



MSU GRAPHICS & MEDIA LAB

Лектор: Лукин Алексей Сергеевич

Квантование, снижение разрядности, дитеринг

Задача

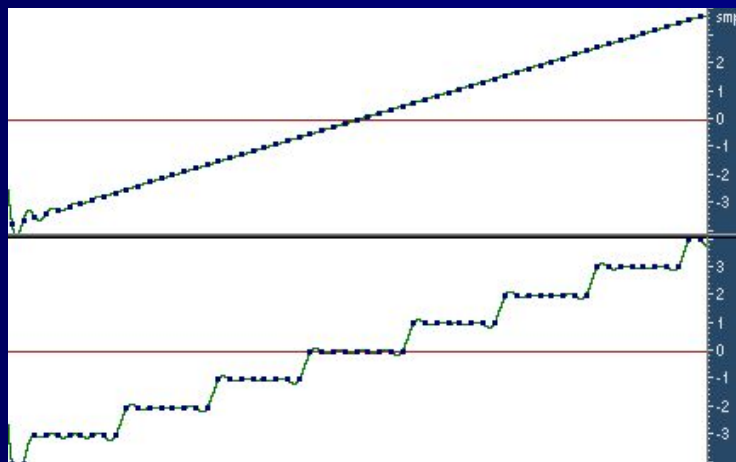


- Цель: снижение разрядности (т.е. преобразование сигнала с высоким разрешением – 24 или 32 бита – в 16-битный CD формат)

- Наивный подход:



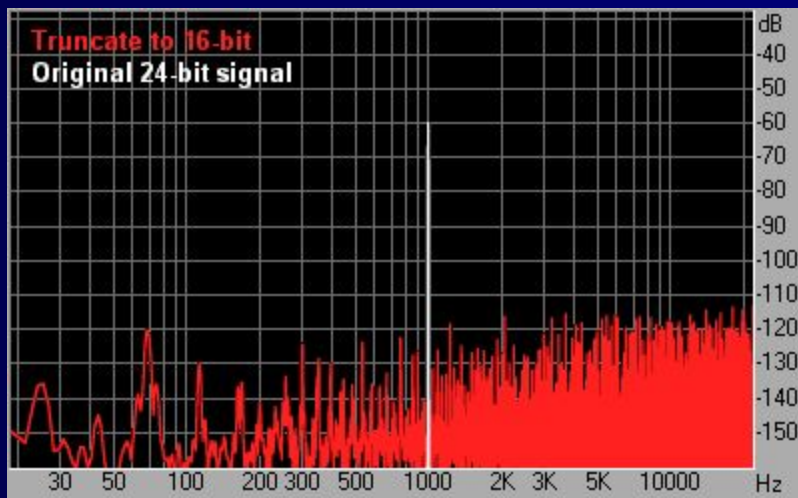
- ▶ Округление (квантование) каждого отсчета высокого разрешения до ближайшего отсчета низкого разрешения ("truncation")



Округление



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



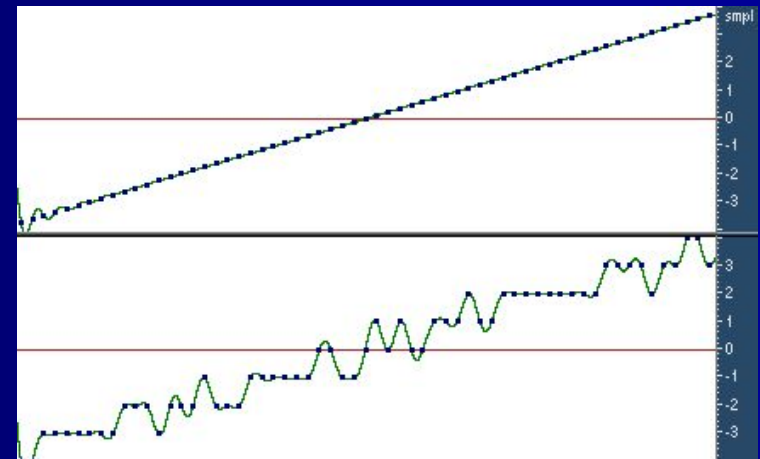
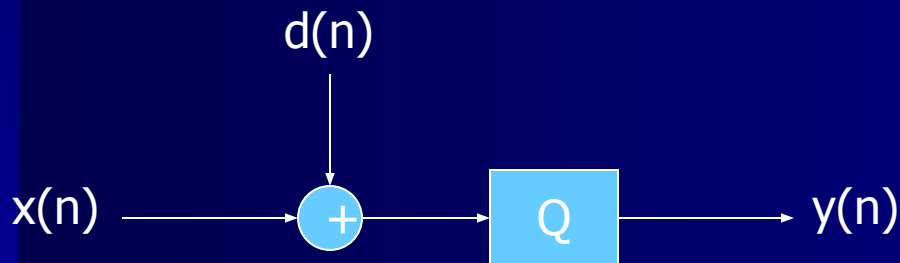
Высокое разрешение

Округление до 8 бит

Dithering

- Решение: добавление случайного шума перед квантованием – “dithering” – декоррелирует ошибку квантования и сигнал!

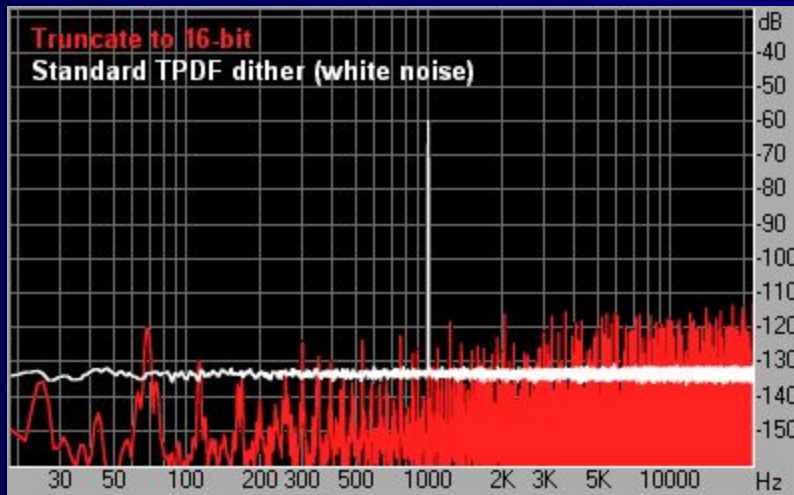
- ▶ Нет гармонических искажений
- ▶ Шум ровный и постоянный
- ▶ Увеличился общий уровень шума



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

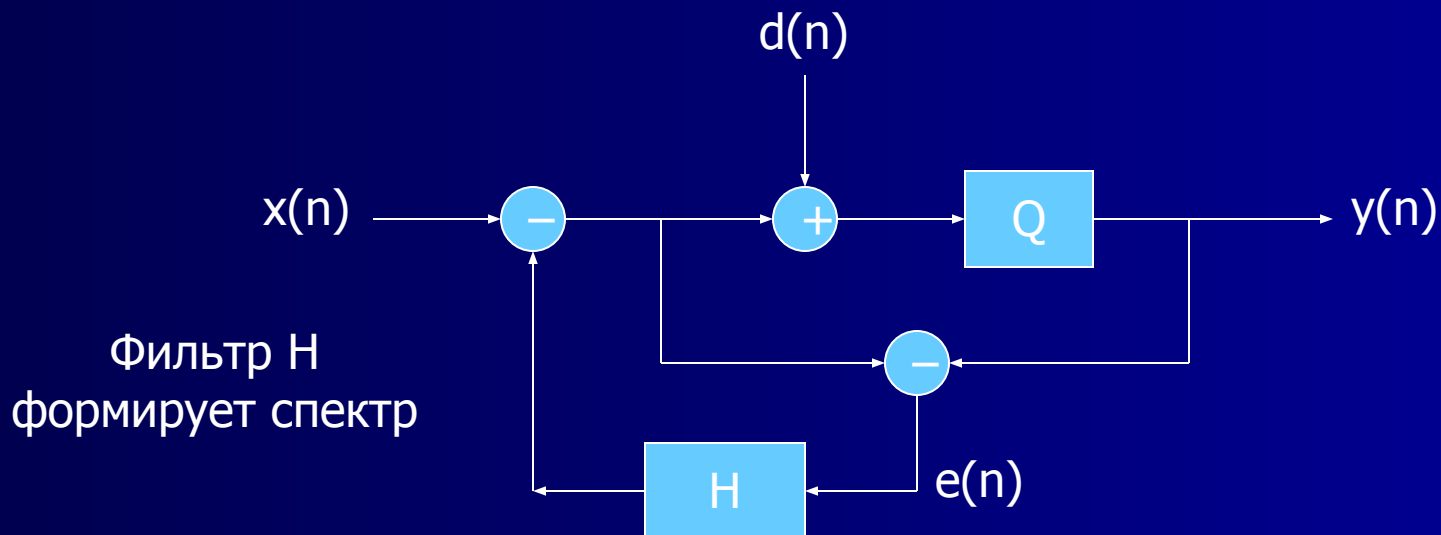


- Можно ли уменьшить заметность шума дитеринга?
 - ▶ Уменьшение мощности шума может вызвать амплитудную модуляцию ошибки квантования исходным сигналом или вернуть гармонические искажения
 - ▶ Использовать ВЧ (ультразвуковой) шум дитеринга?
Увы: ошибка квантования при этом не будет ультразвуковой (квантование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

Noise shaping



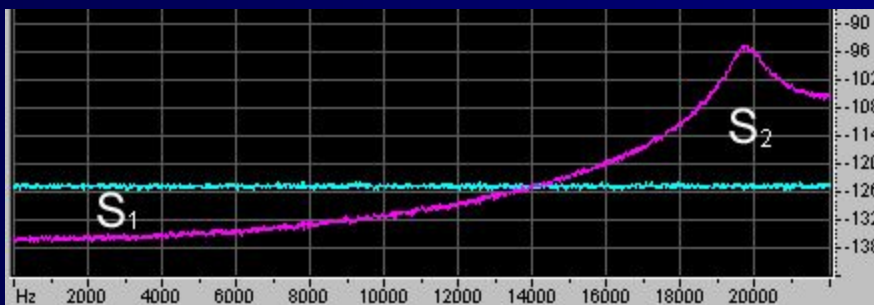
- Решение: обратная связь вокруг квантователя может придать нужную форму спектру ошибки!
 - ▶ Спектр шума квантования можно сделать произвольным и вытеснить в ультразвук (с некоторыми ограничениями на общую мощность шума)
 - ▶ Общая мощность ошибки квантования увеличивается (несмотря на меньшую слышимость)



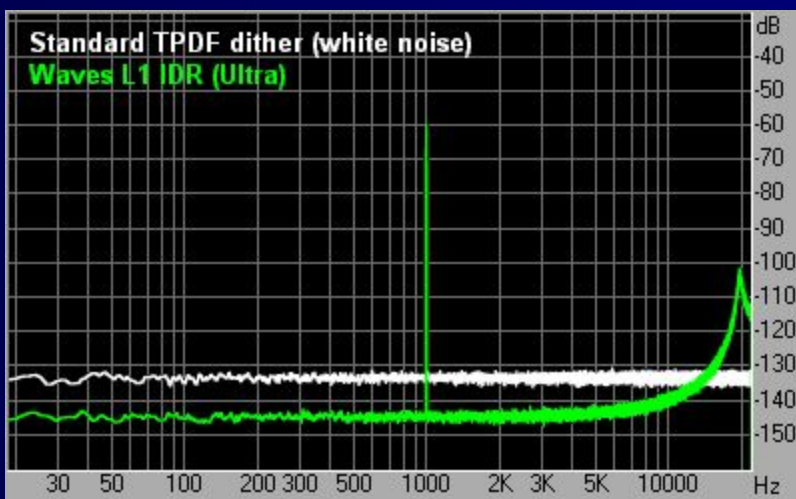
Noise shaping



- 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)



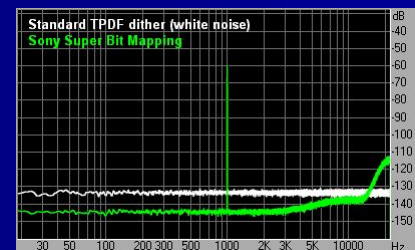
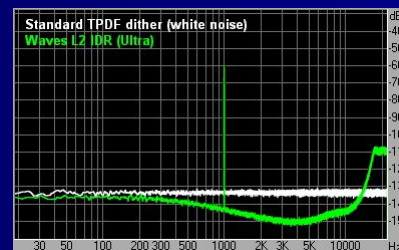
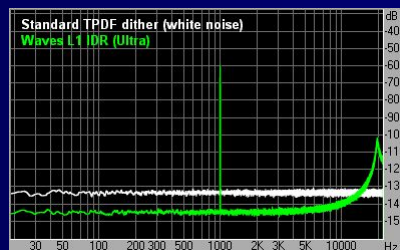
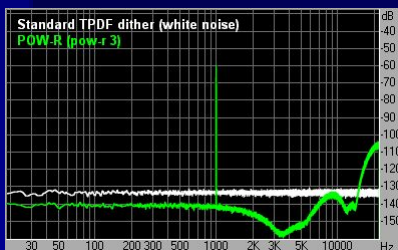
Диффузия ошибки (noise shaping)

Существующие системы



■ Коммерческие системы:

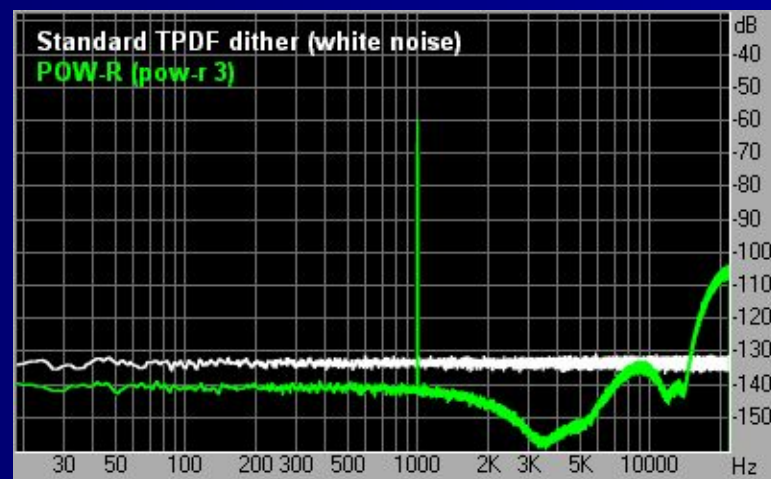
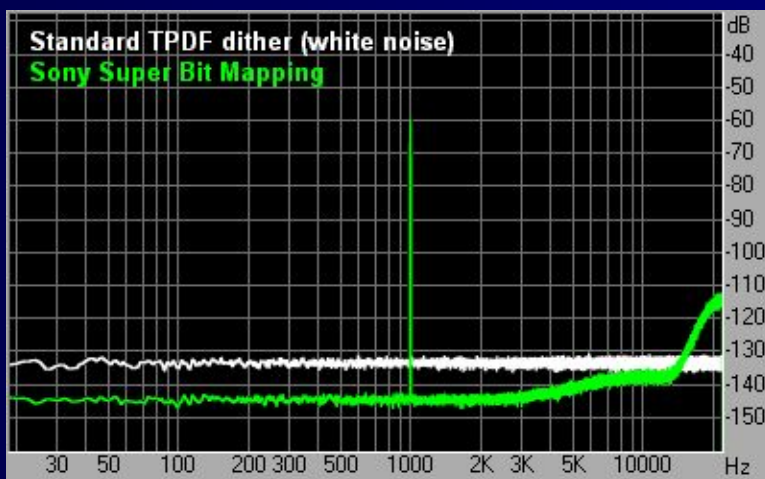
- ▶ POW-R (several noise shaping options, most powerful – pow-r3)
- ▶ Apogee UV22 and UV22-HR (specially generated dithering noise)
- ▶ Waves L1 and L2 IDR (several noise shaping options) from L1 and L2 Ultramaximizers)
- ▶ Sony Super Bit Mapping (noise shaping, adapts to spectrum of the source signal)
- ▶ 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

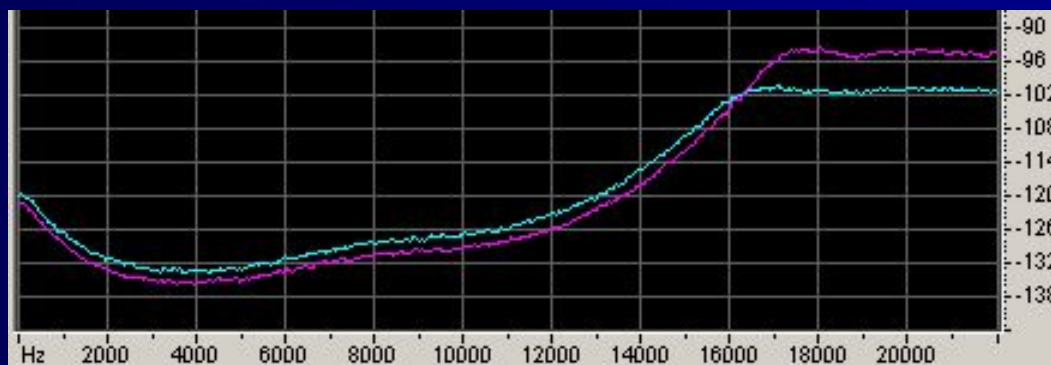


- Требования к фильтрам
 - ▶ Обеспечить минимальную слышимость шума квантования
 - ▶ Не допустить чрезмерного увеличения мощности ВЧ-шума
- Показанные результаты
 - ▶ Эти требования противоречивы
 - ▶ Найден класс функций, принадлежащих компромиссной области задачи минимизации громкости и мощности шума

Оптимальные фильтры



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



Система МВІТ+



■ 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

 МВІТ+