

# Dialogové systémy

Luděk Bártek

Laboratoř vyhledávání a dialogu, Fakulta Informatiky Masarykovy Univerzity,  
Brno

jaro 2022

- Zvuk
  - kmitavý pohyb molekul prostředí (vzduchu)
  - vyvoláván pružným odporem prostředí
- Kmit hmotného bodu
  - pohyb bodu z rovnovážné polohy do místa s maximální výchylkou (amplitudou), odtud do protilehlého místa s maximální výchylkou zpět do rovnovážného bodu.

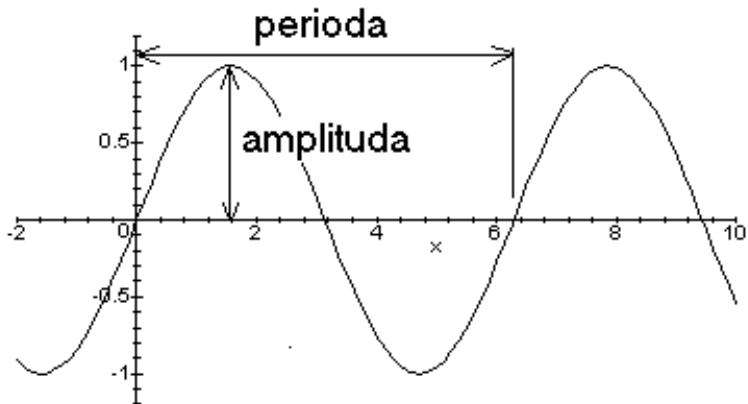
# Kmity

Dialogové  
systémy

Luděk Bártek

Fyzikální  
akustika

Fyziologická  
akustika



- Amplituda – maximální výchylka kmitavého pohybu.
- Perioda (T)
  - doba jednoho opakování periodického děje.
  - jednotka – 1 s (sekunda).
- Frekvence (f)
  - počet opakování periodického děje za jednotku času.
  - platí  $f = \frac{1}{T}$
  - jednotka 1 Hz (Hertz).

- Síla působící na kmitající bod:
  - $F = -ks$ ,  $k$  – tuhost pružiny,  $s$  – aktuální výchylka pružiny
  - $F = ma \Rightarrow ma = -ks$ ,  $m$  – hmotnost tělesa,  $a$  – zrychlení
  - $a + \omega^2 s = 0$  ( $\omega^2 = \frac{k}{m}$ ,  $\omega$  – úhlová rychlost kmitavého pohybu:  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ )
- fáze kmitavého pohybu:  $\psi = \omega t$
- okamžitá výchylka:  $y = y_m \sin \omega t = y_m \sin \psi$
- okamžitá rychlost:  $v = \omega y_m \sin \omega t = y_m \sin \psi$
- okamžité zrychlení:  $a = -\omega y_m \sin \omega t = y_m \sin \psi$

# Harmonické versus tlumené versus vynucené kmitání

Dialogové  
systémy

Luděk Bártek

Fyzikální  
akustika

Fyziologická  
akustika

- Harmonické kmitání
  - na těleso nepůsobí žádná vnější síla
  - v praxi se s ním téměř nesetkáme (odpor vzduchu, ...).
- Tlumené kmitání
  - proti pohybu působí odpor prostředí
  - amplituda s časem (vzdáleností od zdroje) klesá
- Vynucené kmitání, rezonance
  - na hmotný bod působí navíc periodicky proměnné síla  
 $G = \sin\alpha t$ 
    - $F = ma = -ky + \sin\alpha t \Rightarrow a + \omega^2 y = \sin\alpha t$
    - partikulární řešení:  $\frac{\sin\alpha t}{\omega^2 - \alpha^2}$

- Zvuk – mechanické vlnění pružného prostředí (vzduch, voda, kov, . . . )
- Akustika – věda studující zvuk (z řeckého akustikos – vztahující se k slyšení):
  - fyzikální – zvuk jako fyzikální vlnění
  - fyziologická akustika – vzniká a vnímání zvuku člověkem
  - hudební – zvuky z pohledu hudby
  - molekulární – vztah akustických vlastností a molekulární struktury.
- Rozdělení zvuku:
  - infrazvuk – frekvence  $< 16$  Hz
  - slyšitelný zvuk – 16 Hz – 16kHz
  - ultrazvuk –  $> 16$  kHz
  - hyperzvuk – až  $10^8$  Hz – využíván např. molekulární akustikou.

# Jednoduchý vs. složený tón

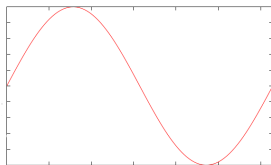
Dialogové  
systémy

Luděk Bártek

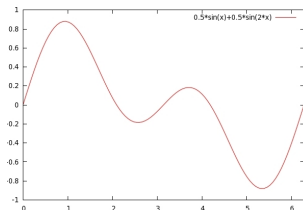
Fyzikální  
akustika

Fyziologická  
akustika

- Základní tón – průběh intenzity v čase lze popsat jednoduchou sinusoidou.



- Složený tón – lineární kombinace jednoduchých tónů.





# Akustické spektrum zvuku

Dialogové  
systémy

Luděk Bártek

Fyzikální  
akustika

Fyziologická  
akustika

- Akustické spektrum – množina základních tónů, ze kterých je zvuk složen.
- Získání spektra – Fourierova transformace:
  - $F(x)$  musí splňovat Dirichletovy podmínky
    - periodická funkce s periodou  $T$
    - je na daném intervalu po částech spojitá (nejvýše konečný počet bodů nespojitosti 1. druhu)
    - má nejvýše konečný počet extrémů na daném intervalu
    - definována v krajních bodech daného intervalu:

# Akustické spektrum

## Výpočet hodnot

- Využívá se rozkladu pomocí Fourierovy řady:

$$F(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} a_i \cos(i\omega x) + b_i \sin(i\omega x)$$

- $\omega = \frac{2\pi}{T}$
- aproximace  $F(x)$  je nejlepší při použití hodnot koeficientů  $a$  a  $b$ :

$$a_k = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} F(x) \cos(kx) dx$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} F(x) \sin(kx) dx$$

- Hodnoty spektrálních koeficientů

$$s_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$$

# Akustické spektrum zvuku

## pokračování

Dialogové  
systémy

Luděk Bártek

Fyzikální  
akustika

Fyziologická  
akustika

- Problém – zvuk je periodický pouze na určitých intervalech.
  - analýza na krátkém intervalu, kde se předpokládá, že je periodický.
- Z hlediska fyziologické akustiky – spektrum odpovídá rezonanci odpovídajících vláček Cortiho ústrojí, resp. odpovídající reakci neuronů.

## ■ Akustický tlak

- Odpovídá síle působící na element plochy v prostředí akustického vlnění.
- Pro sinusovou vlnu platí:

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

- $p_0$  – maximální akustický tlak v průběhu periody
- $\omega$  – úhlová rychlost
- $t$  – čas.

# Akustická intenzita a akustický tlak

Dialogové  
systémy

Luděk Bártek

Fyzikální  
akustika

Fyziologická  
akustika

- Akustická intenzita
  - Vyjadřuje množství akustické energie, které projde jednotkovou plochou za jednotku času.
  - Je přímo úměrná druhé mocnině akustického tlaku.
  - Rozsah intenzity zvuku - dán rozsahem minimální ( $I_0$ ) a maximální ( $I_1$ ) akustické intenzity, kdy jsme schopni vnímat tón o frekvenci 1 kHz.
  - Práh citlivosti –  $p_0 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ Nm}^{-2}$ .
  - Práh bolestivosti –  $p_1 = 10^2 \text{ Nm}^{-2}$ .
  - Rozsah –  $2,5 \cdot 10^{13} \text{ Nm}^{-2}$ .

- Weber-Fechnerův psychofyzikální zákon
  - Člověkem subjektivně vnímaná hlasitost roste při geometrickém nárůstu intenzity přibližně lineárně.
  - Pro stanovení hladiny intenzity zvuku ( $L$ ) volíme

$$L = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}$$

- jednotka – 1 bel (originál bell) [B]
- Prakticky se využívá odvozená jednotka decibel [dB] ( $10^{-1}B$ ).

# Orientační hodnoty akustické intenzity

Dialogové  
systémy

Luděk Bártek

Fyzikální  
akustika

Fyziologická  
akustika

- šepot – 10 - 20 dB
- tlumený hovor – 35 - 45 dB
- symfonický orchestr – 70 - 90 dB
- rocková hudba – 110 - 130 dB.

# Základy fyziologické akustiky

Dialogové  
systémy

Luděk Bártek

Fyzikální  
akustika

Fyziologická  
akustika

- Fyziologická akustika se zabývá:
  - mechanismem vytváření řeči
  - mechanismem vnímání řeči.
- Využívá Helmholtzovu rezonanční teorii.



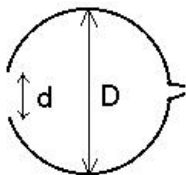
# Helmholtzův rezonátor

Dialogové  
systémy

Luděk Bártek

Fyzikální  
akustika

Fyziologická  
akustika



## ■ Princip činnosti:

- Přivedením vzduchu do rezonátoru v něm vznikne přetlak.
- Ten vytlačuje přebytečný vzduch ven a následně vzniká podtlak, který způsobí nasávání vzduchu z okolí.
- Takto vzniká periodický děj:

$$f = \frac{75,3}{D} \sqrt{\frac{d}{D}} [\text{Hz}]$$

# Mechanismus vytváření řeči

Dialogové  
systémy

Luděk Bártek

Fyzikální  
akustika

Fyziologická  
akustika

- Řeč vzniká pomocí *hlasového ústrojí* (umístěno v *hrtanu*).
- Hlasivky vytváří úzkou hlasovou štěrbinu a jsou rozechvívány procházejícím vzduchem.
- Frekvence jejich kmitání určuje *základní hlasivkový tón* –  $F_0$ .
- Zvuk, který vzniká v hrtanu pomocí hlasivek (samohlásky, znělé souhlásky) je modifikován v *rezonančních dutinách*:
  - hrtanové
  - ústní
  - nosohltanové.
- Rezonanční dutiny fungují na stejném principu jako Helmholtzův rezonátor).

# Hlasivky a schéma lidského hlasového ústrojí

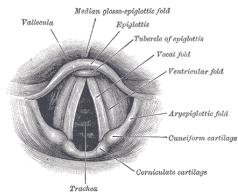
Dialogové  
systémy

Luděk Bártek

Fyzikální  
akustika

Fyziologická  
akustika

## ■ Hlasivky



## ■ Jejich umístění



# Mechanismus vnímání řeči

Dialogové  
systémy

Luděk Bártek

Fyzikální  
akustika

Fyziologická  
akustika

- Zvuk vnímáme sluchovým orgánem.
- Sluchový orgán:
  - vnější ucho – zachycuje, soustřeďuje a přivádí zvukové vlny ke střednímu uchu
  - střední ucho
    - mechanickou cestou přenáší zvukovou energii mezi vnějším a vnitřním uchem
    - obsahuje mechanismy k vyrovnání rozdílů tlaku mezi vnějším prostředím a sluchovým orgánem
  - vnitřní ucho – převádí zvukovou energii na vzruchy, které jsou vedeny dále do mozku.

# Schéma sluchového orgánu

Dialogové  
systémy

Luděk Bártek

Fyzikální  
akustika

Fyziologická  
akustika



Obrázek: Schéma sluchového orgánu

- **Obsahuje:**
  - Ušní boltec – soustředí uje zvukové vlny do zvukovodu.
  - Zvukovod – vede zachycenou zvukovou energii (vlny) k bubínku.
  - Bubínek:
    - Tenká blána na konci zvukovodu – síla cca 0.1 mm.
    - Zesílí a přeneše zvukovou energii na kůstky středního ucha.

- **Obsahuje:**
  - **Kůstky středního ucha:**
    - kladívko – přiléhá k bubínku
    - kovádlinka
    - třmínek – přiléhá k oválnému okénku, kterým se zvuková energie předává do vnitřního ucha.
  - **Oválné okénko** – tvoří přístup k vnitřnímu uchu.
  - **Eustachova trubice:**
    - Vede ze středního ucha do nosohltanu.
    - Slouží k vyrovnání rozdílu tlaku mezi vnějším prostředím a středním uchem, aby nedošlo poškození sluchu.

- Hlemýžď' (Cochlea):
  - Je naplněn vodnatým roztokem.
  - Ústrojí ve tvaru ulity hlemýždě, které obsahuje Cortiho ústrojí.
  - Cortiho ústrojí obsahuje zhruba 20000 vláček s délkami  $40 \mu\text{m} - 0,5 \text{ mm}$ .
  - Vlákénka jsou napojena na nervová zakončení, která vedou vzruchy do příslušného centra v mozku.
- Rovnovážný orgán.