

Фильтры и спектр

Цифровой звук и видео

Лекция 3

Преобразование сигнала

- Система – преобразователь сигнала



$$y(t) = H(x(t))$$

- Линейность:

$$H(\alpha \cdot x(t)) = \alpha \cdot H(x(t))$$

$$H(x(t) + z(t)) = H(x(t)) + H(z(t))$$

- Инвариантность к сдвигу:

$$H(x(t - t_0)) = y(t - t_0)$$

Линейные системы

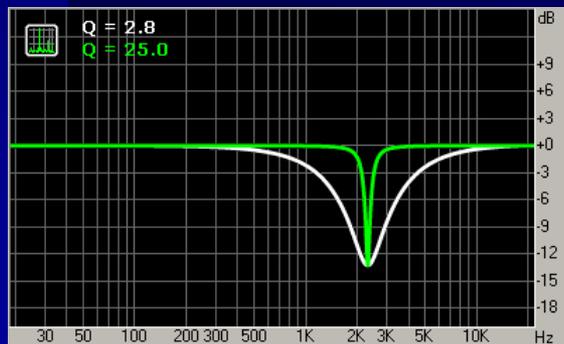
- Важное свойство линейных систем:
При подаче на любую линейную систему синусоиды, на выходе получается синусоида той же частоты, что и на входе – измениться могут только ее амплитуда или фаза
- Следствие: линейные системы удобно анализировать, раскладывая любые входные сигналы на синусоиды

Фильтрация сигнала

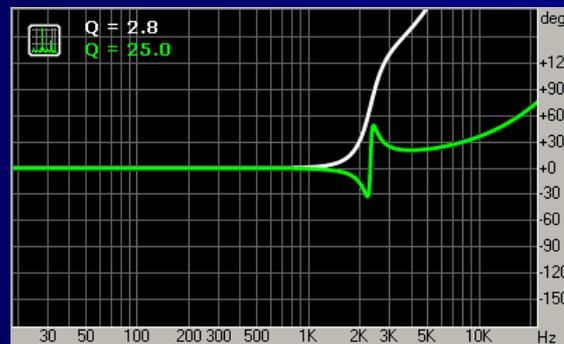
- фильтр – устройство, которое меняет в спектре сигнала и амплитуды гармоник, и их фазы
- фильтры с линейной фазой сдвигают весь сигнал во времени
- фильтрация служит для разделения различных сигналов

Характеристики фильтра

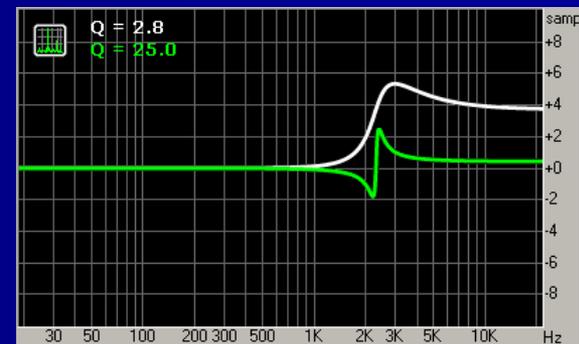
- Амплитудно-частотная характеристика
 - Изменение амплитуды в зависимости от частоты
- Фазово-частотная характеристика
 - Изменение фазы в зависимости от частоты
- Групповое время задержки
 - Задержка различных частотных составляющих



АЧХ



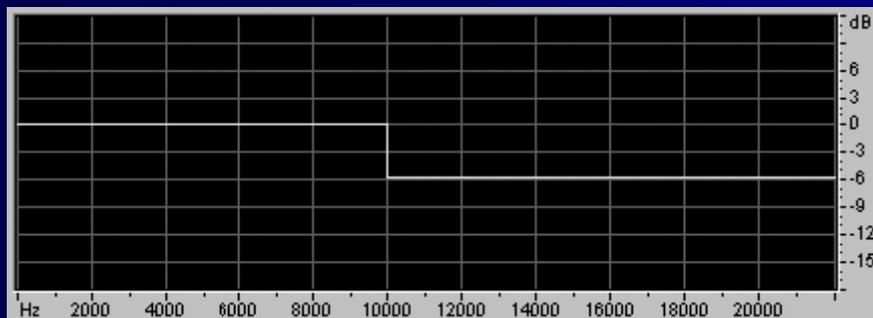
ФЧХ



ГВЗ

Параметры фильтра

- полоса пропускания
- частота среза
- полоса задерживания
- уровень подавления в этой полосе



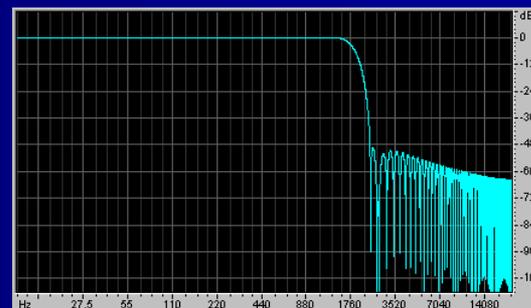
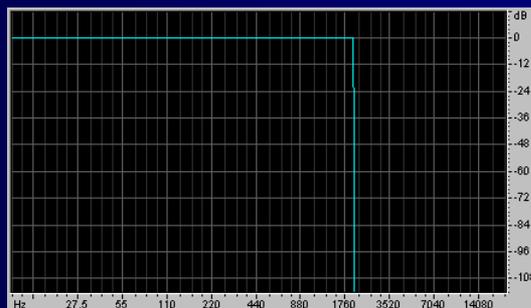
$$A(f) = \begin{cases} 0 \text{ dB}, & f < 10 \text{ kHz} \\ -6 \text{ dB}, & f > 10 \text{ kHz} \end{cases}$$

Типы фильтров

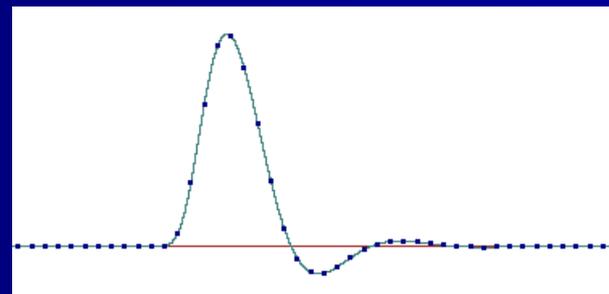
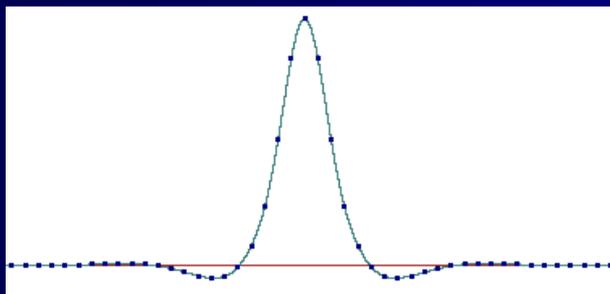
- НЧ-фильтры (low-pass filters)
- ВЧ-фильтры (high-pass filters)
- полосовые фильтры:
 - пропускающие (band-pass filters)
 - подавляющие (band-reject filters)
- многополосовые фильтры
- цифровые FIR и IIR фильтры

Виды фильтров

- Идеальные и реальные фильтры, виды искажений

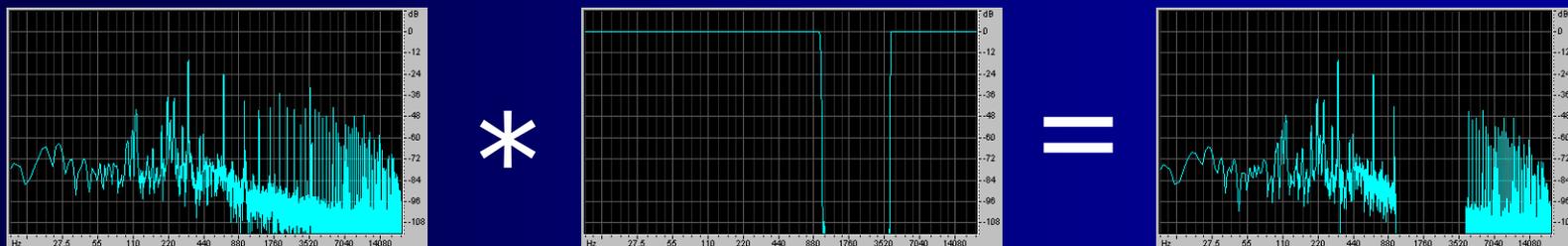


- Линейность фазы



Воздействие фильтра

- Фильтрация = перемножение частотных характеристик



Перемножение амплитуд = сложение децибелов

Эквалайзеры

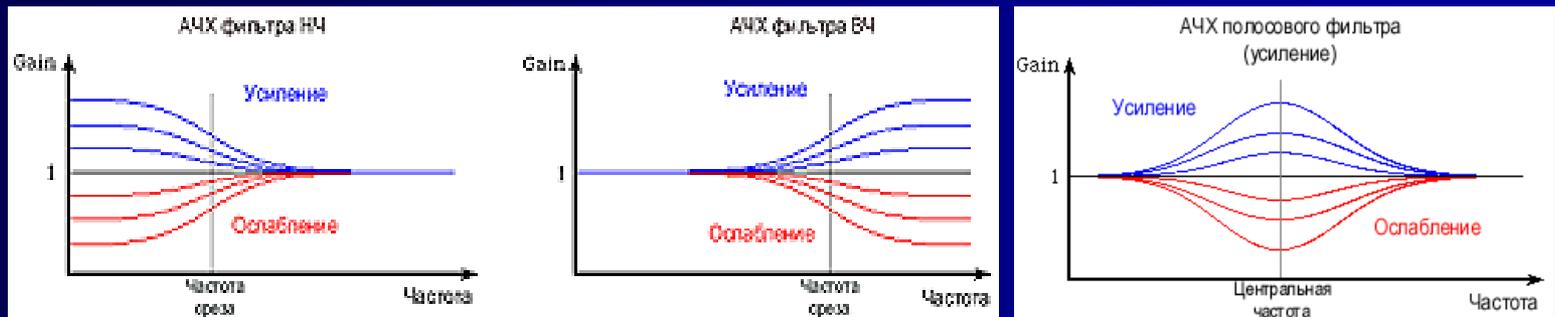
- эквалайзер – устройство коррекции тембра сигнала, изменяющее амплитуды его частотных составляющих
- первоначально применялись для выравнивания АЧХ неидеального звукового тракта
- позднее стали использоваться и творчески, для создания нужных тембров или аккуратного совмещения инструментов в фонограмме

Виды эквалайзеров

- по управлению АЧХ:
 - Параметрические: можно выбирать одну из имеющихся форм АЧХ и задавать ее параметры: центральную частоту, коэффициент усиления и добротность
 - Графические: пользователь «рисует» требуемую АЧХ непосредственно на дисплее или с помощью набора регуляторов усиления на различных частотах
 - Параграфические: гибрид предыдущих
- по принципу действия:
 - Аналоговые: состоят из конденсаторов, катушек индуктивности, операционных усилителей
 - Цифровые: используют FIR или IIR фильтры

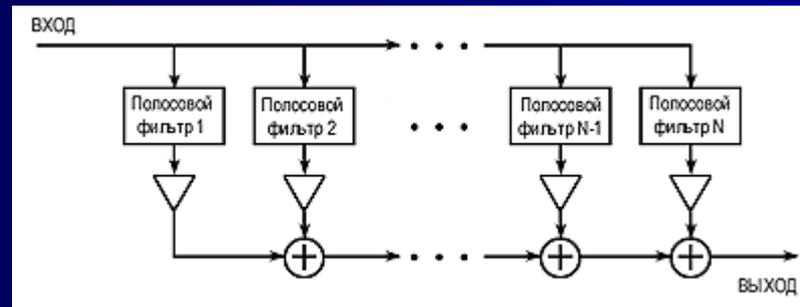
Регуляторы тембра

- Регуляторы низких (Bass) и высоких (Treble) частот управляют двумя пороговыми фильтрами

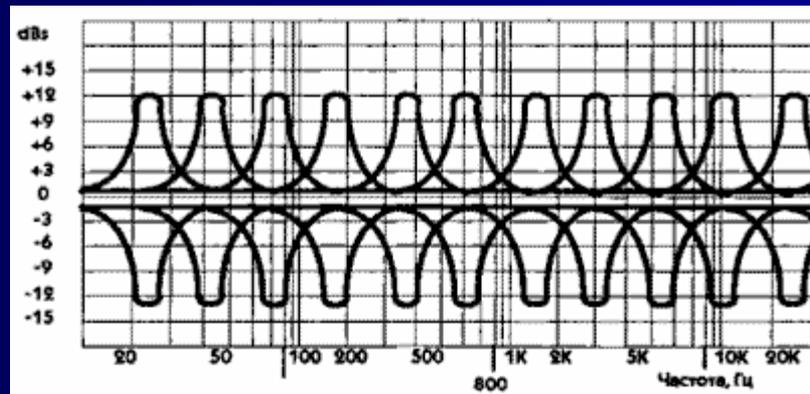


Графический эквалайзер

- Структурная схема

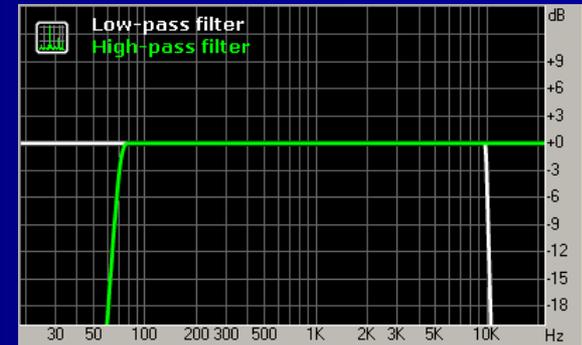
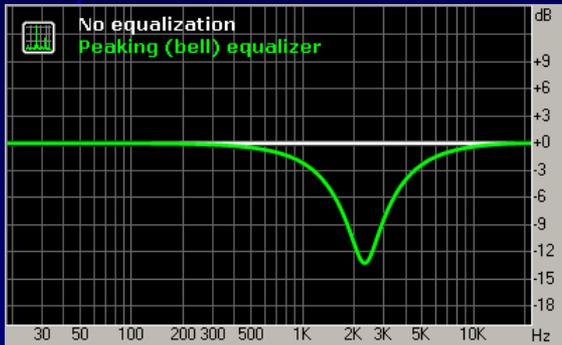


- АЧХ

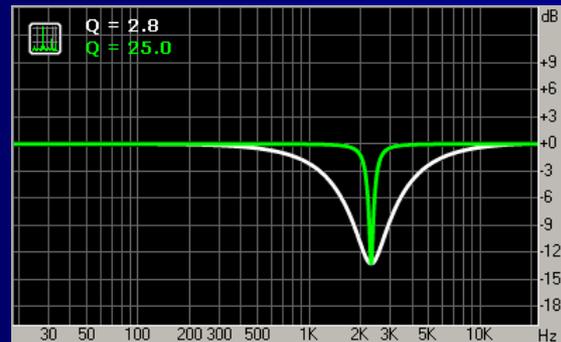


Фильтры эквалайзера

- Амплитудно-частотная характеристика (frequency response)



- Добротность (Q) определяет ширину полосы воздействия



Цифровые фильтры

- предназначены для обработки (фильтрации) дискретных сигналов, представленных в цифровом виде

$$Y[n] = B[0] \times X[n] + B[1] \times X[n-1] + \dots - A[1] \times Y[n-1] - A[2] \times Y[n-2] - \dots$$

X – входной временной ряд, Y – выходной ряд,

A и B – наборы весовых коэффициентов

- с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтры)
- с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-фильтры)

Нерекурсивные фильтры

- связь между последовательностью на входе и откликом имеет вид

$$y(n) = F [x(n), x(n - 1), \dots]$$

т.е. текущий отсчет отклика зависит от текущего и предшествующих значений входной последовательности

Рекурсивные фильтры

- соотношение между последовательностью на входе и откликом имеет вид

$$y(n) = F [y(n - 1), y(n - 2), \dots, x(n), x(n - 1), \dots]$$

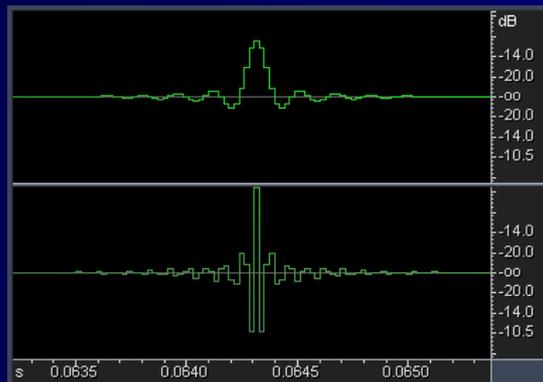
т.е. текущий отсчет отклика определяется не только текущим и предшествующими значениями входной последовательности, но и предшествующими отсчетами отклика

ФЧХ цифровых фильтров

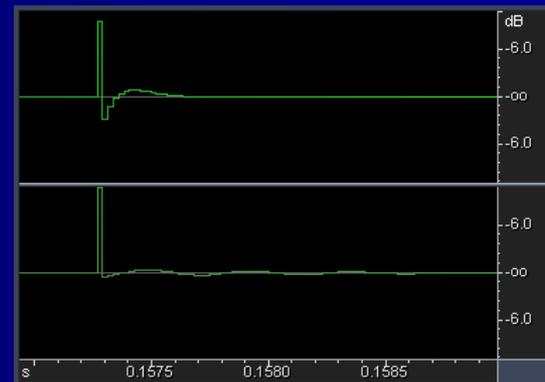
- Конечная (FIR)
 - легко достичь линейной ФЧХ
- Бесконечная (IIR)
 - нелинейная ФЧХ
- Звон фильтров

$$y_i = \sum_{-M \leq k \leq M} x_{i-k} h_k$$

$$y_i = \sum_{0 \leq k \leq N} b_k x_{i-k} + \sum_{1 \leq k \leq N} a_k y_{i-k}$$



Линейная ФЧХ



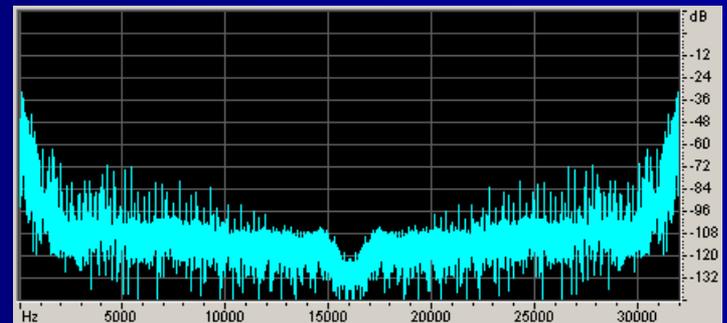
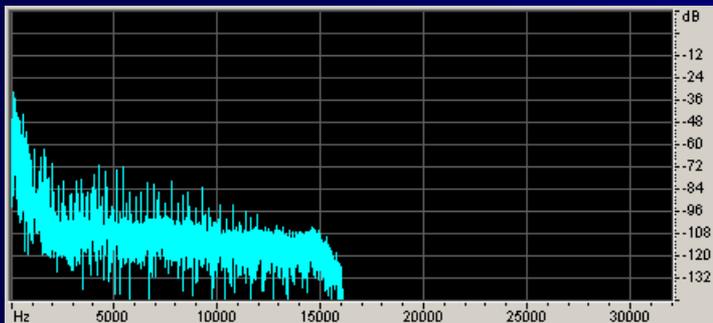
Нелинейная ФЧХ

Применение ЦФ

- применение ЦФ в музыкальных редакторах
 - reverberation (реверберация)
 - delay (задержка)
 - chorus (хорус)
 - flanging (флэнжинг)
 - phasing (фейзинг)
 - pitch shift (сдвиг высоты тона)
 - time modification (изменение времени звучания)
 - morphing (морфинг)
 - vocoding (вокодинг)

Передискретизация

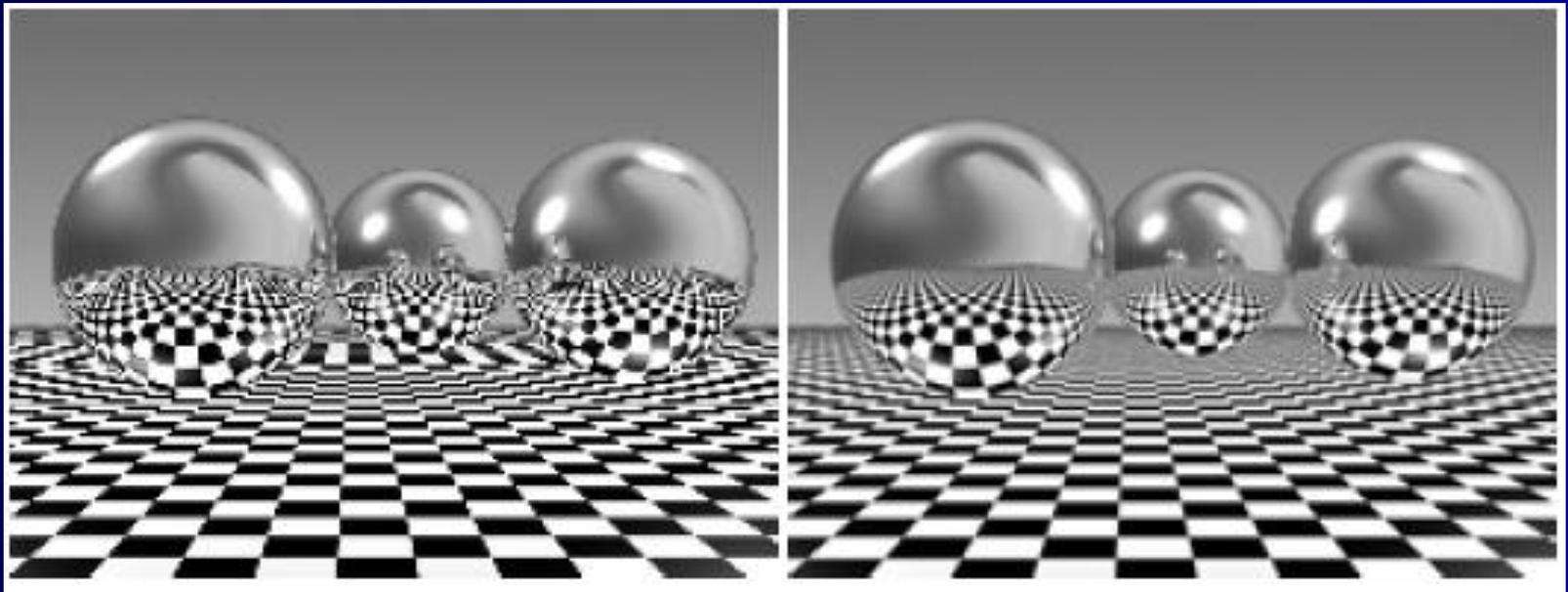
1. Интерполяция нулями → спектральные копии



2. Фильтрация (*предотвращаем наложение спектров на шаге 3*)
3. Прореживание

Генерация изображений

- способ предотвращения алиасинга – суперсэмплинг (super-sampling)

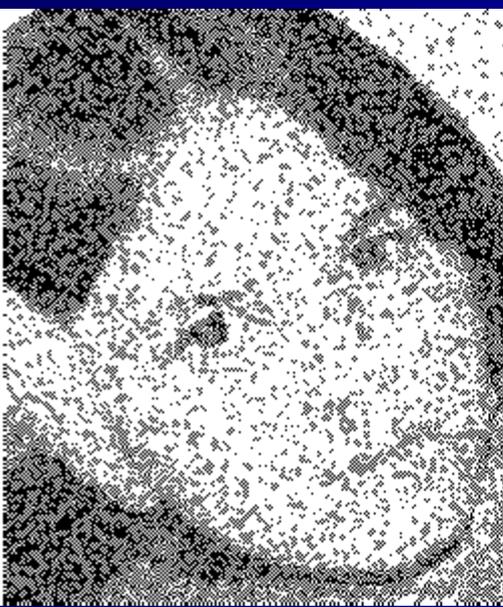
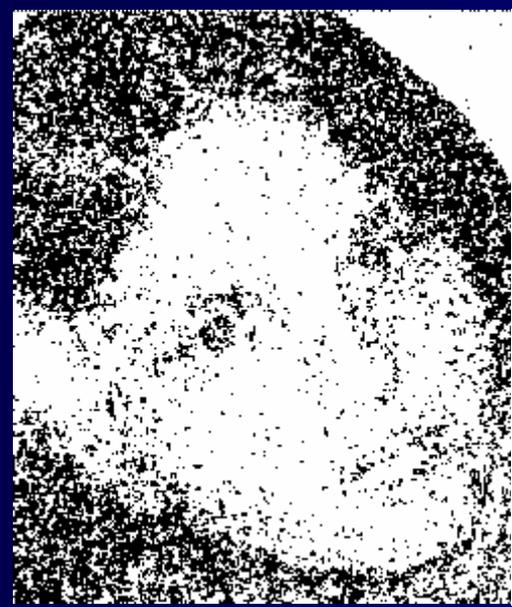


Псевдотонирование

- усечение (порог)
- упорядоченное псевдотонирование
- диттеринг (*dithering*)
- диффузия ошибки (*error diffusion*)

Исходное изображение





Разновидности шумов

- белый – постоянная спектральная плотность
- розовый – спектральная плотность обратно пропорциональна частоте
- оранжевый – квазипостоянный шум с конечной спектральной плотностью
- зеленый – подобен розовому шуму с усиленной областью в районе 500 Гц
- синий – спектральная плотность пропорциональна частоте

Разновидности шумов

- фиолетовый – спектральная плотность пропорциональна квадрату частоты
- серый – спектр шума аналогичен графику психоакустической кривой порога слышимости
- коричневый – спектральная плотность обратно пропорциональна квадрату частоты
- черный – постоянная конечная спектральная плотность за пределами порога слышимости

**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»

©Кузнецов И.Р.