

PB095 - Úvod do počítačového zpracování řeči

Luděk Bártek

Fakulta Informatiky
Masarykova Univerzita Brno

podzim 2016

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 - $f = \frac{1}{T}$
- Jednotka - Hz
 - 1 Hz = 1 perioda za sekundu

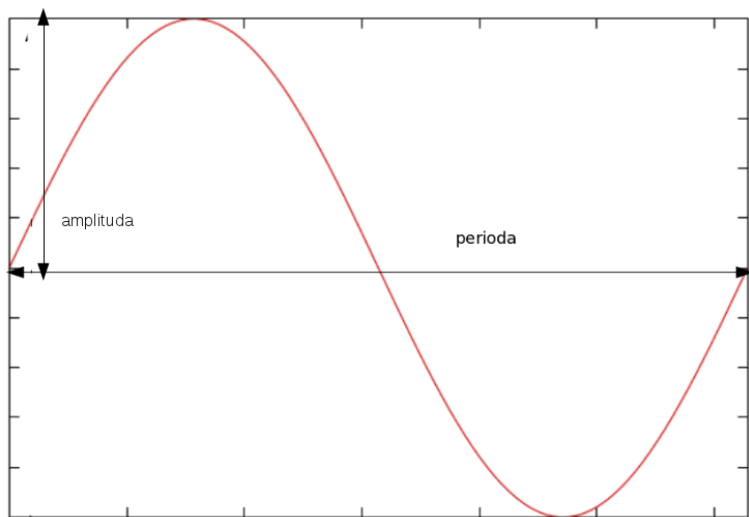
Rychlost zvuku

- 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

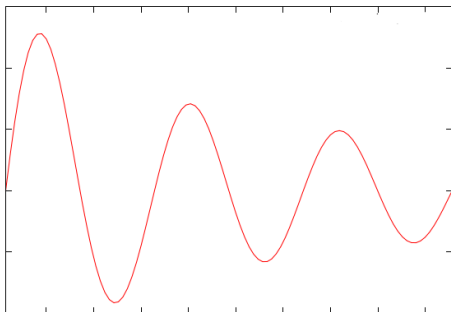
- Zanedbáváme:
 - odpor prostředí
 - gravitaci
 - ...
- Základní veličiny:
 - amplituda - maximální hodnota výchylky dané periodické veličiny (y_{max})
 - perioda (T) - doba trvání jednoho opakování daného jevu. Měří se v sekundách
 - frekvence - $F = \frac{1}{T}$ [Hz].
 - okamžitá výchylka - $y = y_{max}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

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)
- ω - 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])
 - zvuk = zhušťování a zřeďování pružného prostředí \Rightarrow akustický tlak odpovídá vyvolaným změnám tlaku prostředí.
 - 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

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

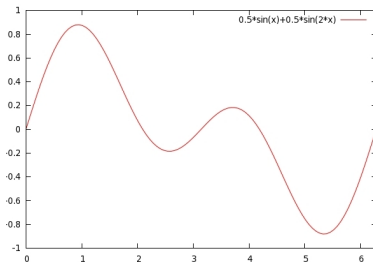
- Jednotka 1 Bel (1B) - rozsah hladin cca 13 Belů

Akustická intenzita

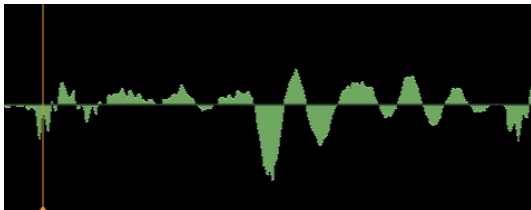
- Orientační hodnoty:
 - šepot – 10 — 20 dB
 - tlumený hovor – 35 — 45 dB
 - hovor střední hlasitosti – 50 — 55 dB
 - symfonický orchestr – 70 — 90 dB
 - rocková hudba – 110 — 130 dB
 - vzlet proudového letadla \sim 190 dB
- Subjektivní vnímání akustické intenzity závisí na frekvenci.

Základní a složený tón

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

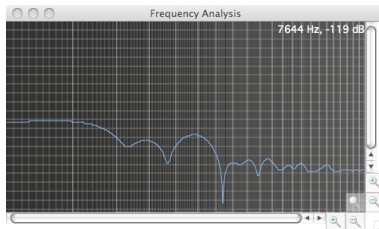


Reálný zvuk



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

- Nechť $f(x)$ je periodická, po částech spojitá funkce s periodou T , která má na intervalu T nejvýše spočetně mnoho extrémů a bodů nespojitosti, potom ji lze aproximovat pomocí vztahu:

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

- Nejlepší aproximace vychází 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

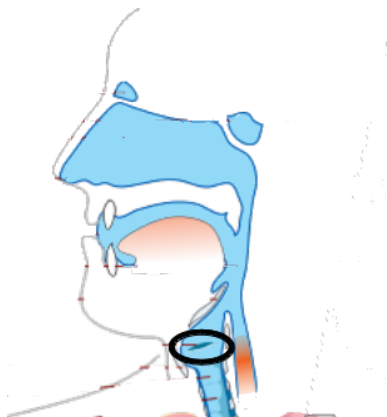
- Mechanismus vytváření řeči
- Mechanismus vnímání řeči
- Helmholtzova rezonanční teorie
 - G. Bekesy - Nobelova cena za fyziologii a medicínu za výzkum funkce cochle(3. 6. 1899, Budapest - 13. 6. 1972, Honolulu)
- Helmholtzův rezonátor



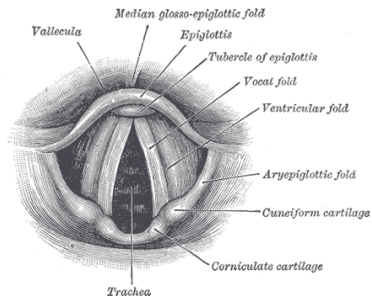
Mechanismus vytváření řeči

- 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).
- Rezananční 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 hlemýžďě

Sluchový orgán (1.)

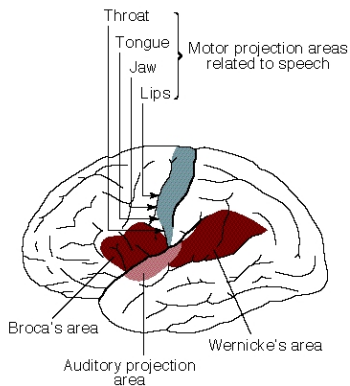


Vnímání zvuku (2.)

- 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 μm 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