

Dialogové systémy

Luděk Bártek

Laboratoř vyhledávání a dialogu, Fakulta Informatiky Masarykovy Univerzity,
Brno

jaro 2021

- 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.

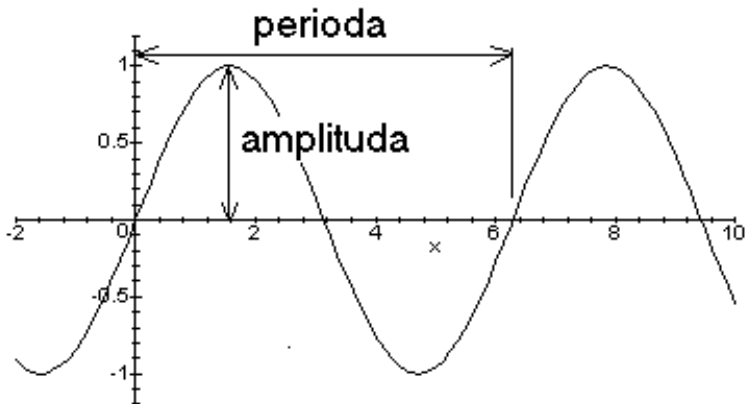
Kmity

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
 - $a + \omega^2 s = 0$ ($\omega^2 = \frac{k}{m}$, ω – 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

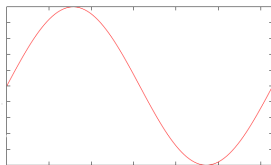
Dialogové
systémy

Luděk Bártek

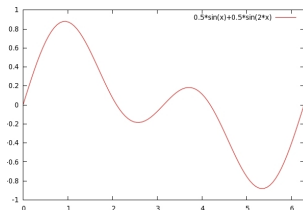
Fyzikální
akustika

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
- ω – 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.

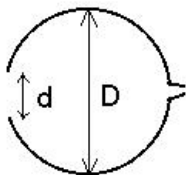
Helmholtzův rezonátor

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

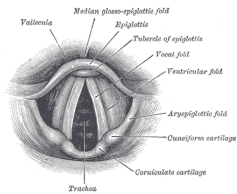
Dialogové
systémy

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 hlemýžďe, 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.