Лектор: Лукин Алексей Сергеевич

MSU GRAPHICS & MEDIA LAB

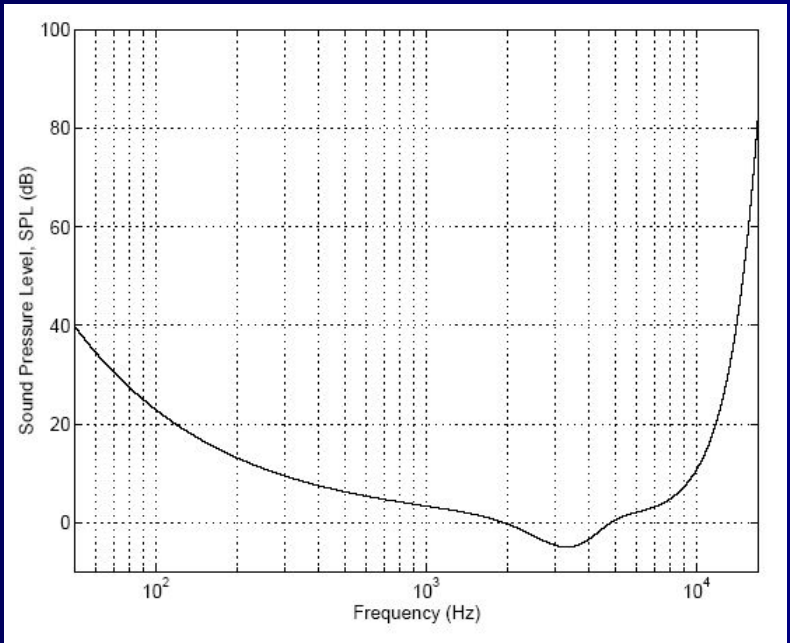
Применения банков фильтров

План

- Психоакустическая компрессия звука
  - Слуховая маскировка
  - Устройство алгоритма mp3
- Подавление стационарных шумов
  - Метод спектрального вычитания
  - STFT как банк фильтров, полосовые гейты
  - Проблема «музыкального шума»
  - Частотно-временное разрешение
- Расширение полосы частот в аудиосигнале

Слуховая маскировка

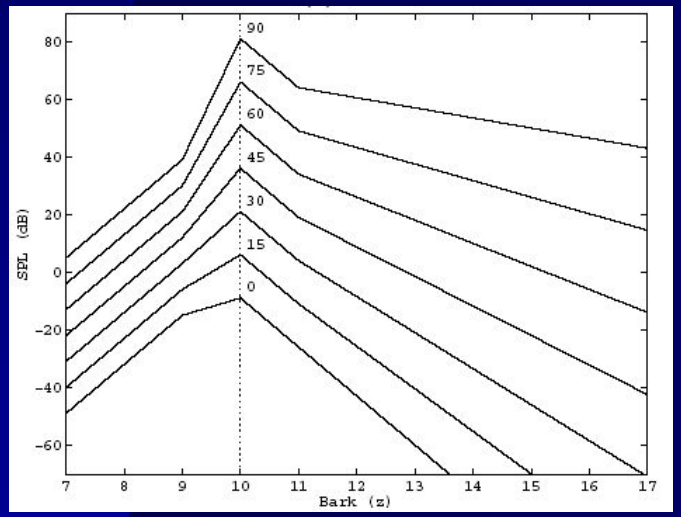
- Абсолютный порог слышимости

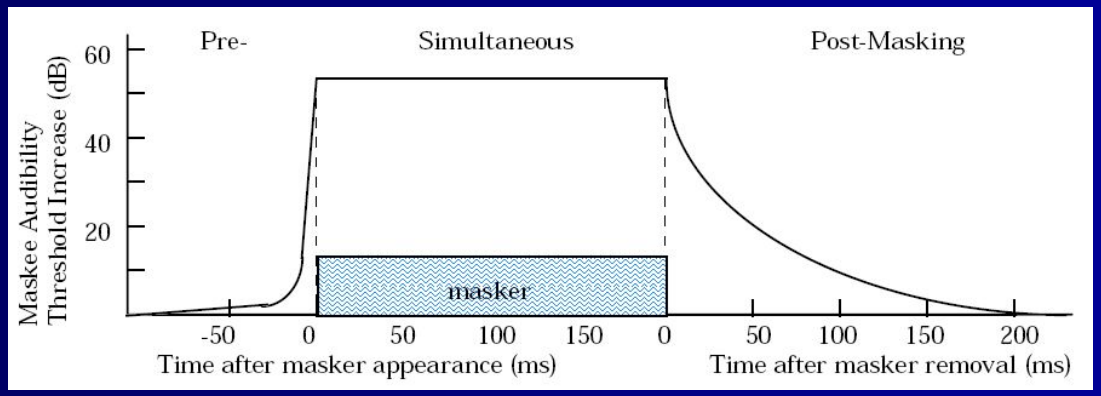


- Как соотнести уровни в звуковом файле с абсолютными уровнями звука?

Слуховая маскировка

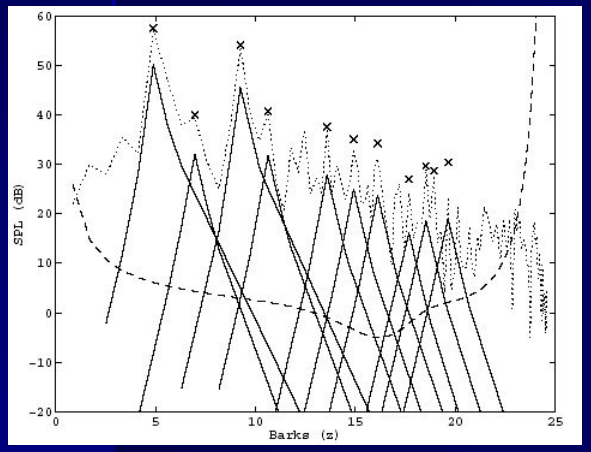
- Сильные звуки *(masker)* маскируют более слабые *(maskee)*
  - Одновременная маскировка
  - Временн**а**я маскировка (прямая и обратная)

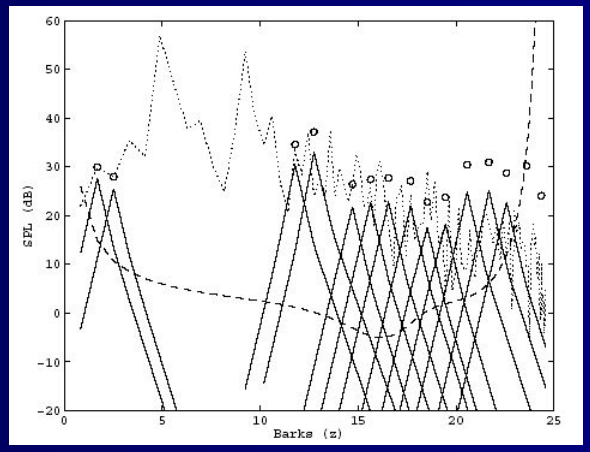


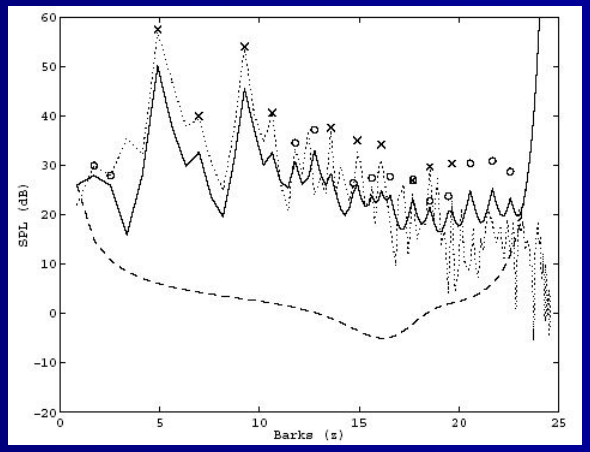


Слуховая маскировка

- Маскировка тонами, шумами и общий порог маскировки







- Шаг квантования выбирается пропорциональным порогу маскировки

Алгоритм mp3

- Кодирование аудиоданных с потерями

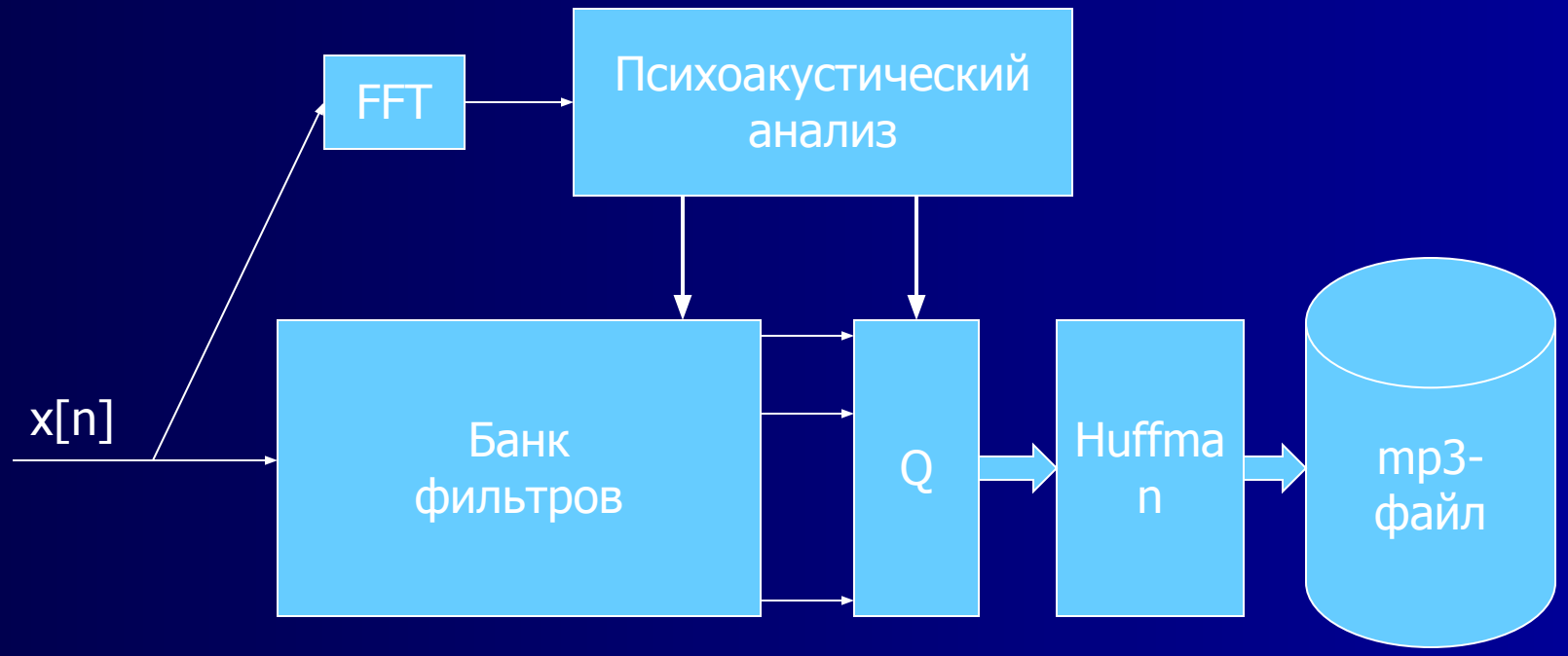


Схема кодера mp3

Пред-эхо

- Pre-echo (pre-ringing)

Размытие ошибки квантования по времени на всю длину окна

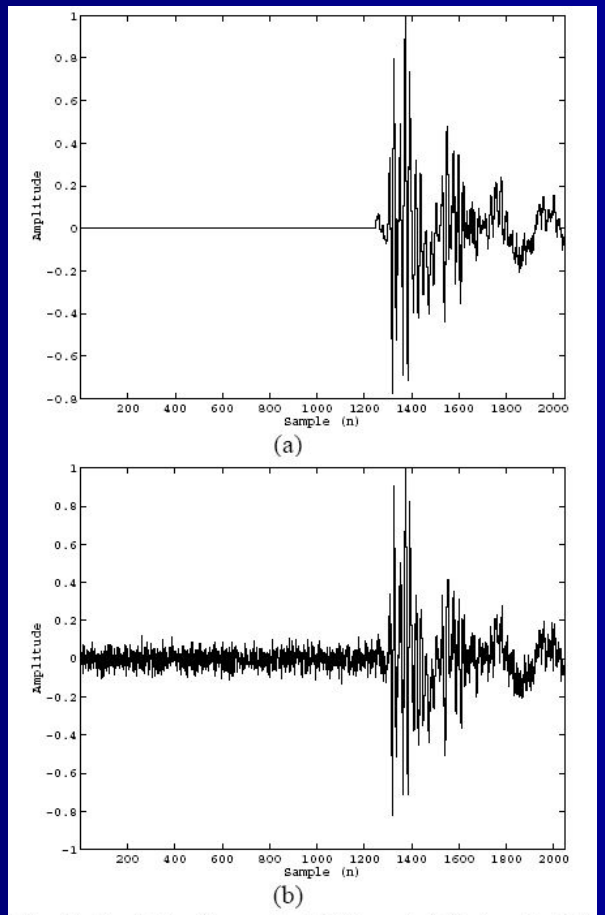
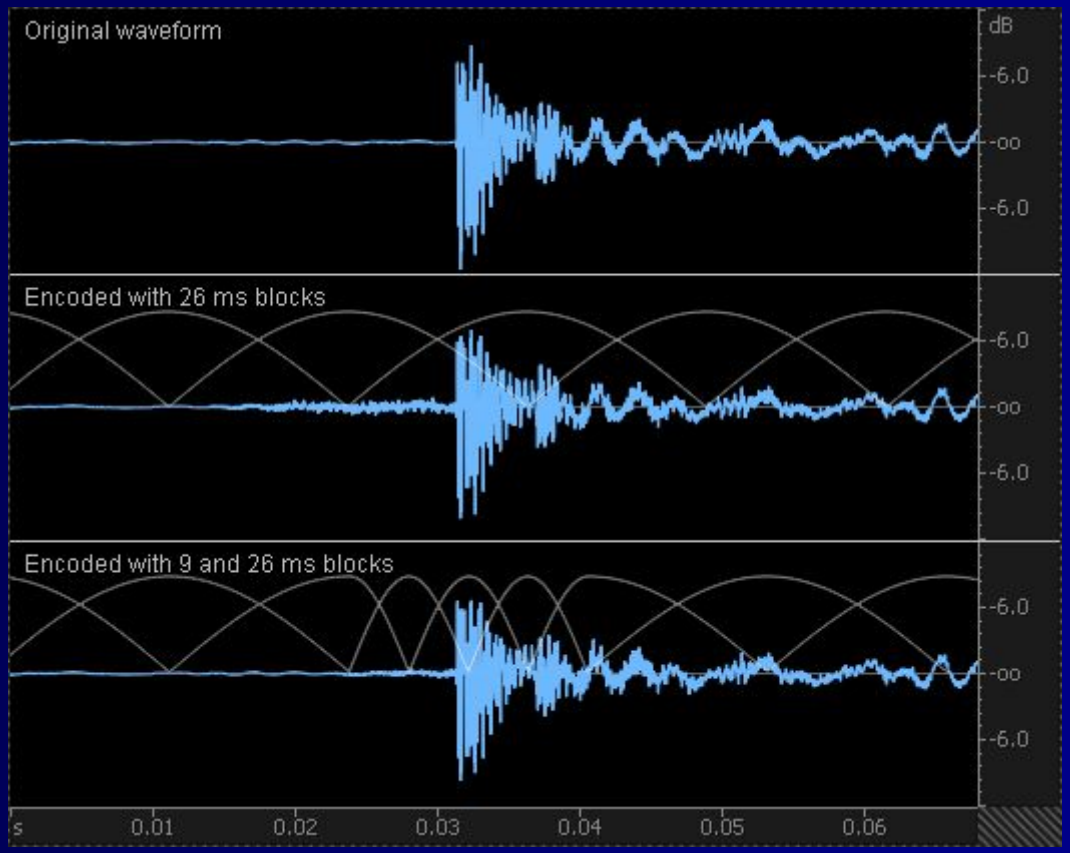


Fig. 8. Pre-Echo Example: (a) Uncoded Castanets. (b) Transform Coded Castanets, 2048-Point Block Size

Пред-эхо

- Переключение размера окон в банке фильтров



Виды шумов и искажений

- Источники шумов и искажений
  - На заре звукозаписи – ограничения аппаратуры
  - Сейчас – бюджетная аппаратура, неидеальные условия записи, архивные материалы

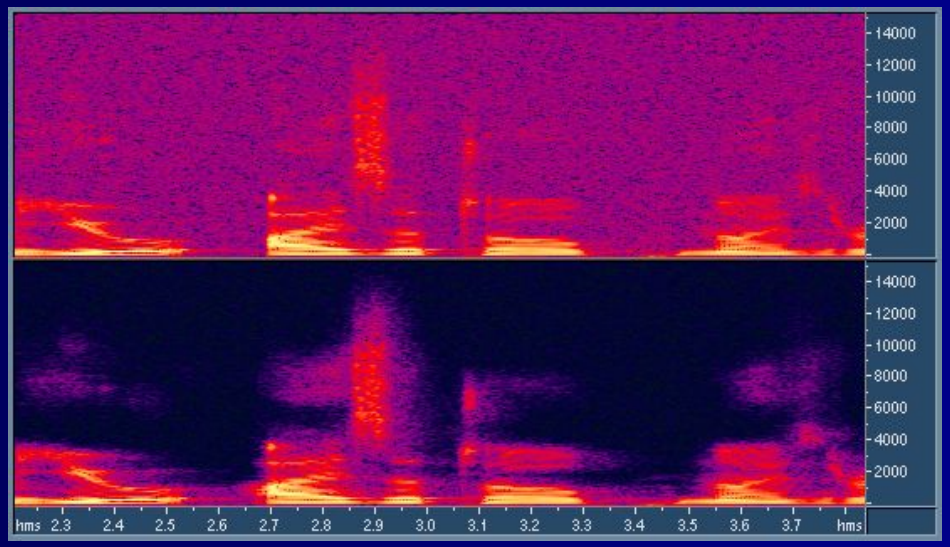
⇓

Проблема по-прежнему актуальна!

Шумоподавление

- Аддитивный шум $$dirty[n] = clean[n] + noise[n]$$

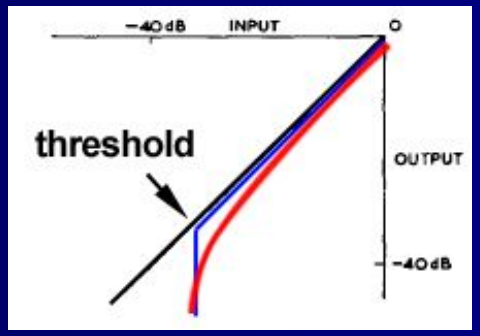
Шум предполагается стационарным,
т.е. не меняющимся во времени (средняя мощность, спектр)

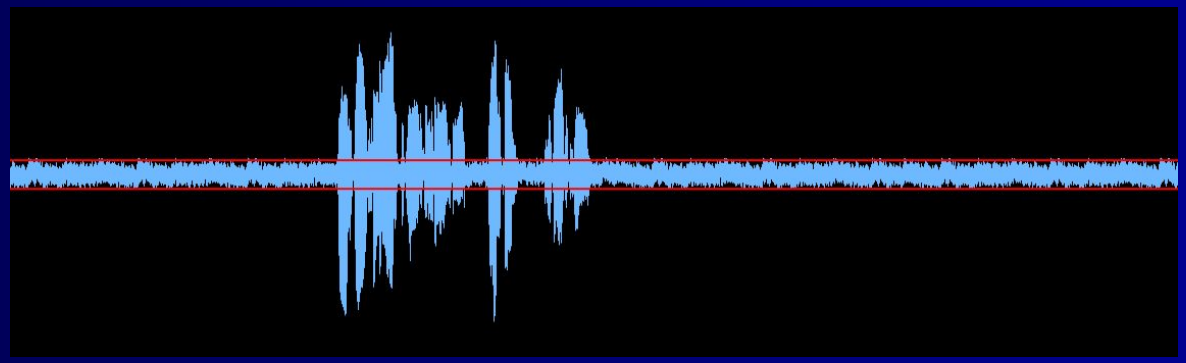


Метод спектрального вычитания

Шумоподавление

- Простейшие методы: гейт (1940)

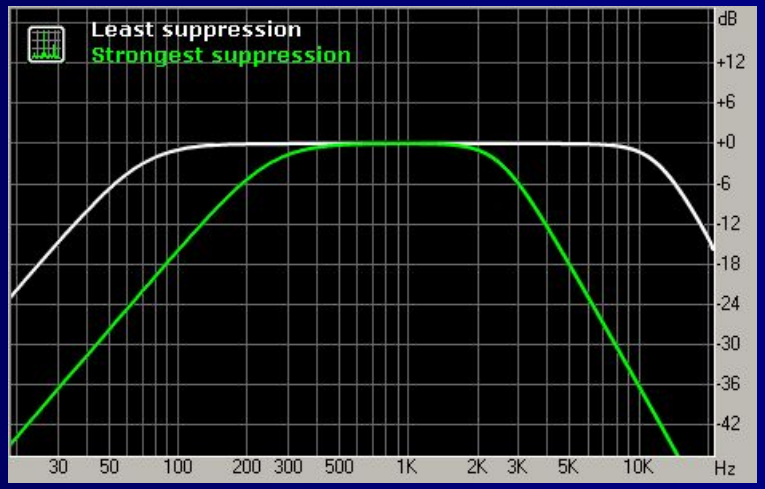




подавление сигналов ниже определенной амплитуды

Шумоподавление

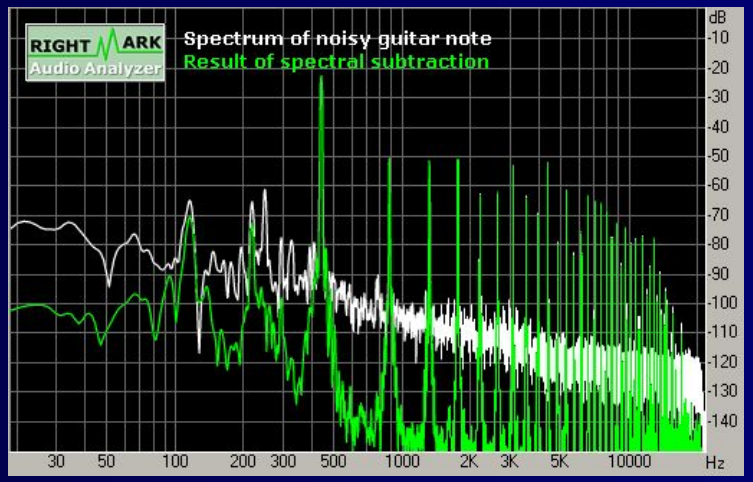
- Простейшие методы: адаптивный эквалайзер (1946)

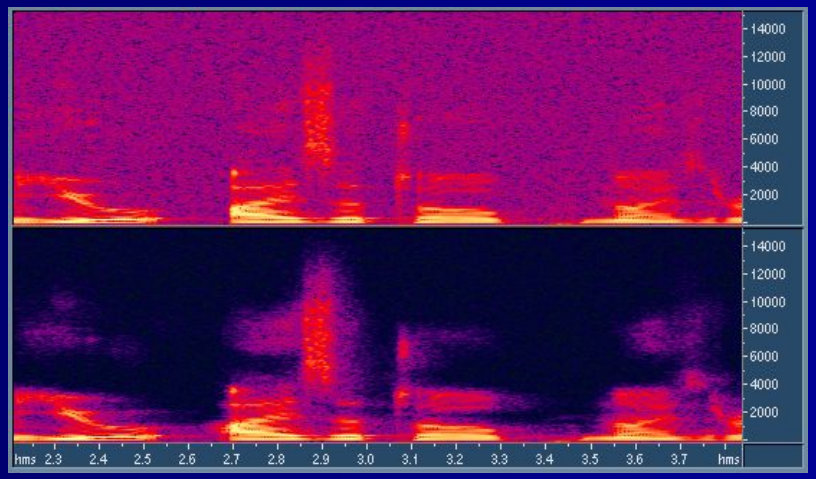


частота среза зависит от ширины спектра сигнала

Стационарные шумы

- Общий принцип подавления
  1. Преобразование, компактно локализующее энергию (energy compaction)
  2. Модификация коэффициентов преобразования (подавление коэффициентов, соответствующих шуму)
  3. Обратное преобразование (восстановление очищенного сигнала)





Спектральное вычитание

Spectral Subtraction,
Short-Time Spectral Attenuation

- Спектральное вычитание для аудиосигналов
  1. STFT
  2. Оценка спектра шума по участку без полезного сигнала
  3. «Вычитание» спектра шума из спектра сигнала
  4. Обратное STFT

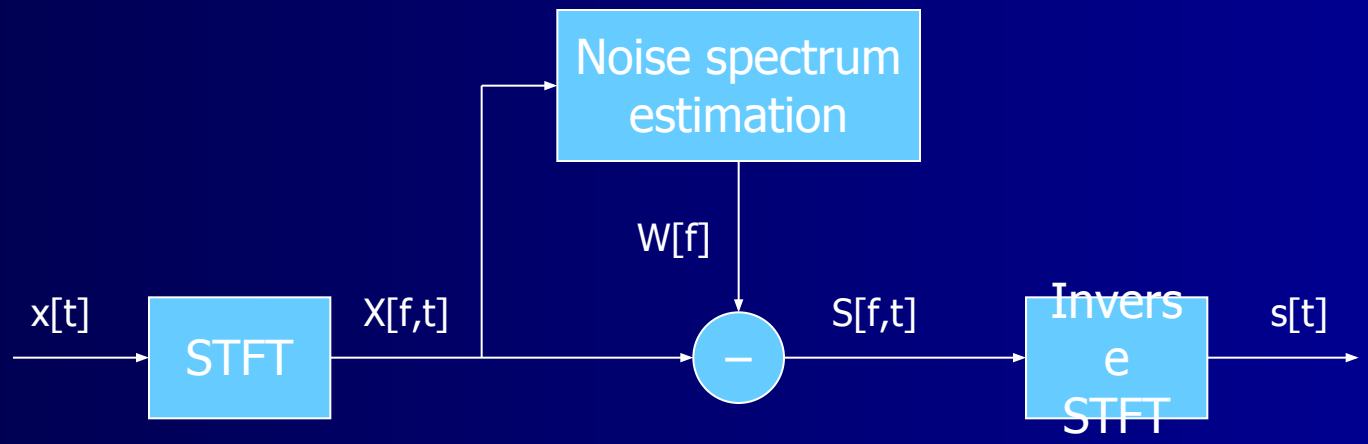


Схема алгоритма спектрального вычитания

Спектральное вычитание

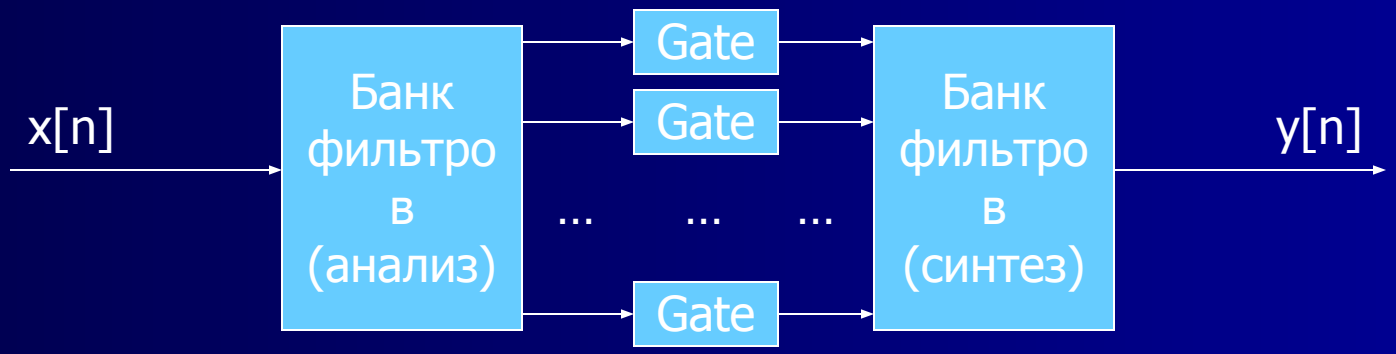
- Требования к банку фильтров
  - Точное (или почти точное) восстановление
  - Отсутствие «эффекта блочности» (перекрытие, окна)
  - Хорошая частотная локализация
  - Не требуется: сохранение количества информации

Выбираем банк фильтров,
основанный на STFT

Шумоподавление

- Многополосная интерпретация

Гейт (gate) – устройство, подавляющее тихие сигналы (громкие пропускаются без изменения)



Пороги срабатывания гейтов зависят от уровня шума в каждой частотной полосе

Спектральное вычитание

MSU GRAPHICS & MEDIA LAB

- Конструкция гейтов
  - Порог срабатывания зависит от шума → нужно знать параметры шума → обучение
  - Мягкое или жесткое срабатывание

Пример подавления:

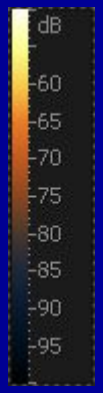
$$G[f,t] = \max\left\{1 - \frac{W[f,t]}{X[f,t]},\ 0\right\}$$

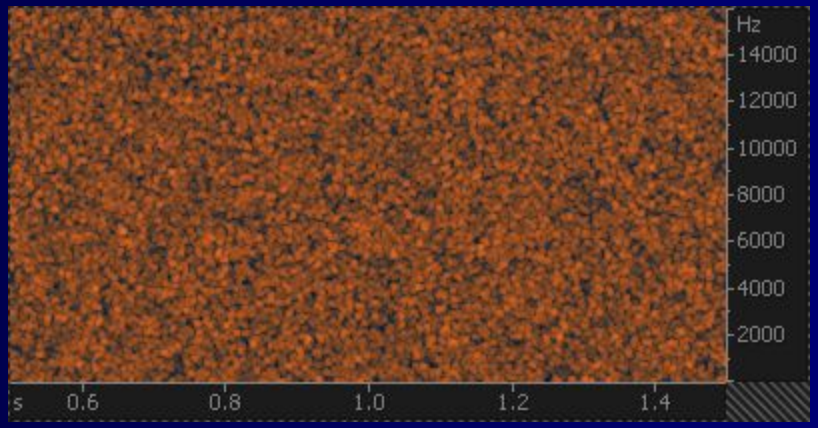
Здесь G – коэффициент усиления,
W – оценка амплитуды шума,
X – амплитуда сигнала.

  - Время срабатывания (attack/release time)
  - Ограничение степени подавления

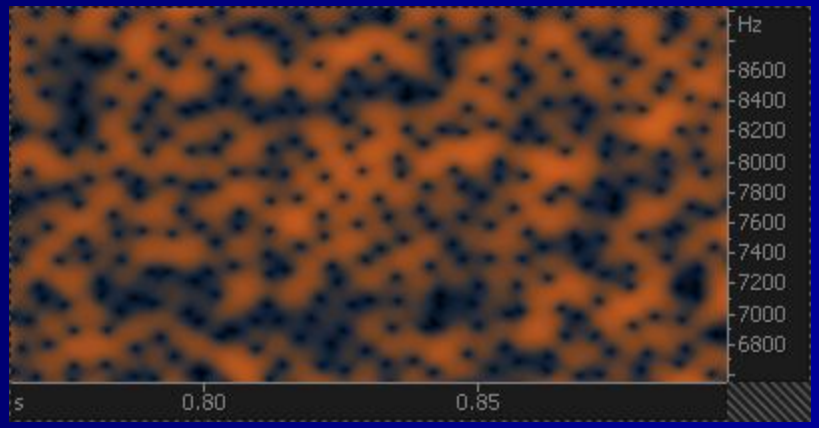
Шумоподавление

- Шум случаен → его спектр тоже случаен
- Пример спектра белого шума:





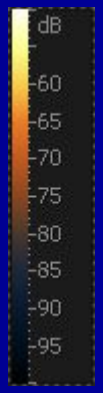
общая спектрограмма

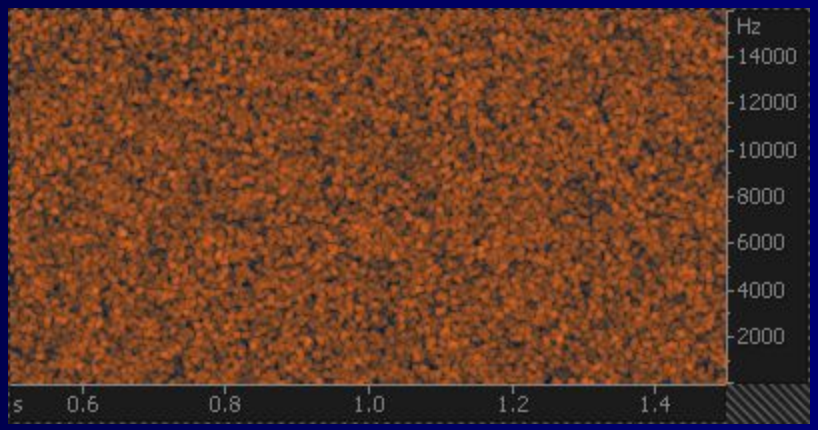


приближенный фрагмент

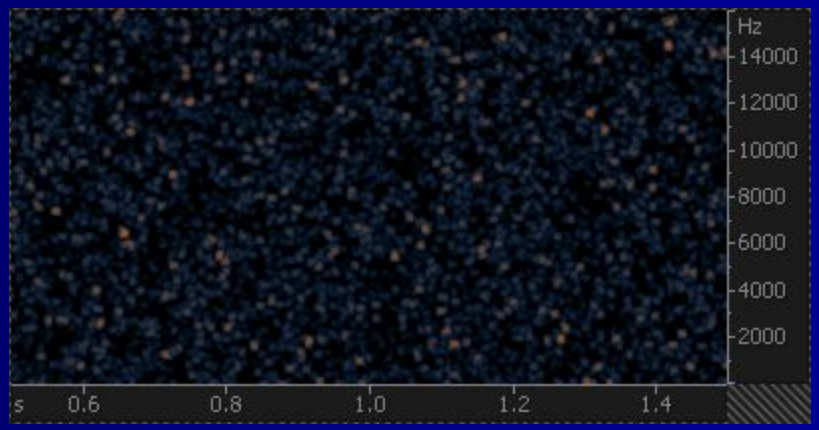
Шумоподавление

- После спектрального вычитания появляются случайно расположенные всплески энергии – артефакт «музыкальный шум» (musical noise)





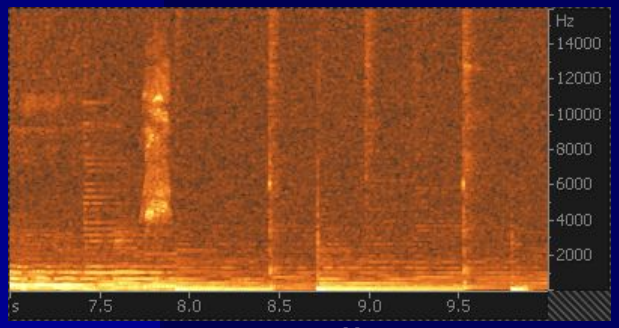
общая спектрограмма



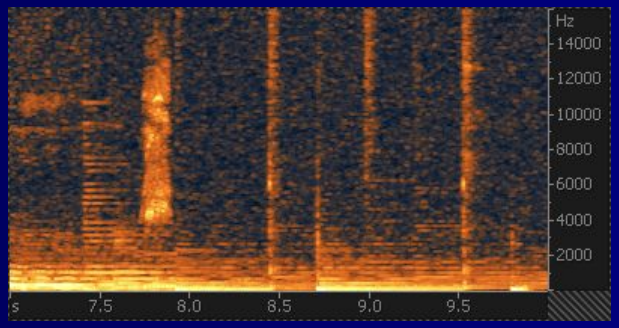
«музыкальный шум»

Шумоподавление

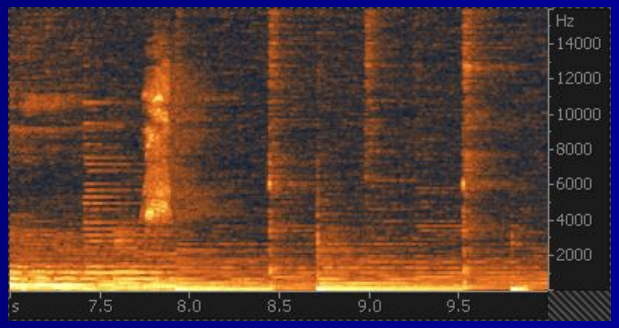
- Музыкальный шум: методы борьбы
  - Завышение порога *(недостаток – теряем больше сигнала)*
  - Ограничение G(f, t) снизу *(чтобы музыкальный шум маскировался естественным шумом)*
  - Увеличение времени срабатывания гейтов *(при слишком сильном увеличении получается шумовое эхо и смазываются атаки в сигнале)*
  - Сглаживание G(f, t) по времени и/или по частоте



зашумленный сигнал



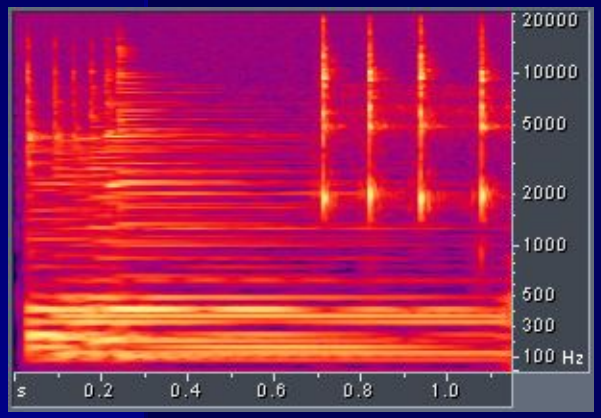
простое спектр. вычитание



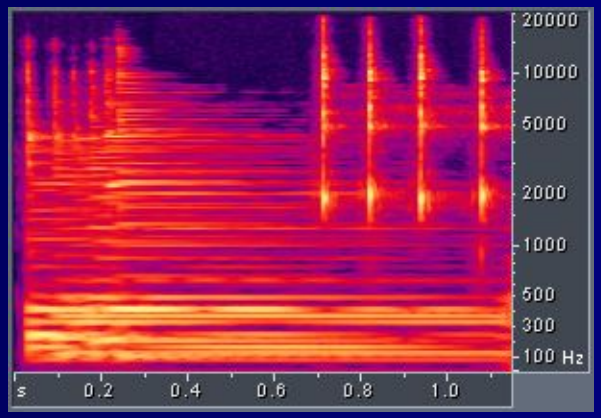
сглаживание по времени

Спектральное вычитание

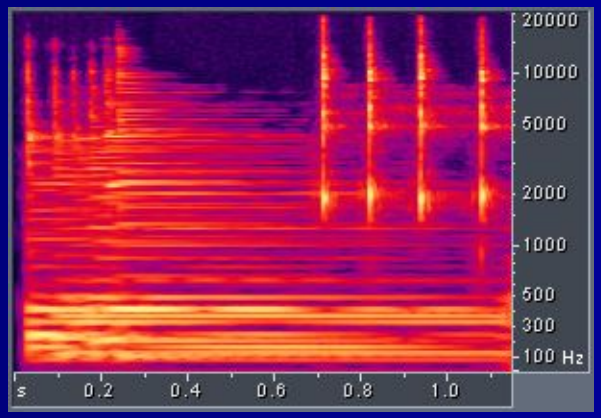
- Эффекты фиксированного частотно-временного разрешения
  - Эффект Гиббса (размытие транзиентов)
  - Недостаточное частотное разрешение



Зашумленный сигнал



Размер окна 50 мс

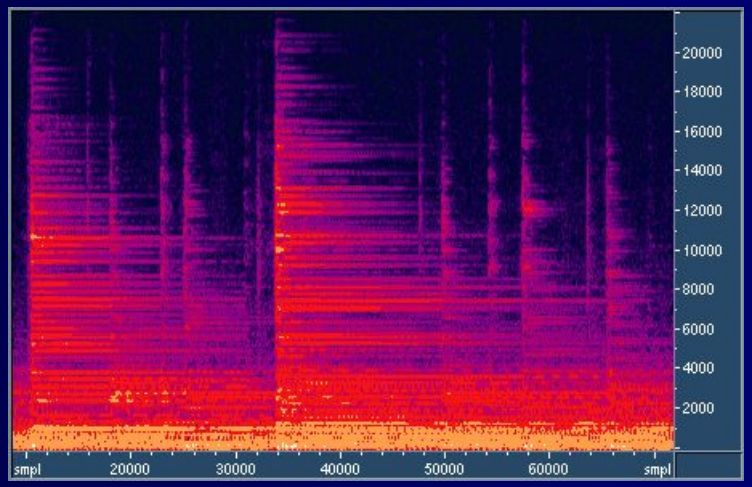


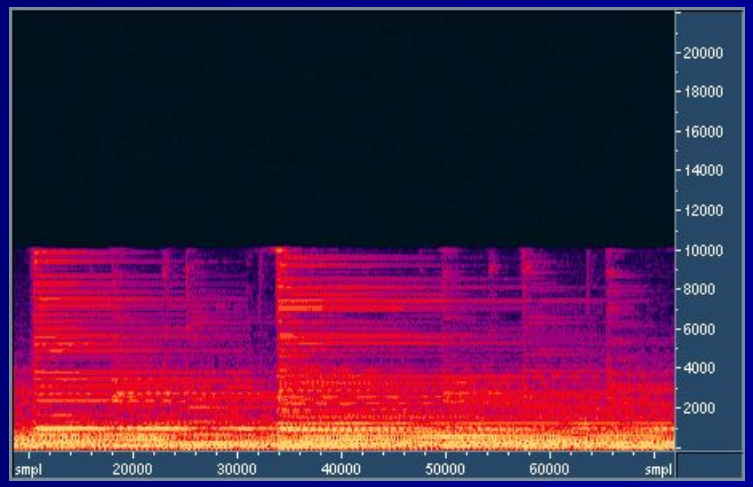
Адаптивное разрешение

Расширение частотного диапазона

MSU GRAPHICS & MEDIA LAB

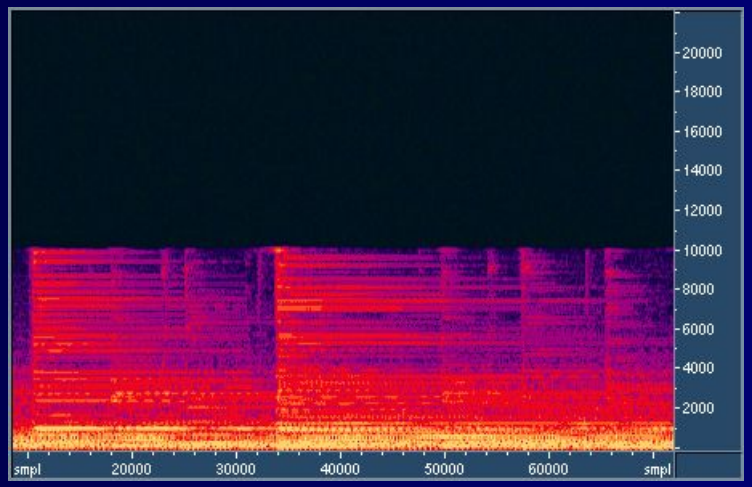
- Задача расширения
  - Дано аудио, обработанное НЧ-фильтром *(т.е. без высоких частот, например – после mp3-компрессии)*
  - Нужно достроить высокие частоты, основываясь только на низких *(или, возможно, на дополнительной информации о ВЧ, закодированной в потоке)*

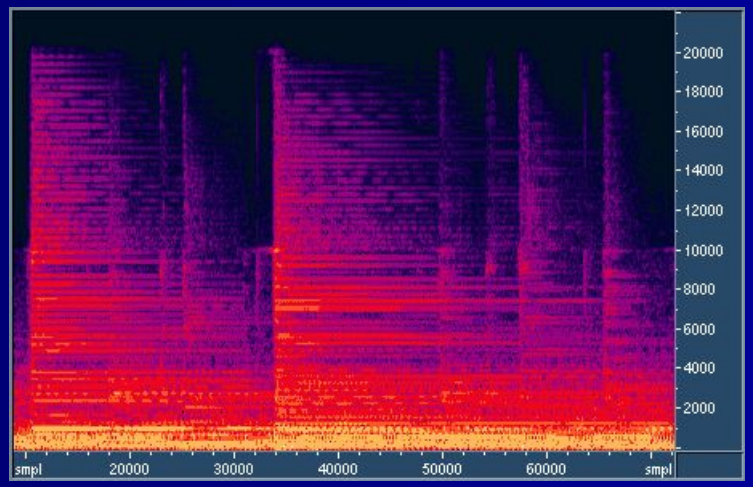




Расширение частотного диапазона

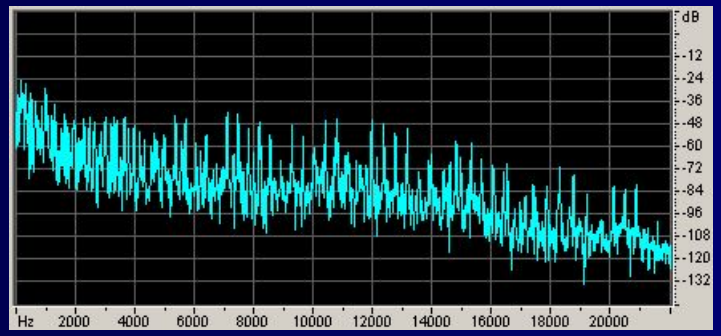
- Метод
  1. Сгенерировать грубое приближение высоких частот по низким *(методы spectral replication, distortion, vocoder+resampling)*
  2. Придать грубому приближению желаемую форму *(продолжение низких частот по энергии, степени тональности и т. д.)* – здесь используем банки фильтров

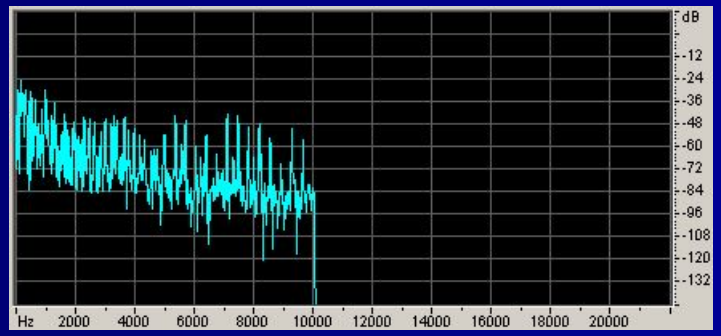


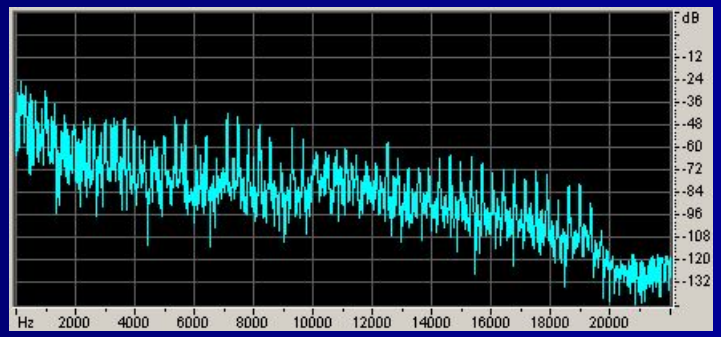


Расширение частотного диапазона

- Пример







Линейное продолжение общей формы низких частот