Zvuk a multimédia II.

Adam J Sporka
sporkaa@fel.cvut.cz

Petr Skřípal
petr.skripal@seznam.cz

Multimédia a Animace, zima 2010/2011

Přednášky o zvuku v MMA

- Základy (21.10.2010)
  - Co patří pod pojem „zvuk“
  - Fyzikální principy
  - Vnímání zvuku
- **Práce se zvukovým signálem (4.11.2010)**
  - **Zpracování v časové oblasti (hlasitost, střih, …)**
  - **Zpracování ve frekvenční oblasti (filtry, pitch shifting, …)**
  - **Zvukové efekty**
  - **Syntéza zvuku**
- Práce s hudbou (11.11.2010)
  - Rozhraní pro tvorbu hudbu
  - Procedurální audio

  + workshop: Ozvučení klipů z 3. cvičení

Digitální zvukový signál

- Posloupnost hodnot, vypovídající o tom, jaká byla okamžitá amplituda v době vzorkování

  $s[n]$

- Vzorky stejně daleko od sebe
  - Vzorkovací frekvence
    - 44100 Hz pro CD, 8000 Hz pro telefonní kvalitu, apod.

- Vzorky mají určitý numerický rozsah
  - Hloubka rozlišení
    - 16 bit pro CD, 24 nebo 48 bit na studiových zařízeních, 8 bit na starších zvukových kartách

<D>

Přehrávání zvukového signálu

- Teoreticky velmi jednoduché:

Digitální signál > Analogový signál > Zesilovač > Reproduktory

Přehrávání: Praktické problémy

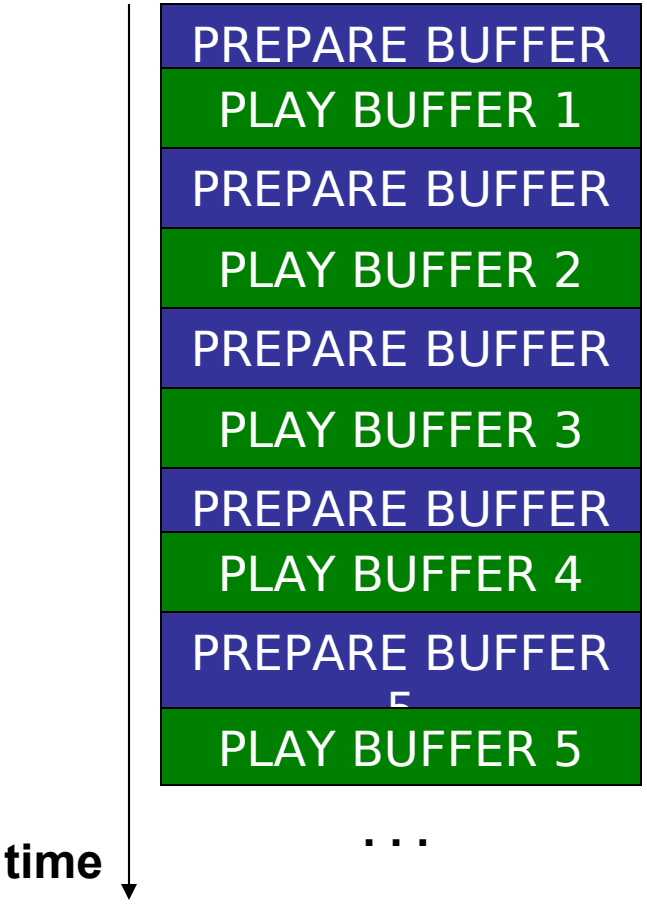
- Vzorkovací frekvence se neshoduje s frekvencí přehrávání
  - Problém při nahrávání více stop přes sebe
    - Mírná změna výšky a tempa
  - Problém při použití více zvukových karet
    - Vícekanálové audio pomocí více karet
    - Problém při přenosu zvuku přes Internet

Přehrávání: Praktické problémy

- Charakteristika sluchátek / reproduktorů
  - Referenční sluchátka
  - Referenční studiové reproduktory
- Akustické vlastnosti prostředí
- Práce s bufferem

Přehrávání

```
while (want_to_play) {
  prepare_buffer();
  play_buffer();
}
```



Přehrávání

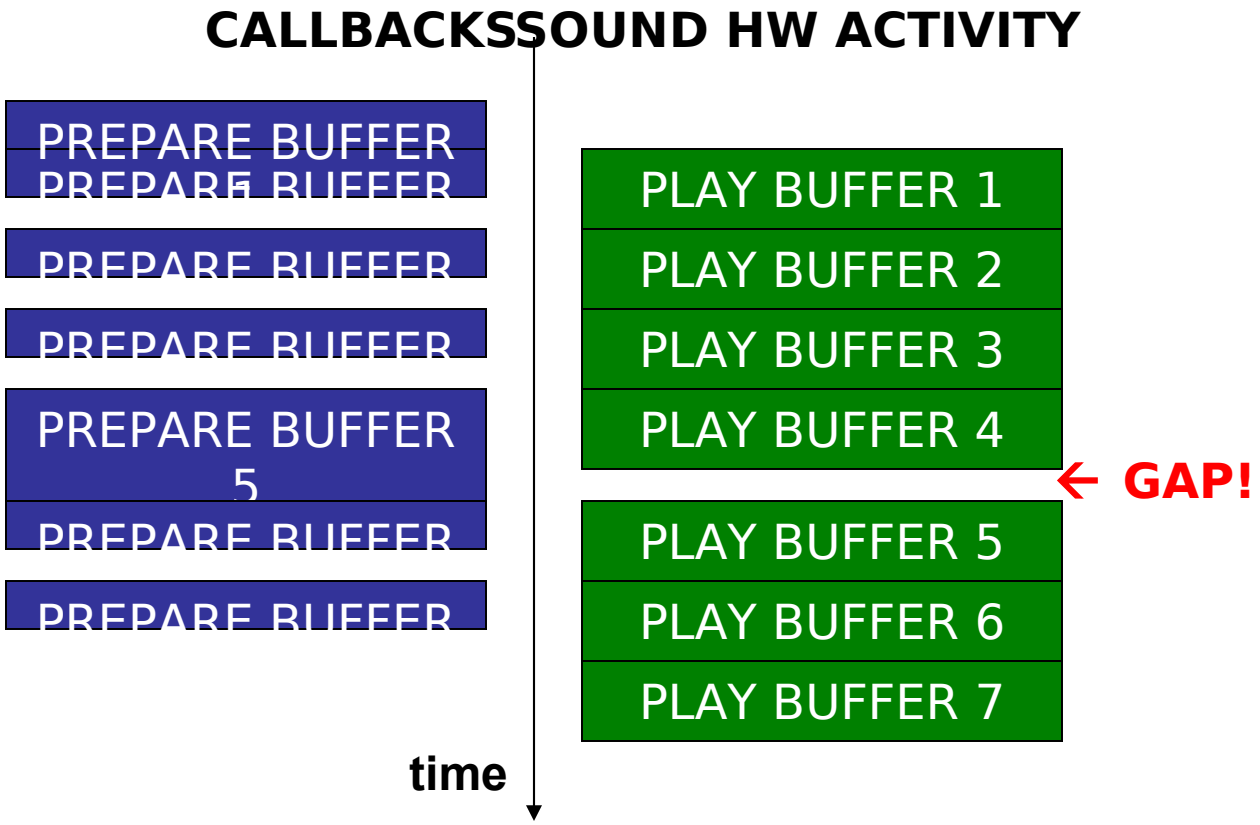
- Paralelní procesy
  - Generování bufferu zároveň s přehráváním již vygenerovaného bufferu
  - Obsluha přehrávání (řeší OS / API)
    - Fronta bufferů
    - Výzva k vygenerování dalšího bufferu

Přehrávání

```
// Main thread
audioAPI_set_callback(&some_func
    tion);
audioAPI_play();
carry_out_the_main_task();
audioAPI_stop();
```

```
// Callback function
static cursor = 0;
void some_function(
    signed_8bit_number
    *dest_buff,
    int length)
{
    for (int a=0; a<length; a++) {
    cursor ++;
    double time = cursor / 44100;
    dest_buff[a] = 127*sin(time);
    }
}
```

Přehrávání


CALLBACKS
SOUND HW ACTIVITY
PREPARE BUFFER
PREPARE BUFFER
PREPARE BUFFER
PREPARE BUFFER
PREPARE BUFFER 5
PREPARE BUFFER
PREPARE BUFFER
PLAY BUFFER 1
PLAY BUFFER 2
PLAY BUFFER 3
PLAY BUFFER 4
GAP!
PLAY BUFFER 5
PLAY BUFFER 6
PLAY BUFFER 7
time

Přehrávání

- Více bufferů ve frontě
  - 4 buffery po 256 vzorcích @ 44100 Hz
    - 23 ms
      - ISO 9241: “20ms of delay causes no degradation in user performance”
    - Rychlá odezva
    - Malý prostor pro chyby
  - 10 bufferů po 1024 vzorcích @ 44100 Hz
    - 230 ms
      - ISO 9241: “100ms of delay causes 50% degradation in user performance”
    - Bezpečnější
    - Pomalejší odezva
    - Nevhodné pro real-time úlohy

Pořizování (A/D konverze)

- Volba vzorkovací frekvence
  - Podle nejvyšší frekvence v signálu
- Volba rozlišení
- Nastavení zesilovače
  - Přebuzení ➔ ztráta informace

<clipping_example.aup>

Zpracování zvukového signálu

- Úprava vlastností již existujícího zvukového signálu
- Typická použití
  - V reálném čase
    - Ozvučení sálu
    - Přímý přenos (rozhlas / televize)
  - Post-processing
    - Zpracování pořízené nahrávky před masteringem
    - Odstranění šumu

Příklady z praxe

- DSP modelování emocí obsažených v hlase:
  - Vliv výšky hlasu, intonace, rychlosti řeči, průměrné výšky tónu, množství oscilací…
  - Úprava multidimenzionalní prozódické linky:
    - Time stretching, pitch shifting
    - …

<prosody>

Časová oblast

Změna hlasitosti

$$s_{\text{out}}[n] = c \cdot s_{\text{in}}[n]$$

- *c* ... koeficient zesílení

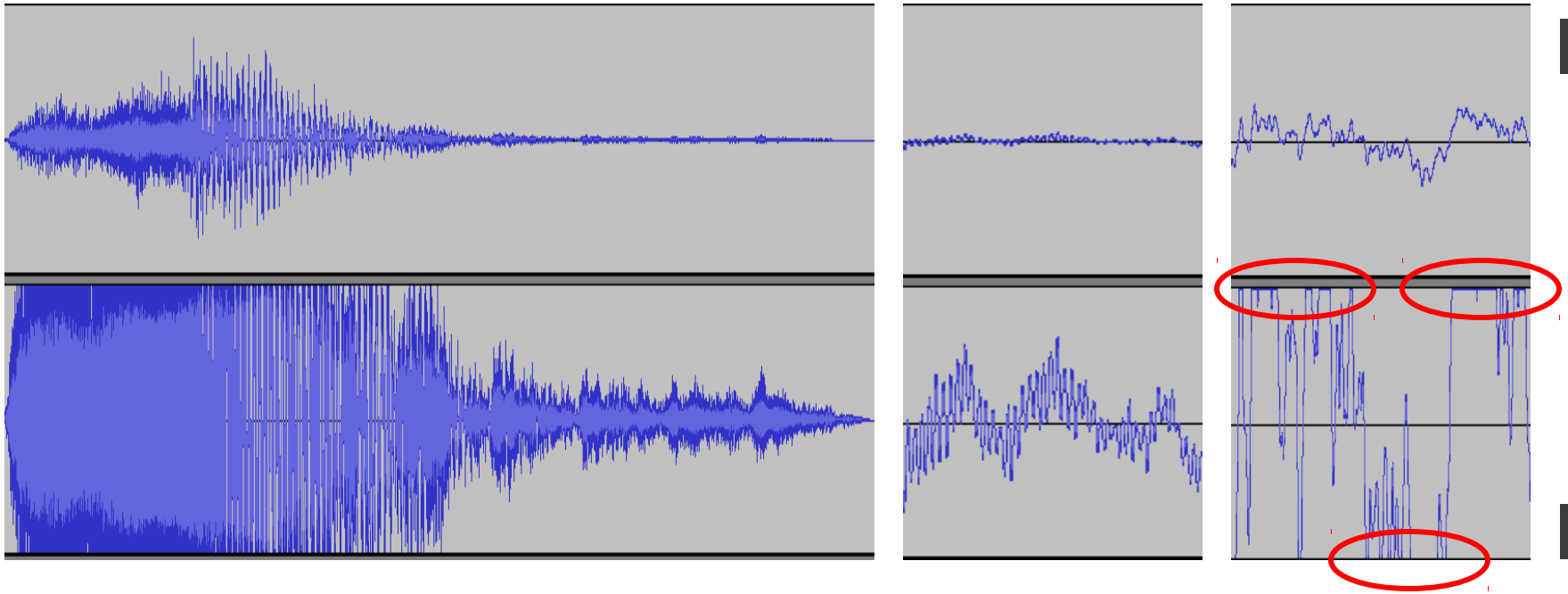
  c > 1 … zesílení

  (*c* > 0) && (*c* <1) … zeslabení

- Pozor: Omezený rozsah a rozlišení úrovní
  - Možné přebuzení signálu při zesílení
  - Možná ztráta přesnosti při zeslabení

Změna hlasitosti

- Přebuzení:



Normalizace signálu

- Maximální zesílení signálu, aby výsledný signál nebyl přebuzen.

$$s_{\text{out}}[n] = c \cdot s_{\text{in}}[n],$$

$$c = \frac{1}{\max\limits_{i=1}^{N} s_{\text{in}}[i]}$$

Mixování

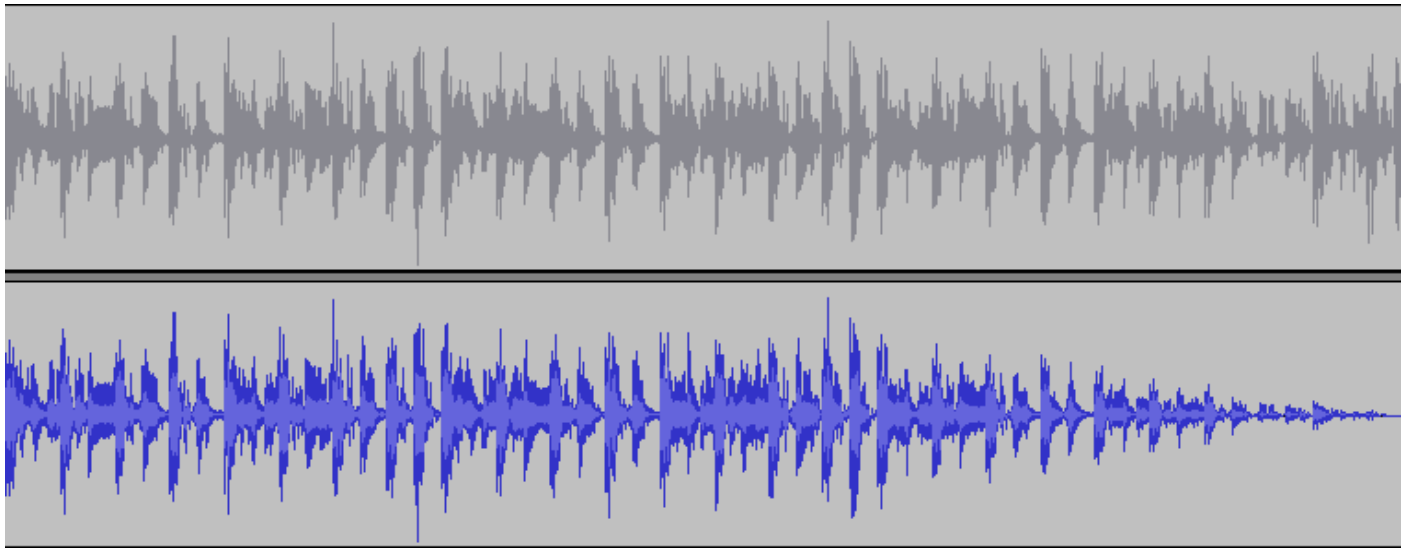
- Princip superpozice
- Součet dvou signálů po vzorcích

$$s_{\text{out}}[n] = s_1[n] + s_2[n]$$

- Součet může sahat za rozsah → opět hrozí přebuzení

Fade-out

- Postupné snižování hlasitosti až do ticha
- Pro předčasné ukončení souvislého zvuku



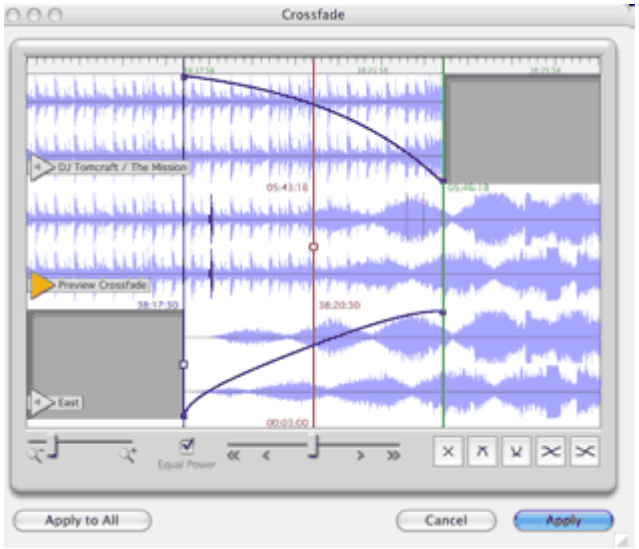
Autor: Resistance D, Skladba: Skyline (Bytes Mix)

Fade-in

- Postupné zvyšování hlasitosti z ticha až do plné hlasitosti signálu
- Na začátku přehrávání hudební ukázky
- Pro přehrání zvuku pořízeného v prostředí s hlukem pozadí
  - Bez fade-in: ? zvuk pozadí začne bez úvodu
  - Fade-in: ? hlavní zvuk začíná ještě během fade-in
  - Nejlepší: ? nechat zaposlouchat se do **hluku pozadí** ještě před tím, než začne hlavní zvuk

Střih

- Ostrý řez
- Lépe:
  - Krátky fade-in + fade-out neboli crossfade - prolnutí



Autor: Michael Galasso, High Lines

Beat Slicing

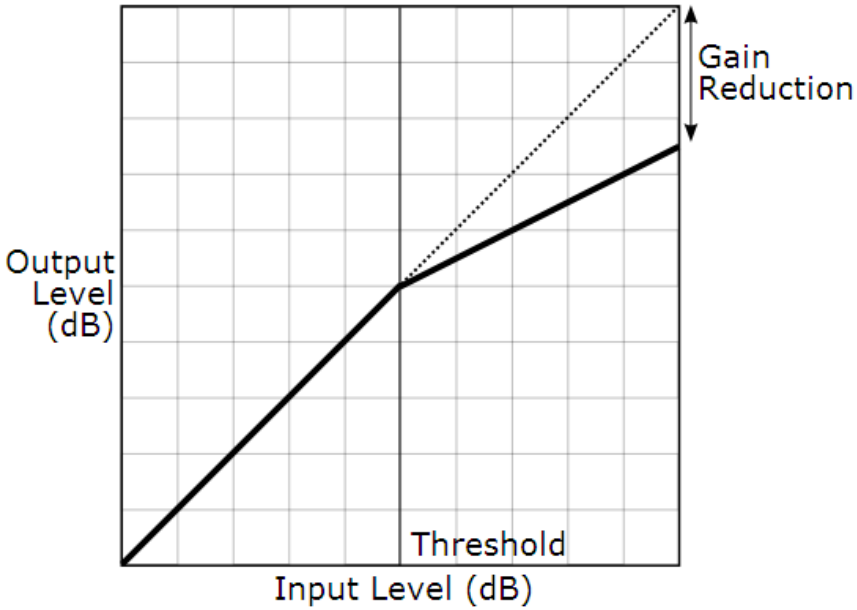
- Signál ke zpracování:
  - Smyčka bicích
  - Segment skladby s výrazným rytmem
- Signál je rozdělen na *slices*
  - Přehrávány (částečně) v jiném pořadí
  - Jungle, Drum-n-Bass

Scratching

- Časté změny rychlosti vzorkovací frekvence při přehrávání signálu
  - http://www.youtube.com/watch?v=bp48GBxadF4

Dynamic Range Compression

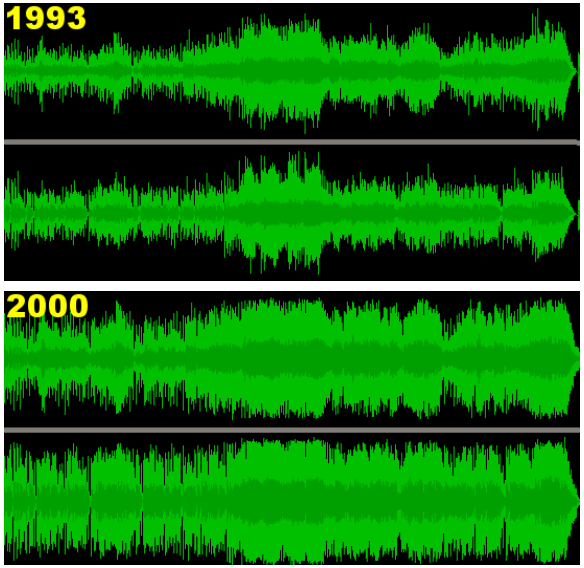
- Modifikace úrovně hlasitosti signálu
  - Snižování intenzity signálu nad zvoleným prahem.
- Stejný obsah signálu, ale „plošší“ dynamika
- Využití:
  - Omezení clippingu při mixování více zdrojů
  - Unifikace hlasitosti v rozhlasovém přenosu
  - Poslech signálu v hlasitém prostředí



http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_range_compression

Loudness War

- Maximalizovat hlasitost nahrávky
  - Reklamy
  - Nové nahrávky
  - Remastering starých nahrávek



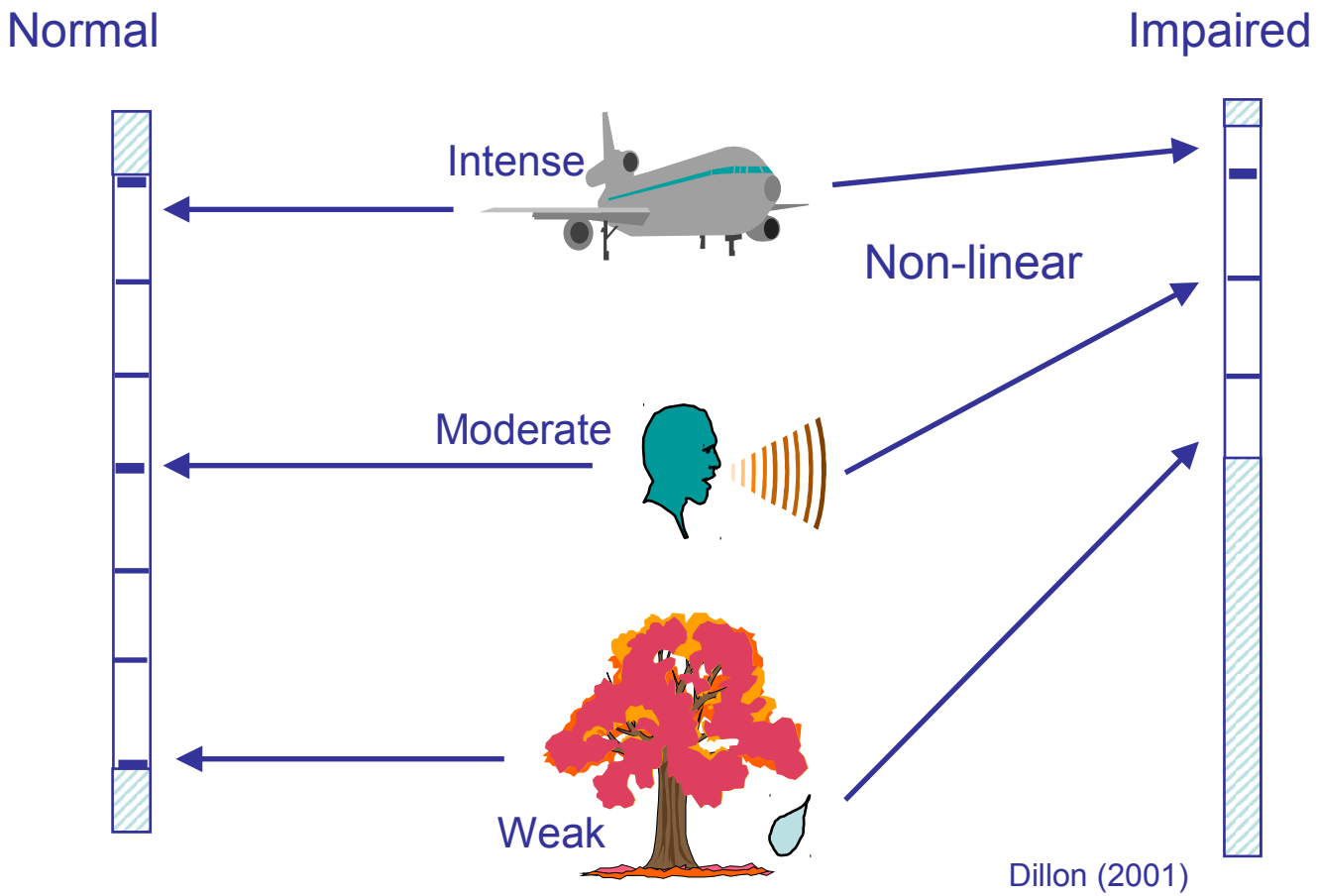
http://en.wikipedia.org/wiki/Loudness_war

- Popření významu hi-fi technologie

http://www.youtube.com/watch?v=TqQX3htzhSY

http://www.youtube.com/watch?v=-v6ML2DsBfA

Dynamic Range Compression pro sluchově postižené

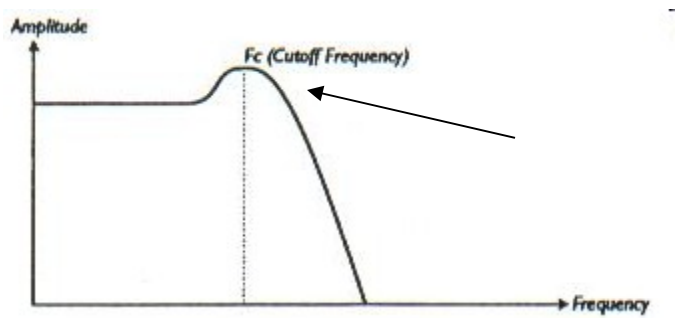


Frekvenční oblast

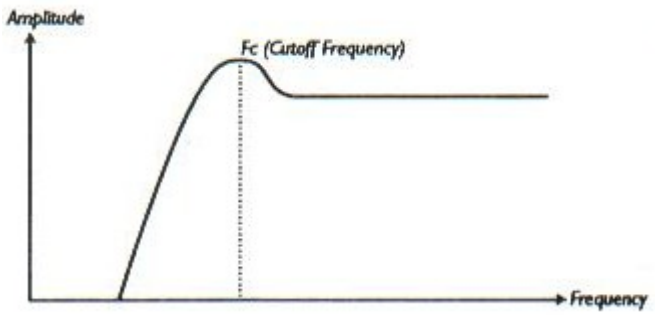
Zpracování ve frekvenční oblasti

- Segmentace
- Převod do spektra (FFT, apod.)
- Zpracování (filtrace, efekty…)
- Převod zpět do časové oblasti
- Spojení do výstupního signálu

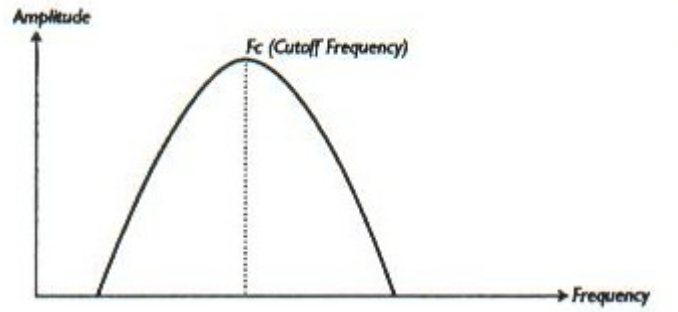
Filtry



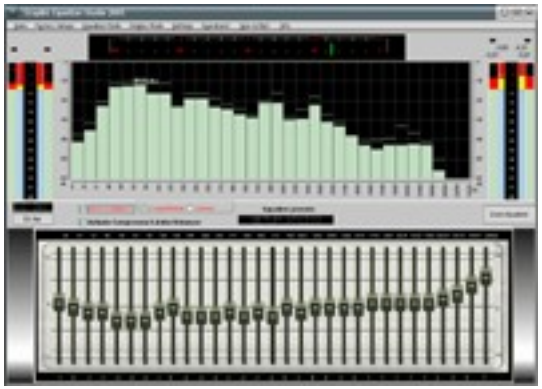
- High-pass filtr



- Band-pass filtr



- Grafický ekvalizér



Time Stretching

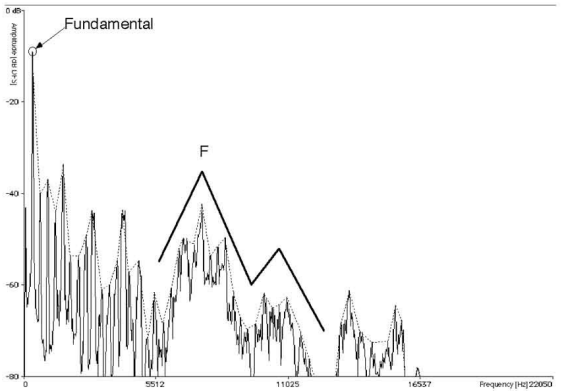
- Změna rychlosti přehrávání
  - Zpomalení
  - Zrychlení
- Zachování subjektivní výšky tónu

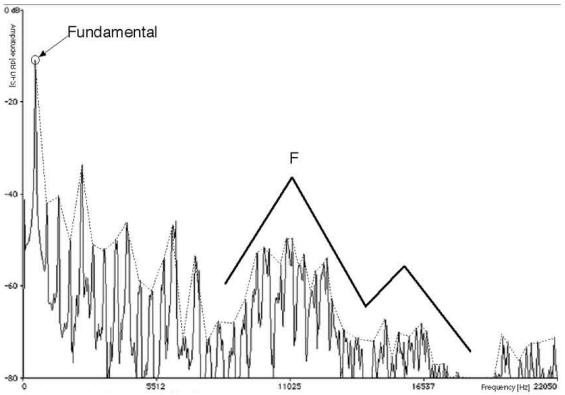
Pitch Transposition and Shifting

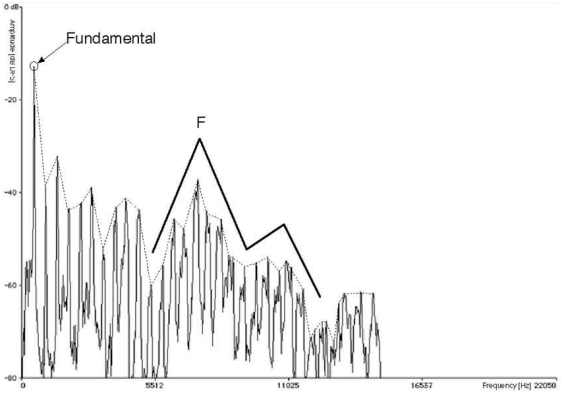
- Původní zvuk

- Simulace - pokus
- Výška se mění s formanty
- Nepřirozený zvuk
- **Pitch transposition**

- Simulace
- Zachování spektrální obálky
- **Pitch shifting**







Syntéza zvuku

Počátky

- Luigi Russolo a Balilla Pratella: Orchestr z rachotítek (bruituers). *Umění hluků*, Miláno 1914.
- Darius Milhauld: První dokumentované použití zpomalování / zrychlování nahrávek
- Ottorino Respighi: Použití nahrávky slavíků jako podkladu k živému koncertu, *Pini di Roma*, Řím 1924.
- George Antheil: *Ballet Mechanique,* 1927.
- Pierre Schaeffer, Musique concrete, Paříž 1948.

Syntéza zvukového signálu

- Proces, který generuje zvukový signál na základě nějakého algoritmu
  - Digitálně řízený elektrický obvod
    - Syntezátor SID v počítači Commodore 64, POKEY v Atari 800
    - FM syntéza
  - Analytický předpis
    - $s[n] = \cos(2*PI*n/44100)$
  - Simulace elektrického obvodu
    - FM syntéza
  - Wave-table syntéza
    - Přehrávání vzorků o dané rychlosti

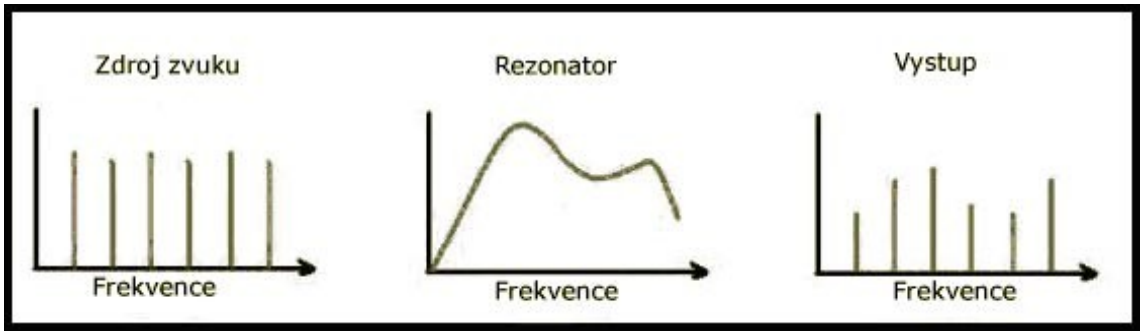
Použití zvukových syntezátorů

- Simulace existujících nástrojů
  - Kladívkové nástroje jdou docela dobře
  - Smyčcové a dechové nástroje moc dobře nejdou
- Tvorba zvuků, které nejsou jinak dosažitelné

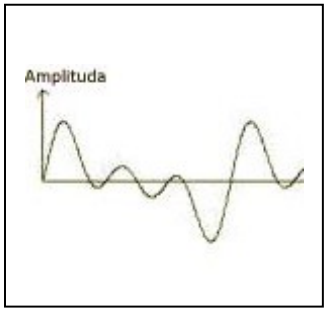
- Simulace motoru v příliš dobře zvukově izolovaných autech
- Syntéza šumu pro akustickou izolaci pracovišť v open space

Typický hudební nástroj

- **Zdroj zvuku** – budič: kladívko u piána, smyčec
- **Rezonátor**
  - vytváří „barvu“ zvuku / nástroje
  - mění frekvenční charakteristiku zvuku
  - většinou dutý prostor nástroje

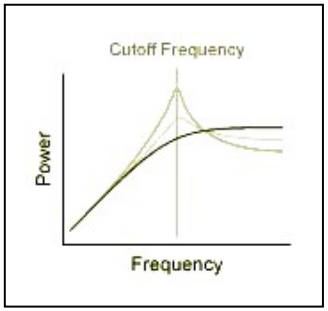


Jednoduchý syntezátor

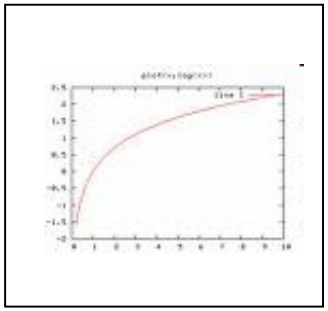


oscilátor

frekvence

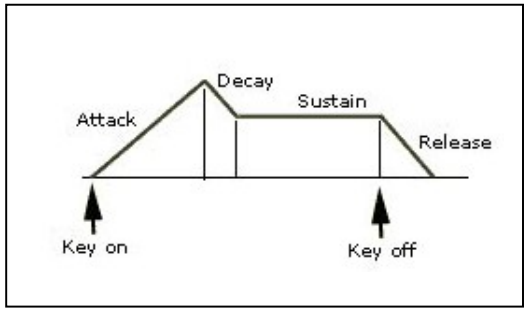


filtr



zesilovač

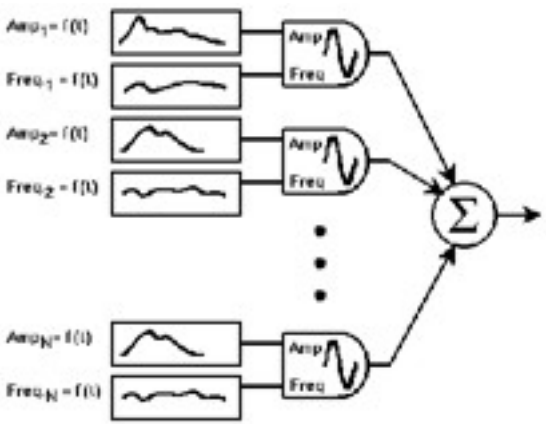
amplituda



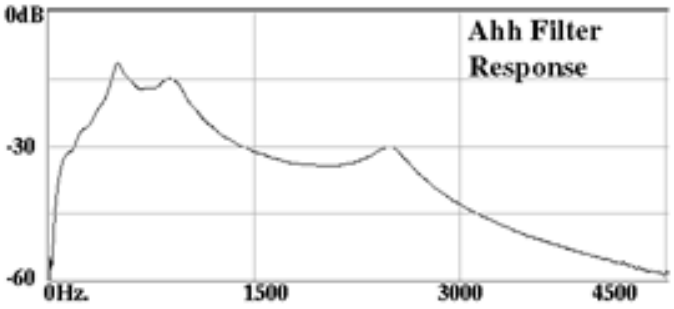
obálka

Druhy syntézy

- **Aditivní syntéza**
  - Začíná se z ticha
  - Tóny se přidávají přes sebe
  - Kostelní varhany



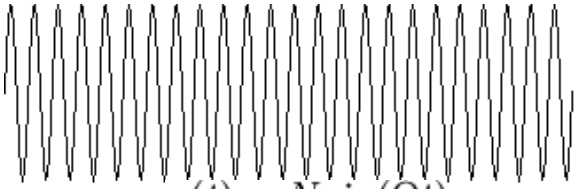
- **Subtraktivní syntéza**
  - od základního signálu se odečítají zadaná frekvenční pásma (pomocí filtrů)
  - parametry
    - tvar základního signálu
    - modulace výšky základního tónu
    - řízení filtrů



Druhy syntézy

- **Amplitudová modulace** (AM)

Nosná vlna



$$n(t) = N \sin(\Omega t)$$

Modulující signál

$$m(t) = M \sin(\omega t + \phi)$$

Výsledný signál

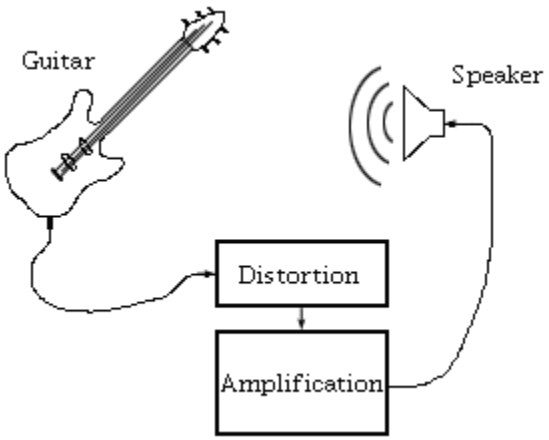
$$y(t) = (N + M \sin(\omega t + \phi)) \sin(\Omega t)$$

Tabulka vzorků (Wavetable)

- Předem nasnímané zvuky uložené do tabulky nástrojů
- Syntetizovat zvuk je totéž, co přehrát zaznamenaný signál zrychlený / zpomalený, aby měl požadovanou výšku
- Použitelné pro simulaci perkusních a kladívkových nástrojů

Fyzikální modelování

- **Fyzikální modelování**
  - Každý hudební nástroj tvoří zvuk určitým fyzikálním procesem
    - vibrující struny / blány
    - vibrující vzduchové sloupce ...
  - Hledání věrných numerických modelů aproximací vlnové funkce
  - Odlišný přístup: kontrola procesu, který zvuk vytváří (na rozdíl od imitace spektra)



Granulační syntéza

- Mikrovzorky v řádu 50ms (granulky)
- Ty se přehrávají velmi rychle za sebou, takže je lidský mozek vnímá jako spojitý zvuk
- Použití např. v procedurálním audiu (vysamplované hud. nástroje)

Barry Truax: riverrun

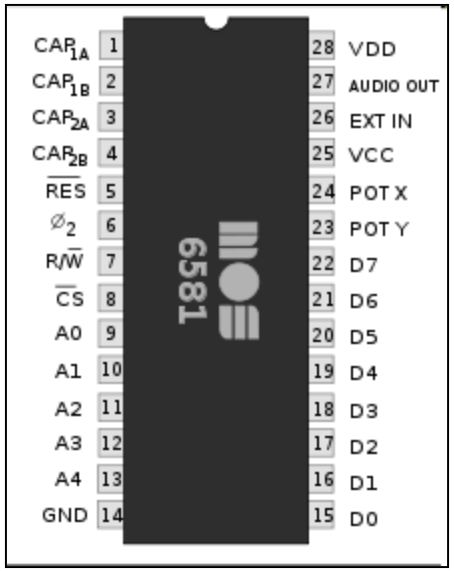
Příklady syntezátorů

- Roland TB 303 Bass Line
  - Vyráběn v letech 1982 – 1984
  - ebay.com dnes: US$300 až 4000
  - Emulátor zdarma na http://rebirthmuseum.com

- Roland TR-909 Rhythm Composer
  - 1983
  - Zčásti analogový, zčásti *sample-based*

MOS Technology 6581/8580 SID

- MOS Technology 6581/8580 SID
  - 1983
  - Commodore 64, 128
  - Tři oscilátory, 16—4000 Hz
  - Pila, trojúhelník, obdélník, šum
  - Low-, high-, band-pass
  - ADSR obálka



Závěr

Shrnutí

- Přehrávání zvuků
  - Potřeba více bufferů a paralelního zpracování
  - Důležité využít prostředků OS
- Manipulace se zvukem
  - Pozor na rozsah a ztrátu přesnosti
  - Loudness War
  - Časová vs. frekvenční oblast
  - 3D zvuk
- Syntéza zvuku
  - Mnoho různých metod
  - Významný podíl na tvorbě současné hudby