Лектор: Лукин Алексей Сергеевич

MSU GRAPHICS & MEDIA LAB

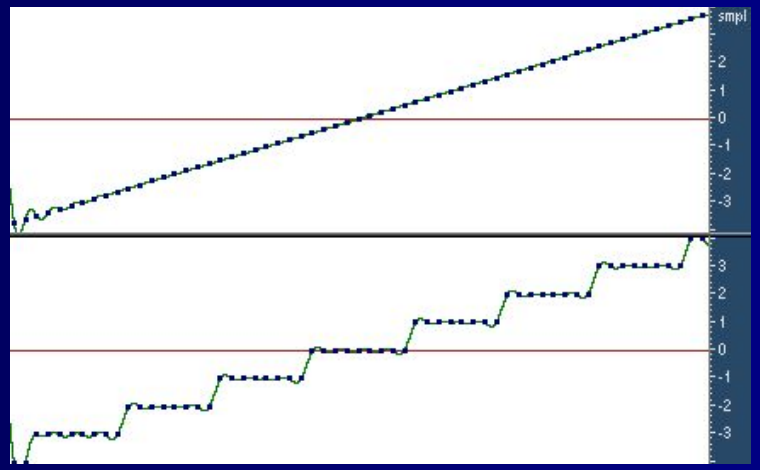
Квантование, снижение разрядности, дитеринг

Задача

- Цель: снижение разрядности (т.е. преобразование сигнала с высоким разрешением – 24 или 32 бита – в 16-битный CD формат)
- Наивный подход:

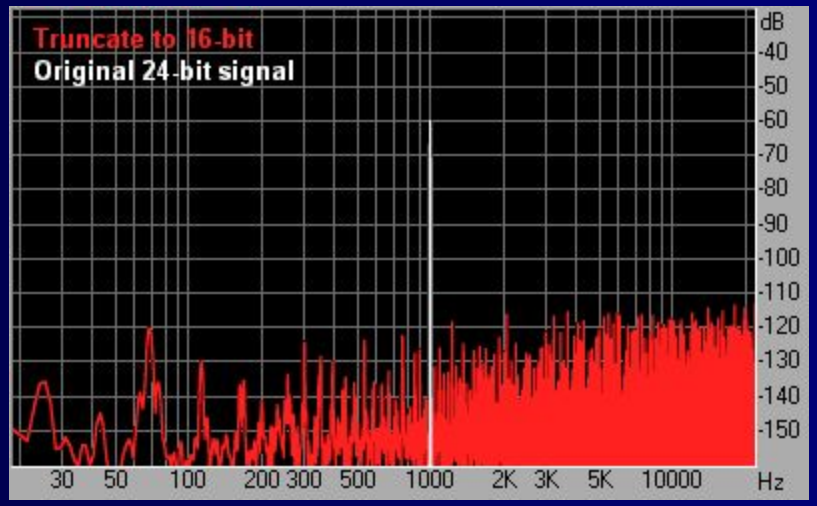
$$x(n) \longrightarrow \boxed{Q} \longrightarrow y(n)$$

  - Округление (квантование) каждого отсчета высокого разрешения до ближайшего отсчета низкого разрешения *("truncation")*



Округление

- Увы: округление вызывает искажения!
  - ► Минимальная амплитуда ошибки квантования
  - ► Ошибка квантования коррелированна с сигналом
  - ► Искажения наиболее заметны на тихих участках

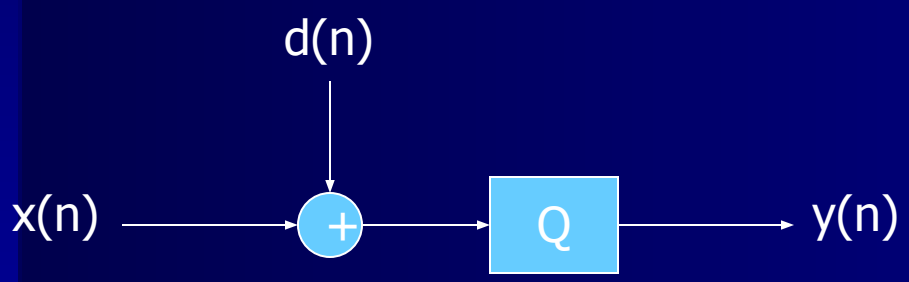


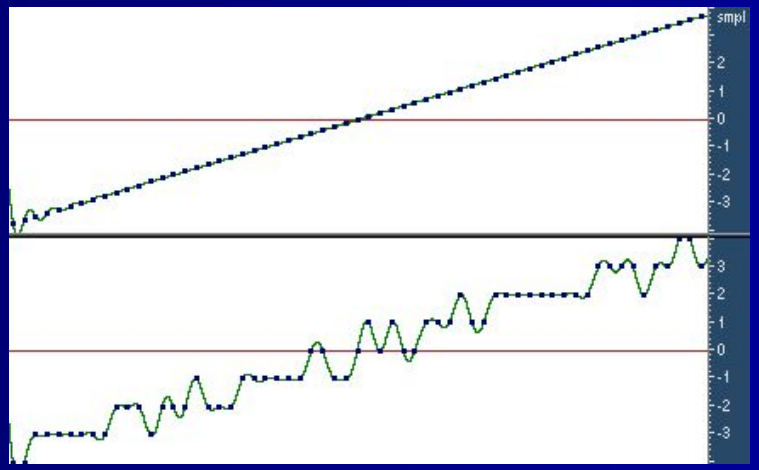
Высокое разрешение

Округление до 8 бит

Dithering

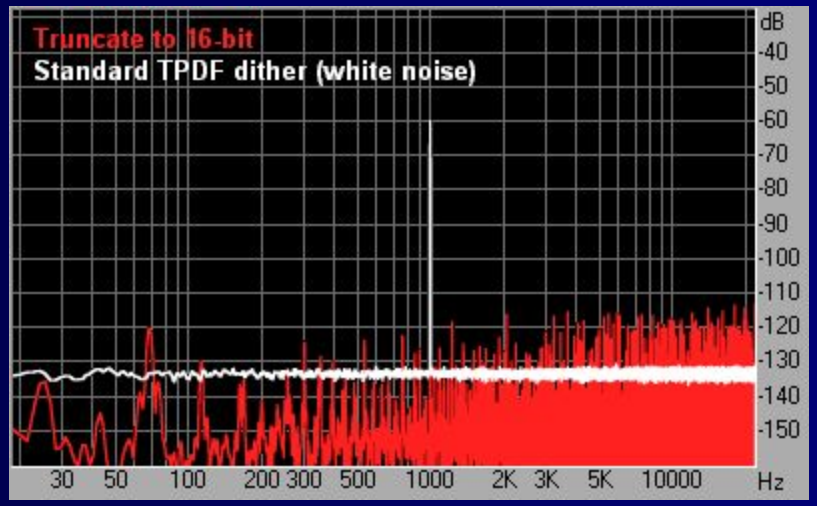
- Решение: добавление случайного шума перед квантованием – “dithering” – декоррелирует ошибку квантования и сигнал!
  - ► Нет гармонических искажений
  - ► Шум ровный и постоянный
  - ► Увеличился общий уровень шума





Dithering

- Параметры дитеринга:
  - Распределение амплитуд (TPDF, Gaussian)
  - Мощность (низкая мощность не устранит гармонические искажения или внесет в ошибку квантования модуляцию)
  - Спектр (белый, высокочастотный)



- Высокое разрешение
- Округление до 8 бит
- Dithering

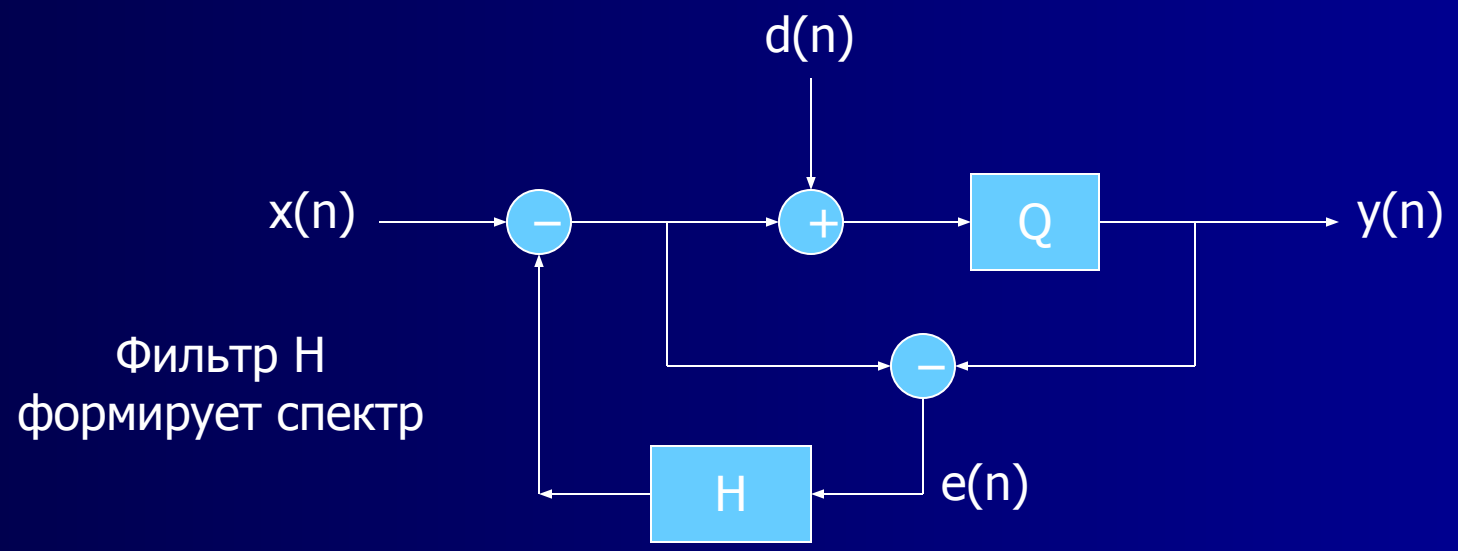
Dithering

MSU GRAPHICS & MEDIA LAB

- Можно ли уменьшить заметность шума дитеринга?
  - Уменьшение мощности шума может вызвать амплитудную модуляцию ошибки квантования исходным сигналом или вернуть гармонические искажения
  - Использовать ВЧ (ультразвуковой) шум дитеринга? Увы: ошибка квантования при этом не будет ультразвуковой (квантование распределит ее по всему спектру)

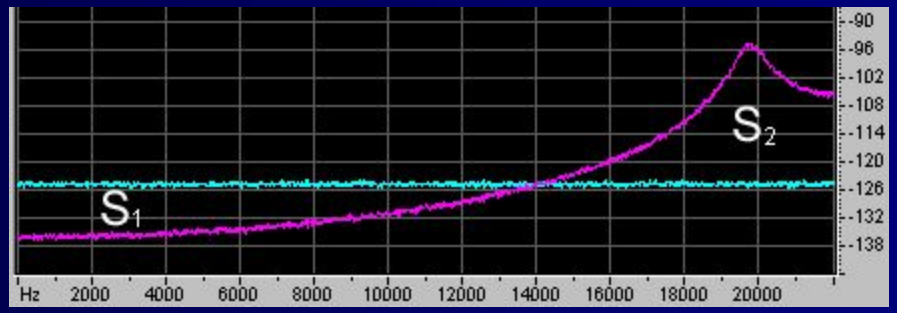
Noise shaping

- Решение: обратная связь вокруг квантователя может придать нужную форму спектру ошибки!
  - Спектр шума квантования можно сделать произвольным и вытеснить в ультразвук (с некоторыми ограничениями на общую мощность шума)
  - Общая мощность ошибки квантования увеличивается (несмотря на меньшую слышимость)

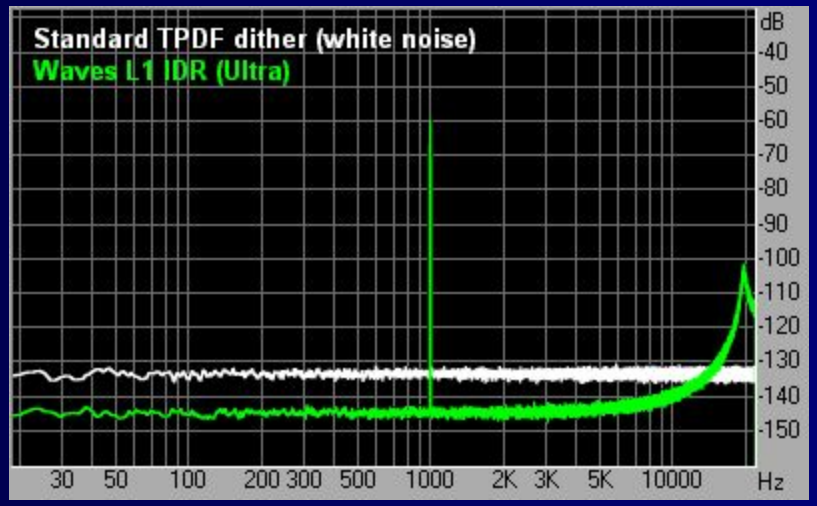


Noise shaping

- Ограничение на общую мощность шума



$S_1 = S_2$



- Высокое разрешение
- Округление до 8 бит
- Dithering
- Noise shaping

Аналогия из обработки изображений

- Квантование изображения до 1 бита

Исходное 8-битное изображение

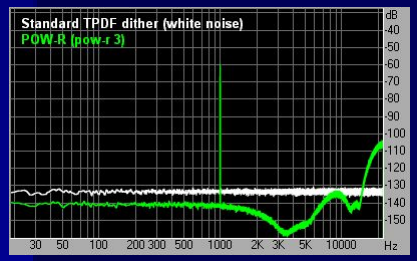
Бинаризация (округление до 1 бита)

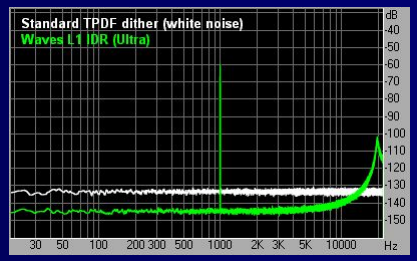
Добавление шума (dithering)

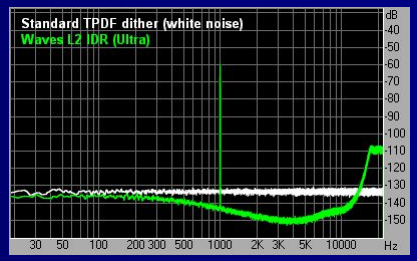
Диффузия ошибки (noise shaping)

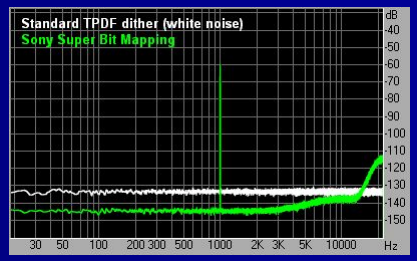
Существующие системы

- Коммерческие системы:
  - POW-R (several noise shaping options, most powerful – pow-r3)
  - Apogee UV22 and UV22-HR (specially generated dithering noise)
  - Waves L1 and L2 IDR (several noise shaping options) from L1 and L2 Ultramaximizers)
  - Sony Super Bit Mapping (noise shaping, adapts to spectrum of the source signal)
  - Many bit depth reductions in sound editors and hosts



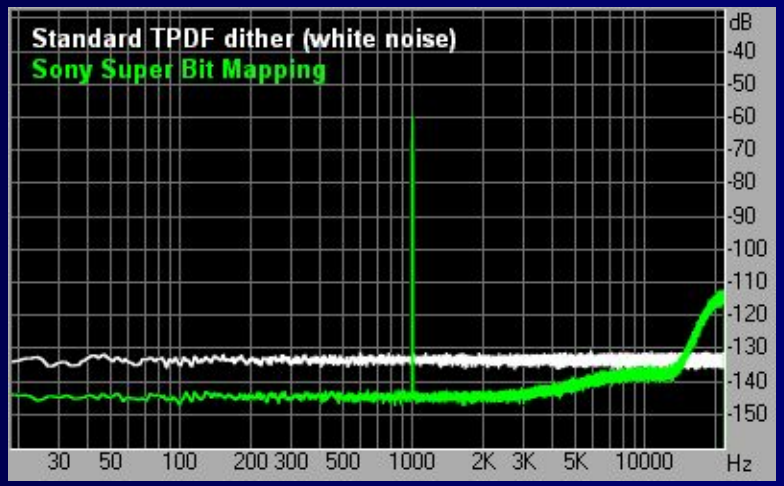


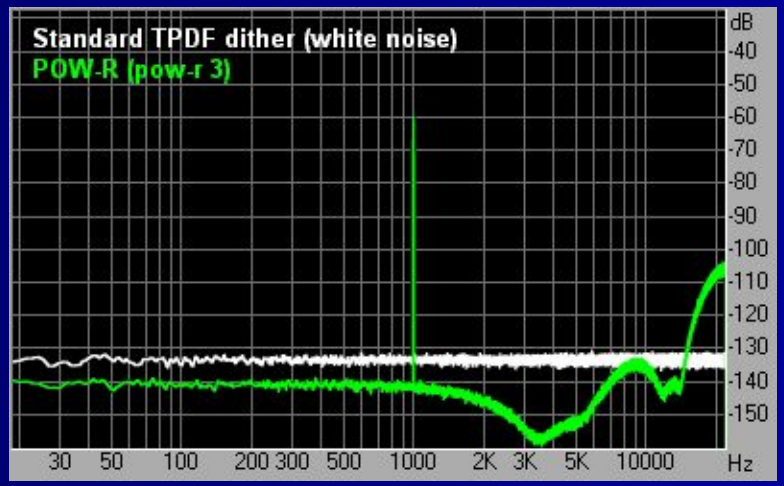




Оптимальные фильтры

- Недостатки существующих систем noise shaping:
  - Выбор неоптимальных кривых noise shaping
  - Неточная аппроксимация кривых
  - Низкий порядок фильтра → изгибы кривой → неприятная окраска шума квантования
  - В результате – снижение слышимого шума всего на 8 дБ





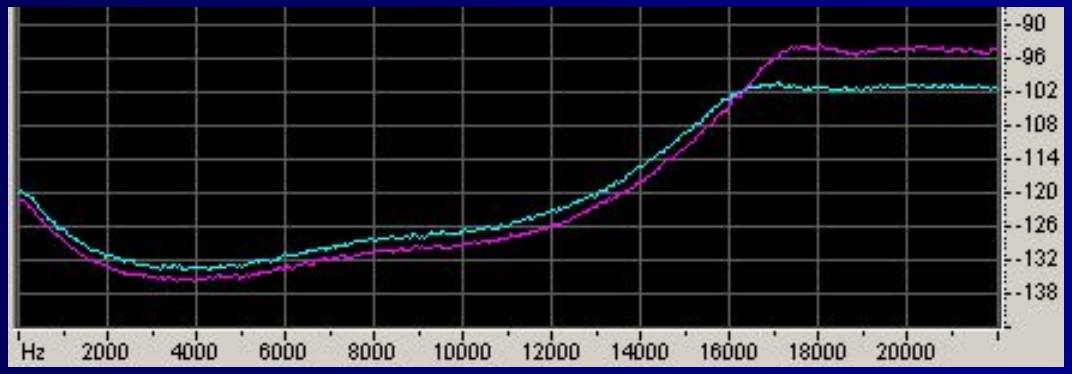
Оптимальные фильтры

MSU GRAPHICS & MEDIA LAB

- Требования к фильтрам
  - Обеспечить минимальную слышимость шума квантования
  - Не допустить чрезмерного увеличения мощности ВЧ-шума
- Показанные результаты
  - Эти требования противоречивы
  - Найден класс функций, принадлежащих компромиссной области задачи минимизации громкости и мощности шума

Оптимальные фильтры

- Теорема о виде оптимальных фильтров
  - Оптимальные фильтры являются срезками пороговой кривой чувствительности уха к шумам.



Система MBIT+

MSU GRAPHICS & MEDIA LAB

- Особенности
  - Управление количеством шума дитеринга и агрессивностью noise shaping
  - Наиболее сильное подавление слышимых шумов

High-resolution audio

Result of truncation to 8 bits

Result of dithering

Competing noise shaping

MBIT+