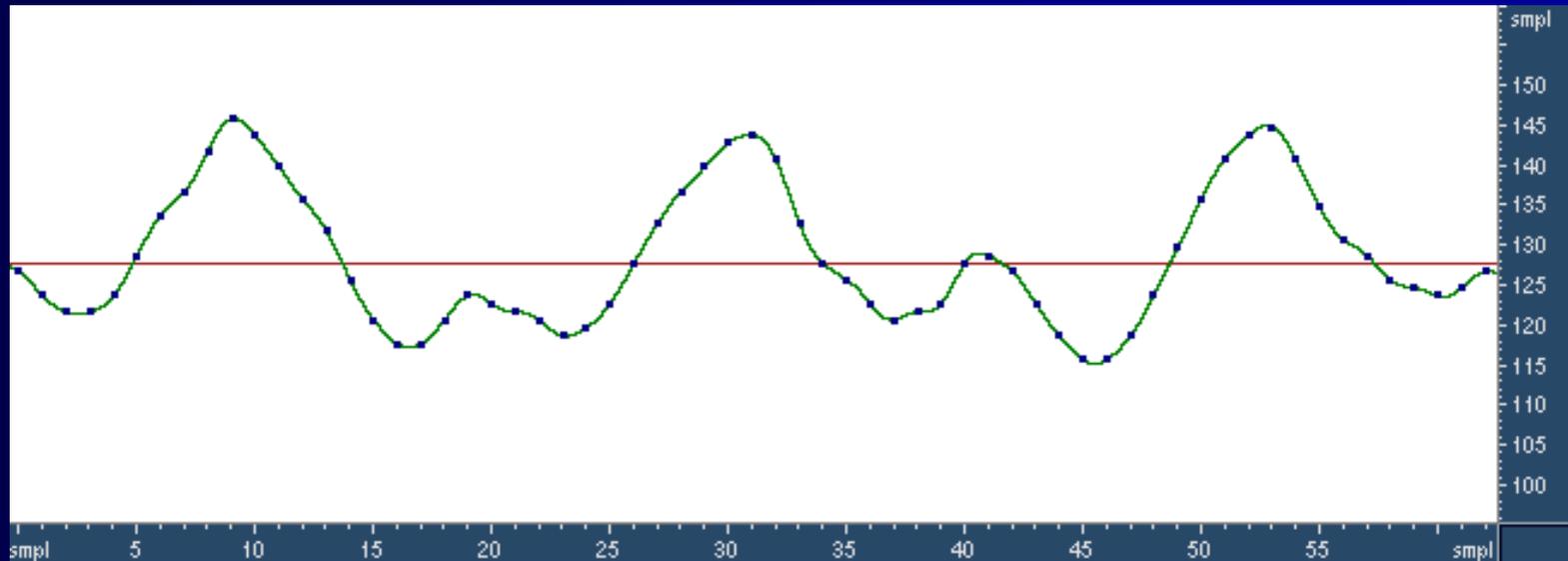
- звук в компьютере (одномерный массив чисел)
- изображение в компьютере (двумерный массив чисел)
- запись показаний датчика в компьютере (одномерный массив)

Одномерный
цифровой сигнал

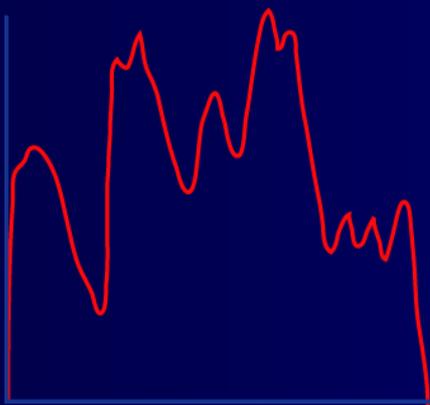


Оцифровка сигналов

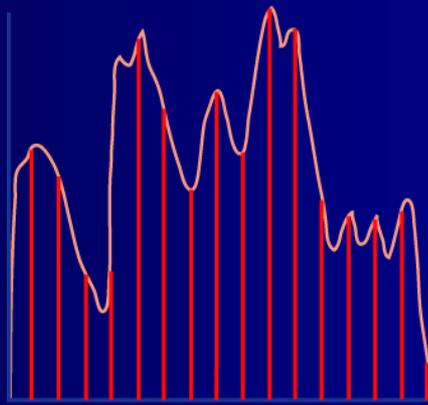
- Преобразование аналогового сигнала в цифровой:
 - дискретизация (сэмплирование) по времени
 - квантование по амплитуде
 - кодирование значений



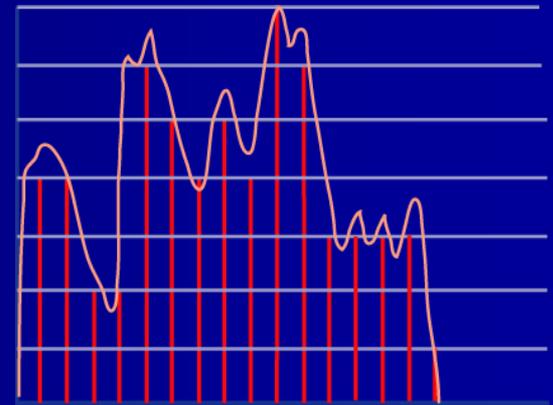
Цифровое представление



Аналоговый сигнал



Sampling

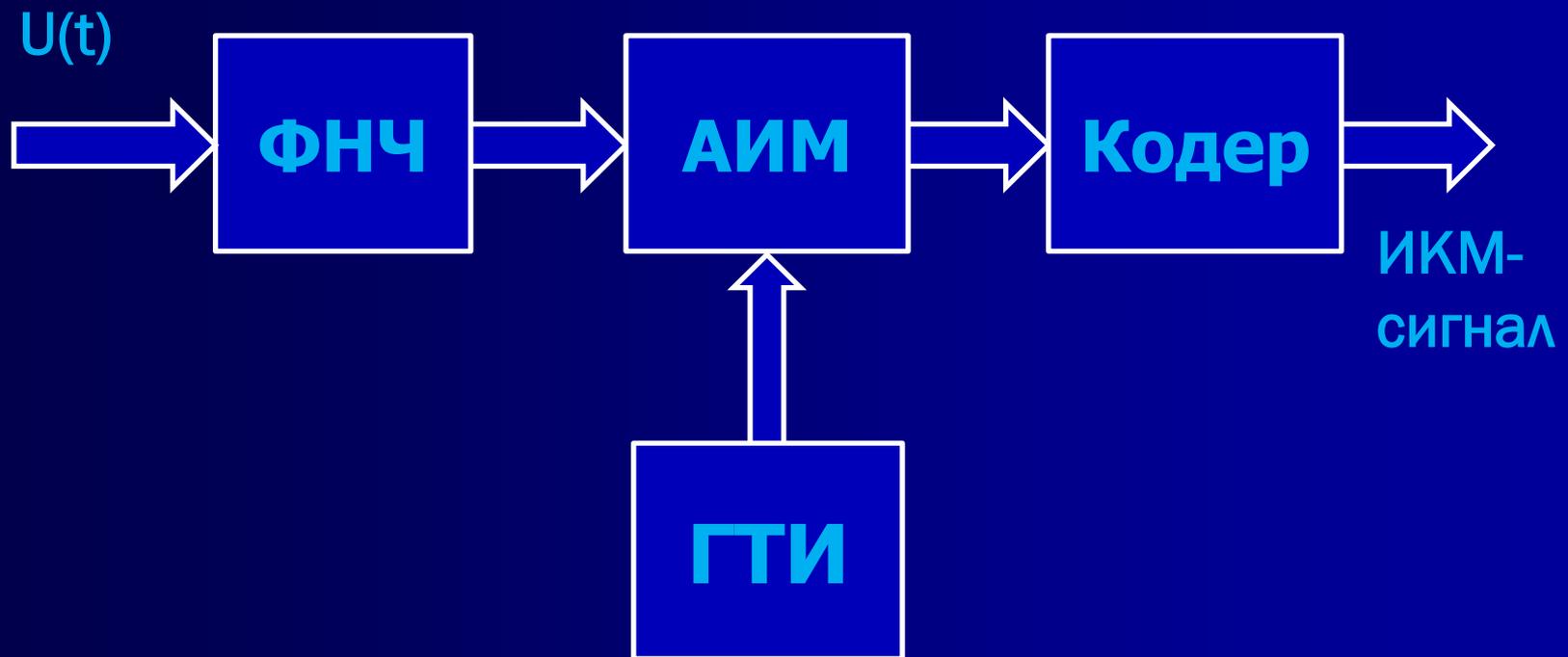


Quantization

Операция дискретизации

- Преобразование сигнала из непрерывной формы в дискретную можно представить как результат измерения мгновенных значений сигнала через постоянные промежутки времени
- Полученная совокупность отсчетов затем преобразуется в числовую последовательность и называется *дискретизацией (сэмплированием)*
 - слово «сэмпл» употребляется также и в другом значении – образец записи звучания какого-либо отрезка музыки, речи, шума и др.

Аналого-цифровой преобразователь



Принцип работы АЦП

- Функциональная схема аналого-цифрового преобразователя включает:
 - входной сигнал $U(t)$
 - ограничивающий низкочастотный фильтр (ФНЧ)
 - амплитудно-импульсный модулятор (АИМ)
 - генератор тактовых импульсов (ГТИ)
 - выходной сигнал АИМ представляет собой временную последовательность отсчетов, отстоящих один от другого на интервал времени, называемый *периодом дискретизации*
 - в кодере АЦП выходной сигнал квантуется по уровню и кодируется

Частота дискретизации

- величина f_d , обратная периоду (интервалу) дискретизации ($f_d = 1/T_d$), называется *частотой дискретизации*
- частота дискретизации (*sample rate*) равна числу отсчетов сигнала в секунду
 - например, величина частоты дискретизации 48 кГц означает, что в АЦП звуковой карты ПК выполнено 48000 отсчетов сигнала за секунду

Теорема Котельникова

- «неискаженная передача непрерывного аналогового сигнала с полосой частот $0 \dots f_{max}$ дискретной последовательностью его отсчетов возможна только в том случае, если частота дискретизации f_d связана с максимальной частотой f_{max} исходного сигнала следующим соотношением:

$$f_d > 2f_{max} \gg$$

Смысл теоремы

Пусть

1. спектр сигнала $x(t)$ не содержит частот выше F , т.е. $X(\nu)=0$ за пределами отрезка $[-F, F]$
 2. дискретизация сигнала $x(t)$ производится с частотой F_s , т.е. в моменты времени nT , здесь $T = 1/F_s$
 3. $F_s \geq 2F$
- Тогда исходный аналоговый сигнал $x(t)$ можно точно восстановить из его цифровых отсчетов $x(nT)$, пользуясь интерполяционной формулой

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x(nT) \cdot \text{Sinc}(t - nT)$$

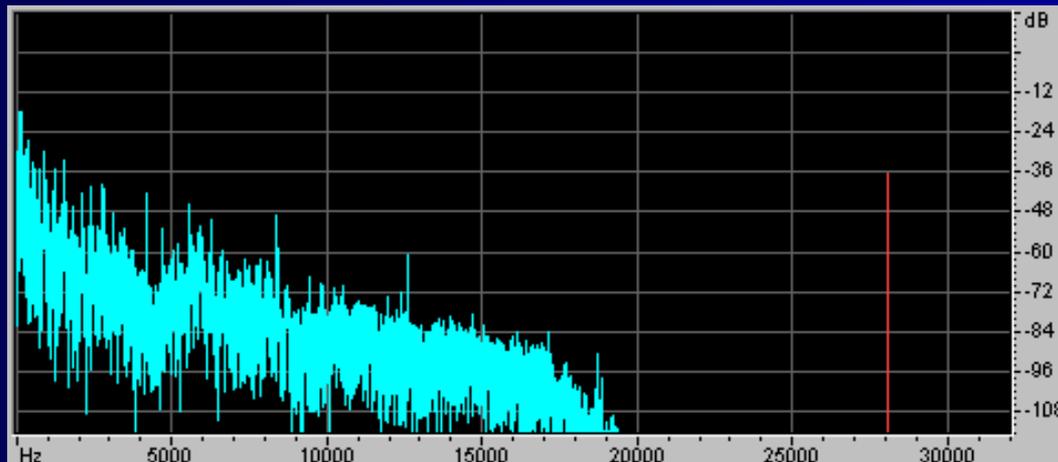
$$\text{Sinc}(t) = \frac{\sin \pi F_s t}{\pi F_s t}$$

Передискретизация

- Изменения частоты дискретизации:
 - уменьшение частоты дискретизации называется *децимацией*
 - увеличение частоты дискретизации происходит с помощью процесса *интерполяции*

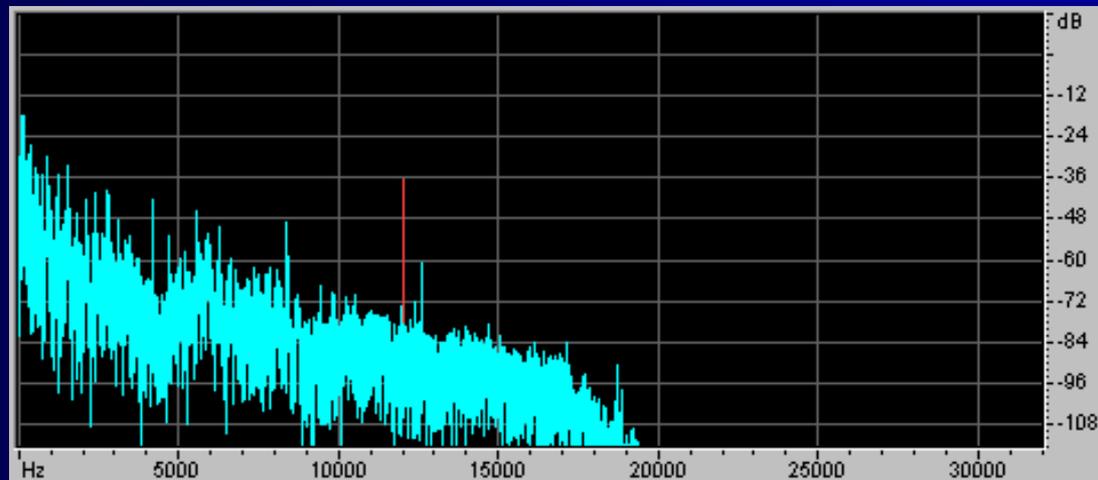
Эффект элайзинга

- Пусть звук не содержит частот выше 20 кГц. Тогда, по теореме Котельникова, можно выбрать частоту дискретизации 40 кГц.
- Если в звуке появилась помеха с частотой 28 кГц, то условия теоремы Котельникова перестали выполняться.



Aliasing

- Проведем дискретизацию с частотой 40 кГц, а затем – восстановим аналоговый сигнал sinc-интерполяцией.



- Помеха отразилась от половины частоты дискретизации в нижнюю часть спектра и наложилась на звук. Помеха переместилась в слышимый диапазон – Aliasing.

Антиэлайзинговый фильтр

- Применение перед оцифровкой антиалиасингового фильтра:
 - он подавит все помехи выше половины частоты дискретизации (выше 20 кГц) и пропустит весь сигнал ниже 20 кГц.
 - после этого условия теоремы Котельникова будут выполняться и элайсинга не возникнет.
 - следовательно, по цифровому сигналу можно будет восстановить исходный аналоговый сигнал.

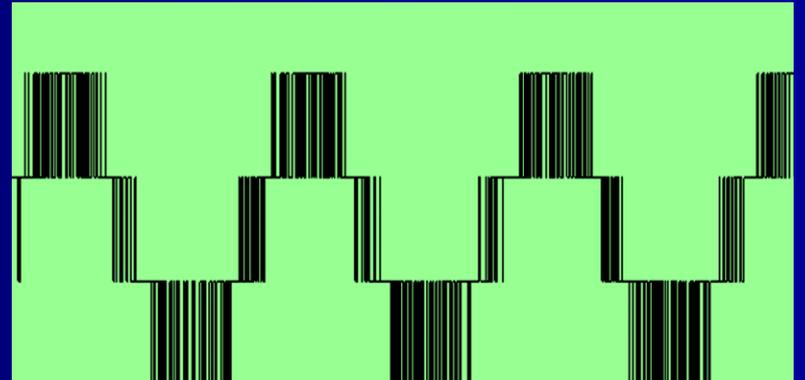
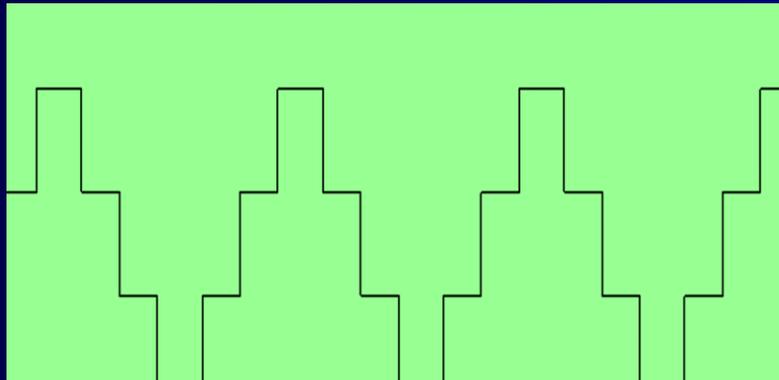
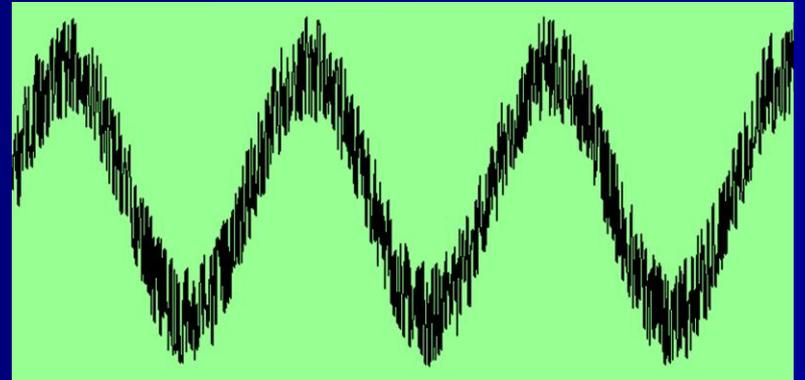
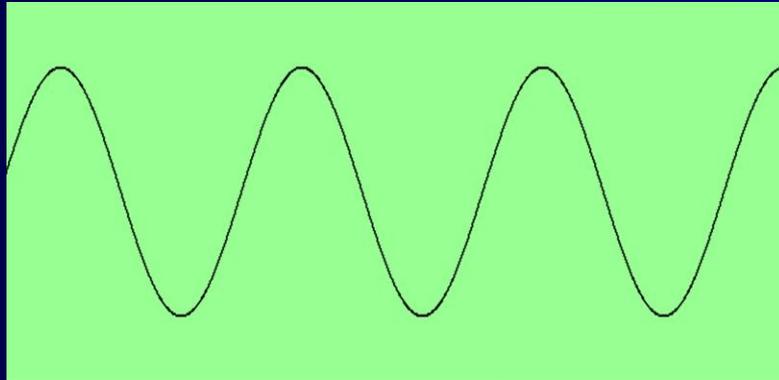
Дискретизация звука

- по теореме отсчетов минимальная частота дискретизации должна быть в два раза выше максимальной частоты спектра, т.е. $>40\text{кГц}$ для слышимых звуков
 - аудио компакт диски - CD: 44.1кГц
 - для Интернет-аудио можно использовать 22.05кГц
 - для речи достаточно 11.025кГц
 - цифровые аудиоленты DAT: 48кГц
 - при переносе записи с CD или DAT может потребоваться передискретизация

Квантование звука

- качество CD – 16 бит, что дает 65536 уровней квантования
 - минимально приемлемое качество при 8 битах (голосовая связь)
- ошибка квантования – разность между исходными и квантованными значениями отсчетов
 - добавление псевдослучайного шума делает ошибку квантования случайной (*Dithering*)

Ошибка квантования

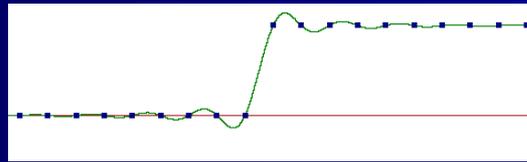


Размер звукового файла

- частота дискретизации r в Гц
- размер выборки s в битах
- за секунду оцифрованный звук требует $rs/8$ байт памяти
 - для CD : $r = 44100$, $s = 16$, для каждой секунды требуется 86 килобайт ($k=1024$), а за минуту около 5 Мбайт (mono)

Эффект Гиббса

- Применимость sinc-интерполяции для изображений
- Эффект Гиббса



Цифровые отсчеты



sinc-интерполяция



другая интерполяция

**Цикл лекций подготовлен в 2008/2009 уч.году
Кузнецовым Игорем Ростиславовичем,
профессором кафедры режиссуры мультимедиа
Санкт-Петербургского
Гуманитарного университета профсоюзов**

Прочитан в дисциплине
«Цифровой звук и видео»