

# PB095 - Úvod do počítačového zpracování řeči

Luděk Bártek

Fakulta Informatiky  
Masarykova Univerzita Brno

podzim 2013

# Obsah

- 1 Fyzikální akustika
- 2 Fyziologická akustika

# Základy fyzikální akustiky

- Zvuk je fyzikální vlnění:
  - kmitavý pohyb molekul
  - mechanické vlnění látkového prostředí vyvolávající sluchový vjem.
- Zvuk je charakterizován:
  - frekvencí
  - amplitudou.

# Frekvence

- Perioda ( $T$ ) - nejkratší doba, kterou tělesu trvá průchod stejnou fází pohybu.
- Frekvence -  $f = 1/T$
- Jednotka - Hz
  - 1 Hz = 1 perioda za sekundu

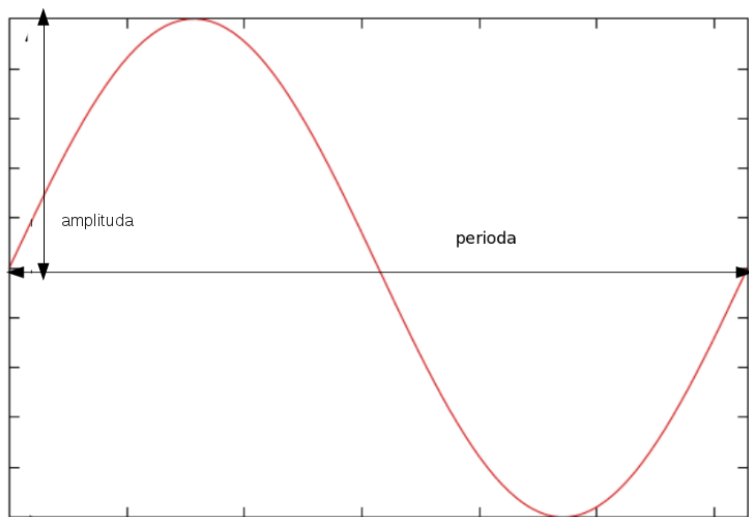
# Rychlost zvuku

- Závisí na prostředí a řadě dalších fyzikálních faktorů:
  - teplota
  - tlak
  - ...
- Rychlost zvuku v různých prostředích:
  - vzduch (13,4 stupňů) - 340 m/s
  - voda (25 stupňů) - 1500 m/s
  - rtuť - 1400 m/s
  - beton - 1700 m/s
  - led - 3200 m/s
  - ocel - 5000 m/s
  - sklo - 5200 m/s

# Hmotný bod na nehmotné pružině

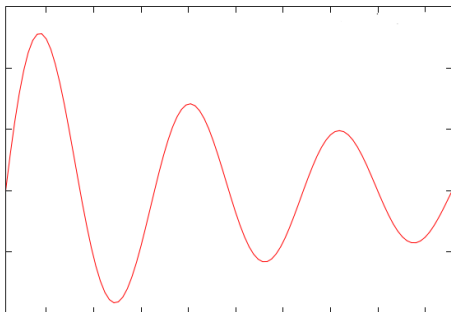
- Zanedbáváme:
  - odpor prostředí
  - gravitaci
  - ...
- Základní veličiny:
  - amplituda - maximální hodnota výchylky dané periodické veličiny ( $y_{max}$ )
  - okamžitá výchylka -  $y = y_{max} \sin(\omega t)$ 
    - $\omega$  - úhlová rychlost periodického jevu  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi F$  [rad/s]
    - $t$  - čas
  - perioda ( $T$ ) - doba trvání jednoho opakování daného jevu. Měří se v sekundách
  - frekvence -  $F = \frac{1}{T}$  [Hz].

# Perioda a amplituda



# Tlumené kmity

- Vznikají působením vnější síly, která působí proti vlnění.
  - např. odpor prostředí, ...
- Způsobuje pozvolné zmenšování amplitudy kmitání.





# Vlastní a vynucené kmity, rezonance

- Vlastní kmity - jsou kmity soustav bez působení vnějších sil.
- Vnější kmity - vynuceny vnějším prostředím systému (buzením).
- Rezonance - fyzikální jev, malá budící síla může způsobit značné změny kmitajícího systému.

$$A_r = \frac{\frac{S}{m}}{2b\sqrt{\omega_0^2 - b^2}} = \frac{S}{2mb\omega}$$

- $A_r$  - rezonanční amplituda
- $S$  - amplituda budící síly
- $m$  - hmotnost kmitajícího tělesa
- $b$  - tlumení kmitající soustavy (řádově menší než omega)
- $\omega$  - úhlová rychlost tlumených kmitů

# Akustický tlak a akustická intenzita

- Akustická intenzita:
  - množství energie, které projde jednotkovou plochou za jednotku času - jednotka  $Wm^{-2}$
  - P - tlak, S - plocha

$$I = \frac{P}{S}$$

- Akustický tlak - síla působící na element plochy v prostředí vlnivého děje (jednotka Pascal [Pa])
  - má-li sinusový průběh:

$$p = p_0 \sin(\omega t)$$

$p_0$  - maximální akustický tlak v průběhu periody

- Akustická intenzita je úměrná druhé mocnině akustického tlaku.

## Akustická intenzita (2.)

- Práh citlivosti (slyšení) -  $I_0 = 10 - 12 \text{ Wm}^{-2} \approx 20 \mu\text{Pa}$ .
- Práh bolesti -  $1 \text{ Wm}^{-2} \approx 130 \text{ Pa}$ .
- Intenzita není vnímána lineárně (lineární nárůst vnímané intenzity odpovídá geometrickému nárůstu intenzity)
  - Weber-Fechnerův psychofyzikální zákon
- Hladina intenzity (hlasitost) zvuku  $L$

$$L = 10 \log\left(\frac{P}{P_0}\right)^2 = 20 \log \frac{P}{P_0}$$

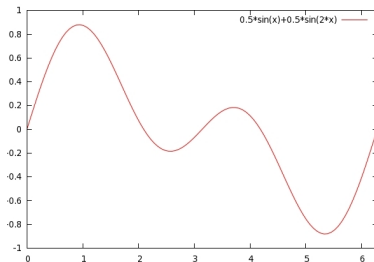
- Jednotka 1 Bel (1B) - rozsah hladin cca 13 Belů

# Akustická intenzita - orientační hodnoty

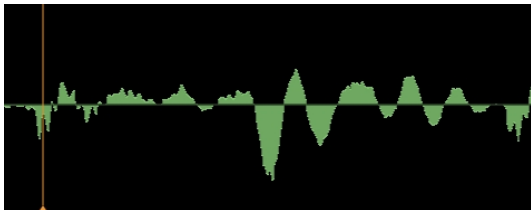
- šepot - 10 - 20 dB
- tlumený hovor - 35 - 45 dB
- hovor střední hlasitosti - 50 - 55 dB
- symfonický orchestr - 70 - 90 dB
- rocková hudba 110 - 130 dB
- vzlet proudového letadla 190 dB
- subjektivní vnímání závisí na frekvenci

# Základní a složený tón

- Základní tón - zvukovou intenzitou v závislosti na čase odpovídá sinusoidě
- Složený tón - lineární kombinace základních tónů
  - většina zvuků

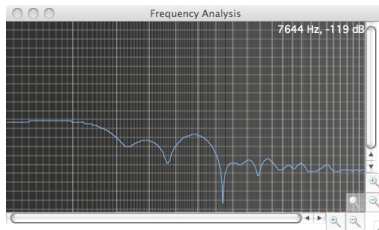


# Reálný zvuk



# Akustické spektrum zvuku

- Reálné zvuky:
  - Jedná se většinou složené tóny.
  - Složeny ze základních tónů.
  - Lze je rozložit na jednotlivé složky - akustické spektrum



- K získání frekvenčních charakteristik lze využít např Fourierovu transformaci, lineární predikci, ...

# Fourierovy řady

- $f(x)$  - periodická funkce s periodou  $T$
- 

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(kx) + b_k \sin(kx))$$

- Nejlepší aproximace pro:
  - $\alpha, \alpha + T$  - interval periodicity funkce  $f(x)$ .

$$a_k = \frac{2}{T} \int_{\alpha}^{\alpha+T} f(x) \cos(k\omega x) dx$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_{\alpha}^{\alpha+T} f(x) \sin(k\omega x) dx$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$



# Základy fyziologické akustiky

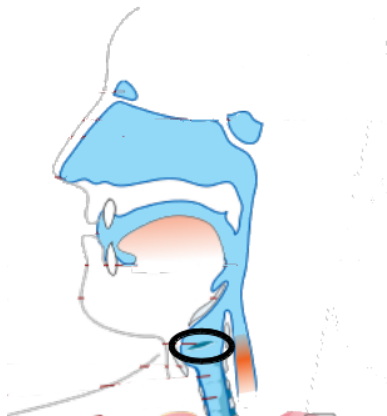
- Mechanismus vytváření řeči
- Mechanismus vnímání řeči
- Helmholtzova rezonanční teorie
  - G. Bekesy - Nobelova cena za fyziologii a medicínu za výzkum funkce cochle(3. 6. 1899, Budapest - 13. 6. 1972, Honolulu)
- Helmholtzův rezonátor



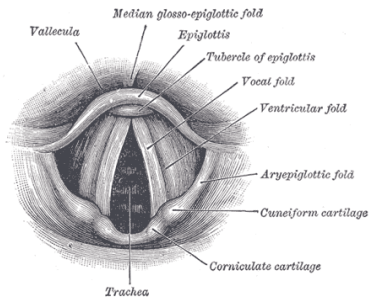
# Mechanismus vytváření řeči

- Řeč vytváří hlasové ústrojí:
  - v hrtanu - hlasivky.
    - Hlasivky vytváří úzkou hlasovou štěrbinu - vzduch je při průchodu rozkmitán.
    - Frekvence kmitání hlasivek - základní hlasivkový tón.
- Zvuk vzniklý v hrtanu (s výjimkou např. sykavek) je modifikován v rezonančních dutinách (obdoba Helmholtzova rezonátoru).
- Rezonanční dutiny:
  - hrtanové
  - ústní
  - nosohltanové.

# Umístění hlasivek



# Hlasové ústrojí - schéma hlasivek



# Hlasové ústrojí - činnost



Vocal cords  
abducted  
to breathe



Vocal cords  
adducted  
to speak

- Při dýchání jsou hlasivky rozevřeny.
- Při řeči se dutina zužuje a proudící vzduch je rozechvívá, tím se vytváří základní hlasivkový tón, ten je dále modifikován v hlasových dutinách:
  - hrtanové
  - nosohltanové
  - ústní

# Vnímání zvuku

- Sluchový orgán:
  - ušní boltec - zachycuje a koncentruje zvukovou energii
  - zvukovod - vede zachycenou energii k bubínku
  - ušní bubínek - rezonancí rozkmitán a přenáší vlnění na kůstky středního ucha:
    - kladívko
    - kovádlíka
    - třmínek
  - Eustachova trubice
    - vede ze středního ucha do dutiny ústní
    - slouží k vyrovnávání případných přetlaků (brání poškození středního a vnitřního ucha)
  - oválné okénko - jemná membrána tvořící rozhraní mezi středním a vnitřním uchem
  - hlemýžď (Cochlea)
    - součást vnitřního ucha
    - ústrojí ve tvaru ulity hlemýždě

# Sluchový orgán (1.)



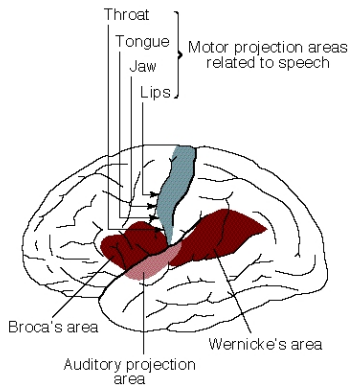
## Vnímání zvuku (2.)

- Hlemýžď (Cochlea)
  - součást vnitřního ucha
  - ústrojí ve tvaru ulity hlemýždě
  - naplněno vodnatým mokem
  - obsahuje Cortiho ústrojí
- Cortiho ústrojí:
  - obsahuje cca 20 000 vláček
  - jejich délka od cca 40  $\mu\text{m}$  do 0,5 mm
  - rezonují s jednotlivými tóny ve zvuku
  - vláčekna jsou připojena na nervová zakončení, která slouží k přenosu informací o jednotlivých složkách zvuku do mozku.



# Zpracování zvuku v mozku

- Řečové centrum v mozku



# Zpracování zvuku v mozku

## Dokončení

- Brocova oblast:
  - obsahuje artikulační vzorce - sekvence zapojení jednotlivých svalů potřebných k vyslovení slova.
  - Brocova expresivní, motorická - afázie - rozumí řeči, má problémy s výslovností:
    - vynechávání slov
    - telegrafická kvalita řeči
    - řeč je kostrbatá
    - ...
- Wernickeho oblast
  - obsahuje sluchové vzorce a významy slov