TITULNÍ STRANA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE - VLOŽÍ SE NA TUTO POZICI

Pozn.: Titulní strana se generuje v informačním systému. Obsahuje nové logo VUT, název práce, atd.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE – VLOŽÍ SE NA TUTO POZICI

Pozn.: Do tištěné verze závěrečné práce se vkládá originál zadání. Tedy dokument opatřený razítkem a podpisem předsedou oborové rady. V případě, že je požadován druhý výtisk bakalářské/diplomové práce, vkládá se do něj černobílá kopie tohoto dokumentu.

V elektronické verzi dokumentu se vkládá naskenovaný originál zadání.

Poznámka:

**Červeným písmem je uvedeno, co má být napsáno resp. Aktualizováno!!**

Abstrakt

Do tohoto odstavce bude zapsán výtah (abstrakt) práce v českém jazyce. Abstrakt by měl obsahovat shrnutí celé závěrečné práce na cca 10 řádcích.

Klíčová slova

Zde budou zapsána jednotlivá klíčová slova v českém jazyce, oddělená čárkami. Doporučený počet klíčových slov je 5.

Abstract

Do tohoto odstavce bude zapsán výtah (abstrakt) práce v anglickém jazyce. Jedná se o překlad abstraktu v českém jazyce.

Keywords

Zde budou zapsána jednotlivá klíčová slova v anglickém jazyce oddělená čárkami. Jedná se o překlad klíčových slov v českém jazyce.

Bibliografická citace:

MAKSANT, J. Fuzzy Petriho sítě pro expertní systémy. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 85s. Vedoucí diplomové práce byl doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

Pozn.: Bibliografická citace je generována informačním systémem.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou (bakalářskou) práci na téma Xxxxxxx yyyyyyyyy zzzzzzz jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho diplomové (bakalářské) práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové (bakalářské) práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové (bakalářské) práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **10. května 2018** …………………………

podpis autora

Poděkování (nepovinné)

*V této sekci je možné uvést poděkování vedoucímu práce a těm, kteří poskytli odbornou pomoc (externí zadavatel, konzultant, apod.). Příklad poděkování:*

Děkuji vedoucímu diplomové (bakalářské) práce Prof. Ing. Jiřímu Novotnému, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: **10. května 2018**  …………………………

podpis autora

**Obsah**

[1. Úvod 12](#_Toc40364421)

[2. Bicí souprava 14](#_Toc40364422)

[2.1 Techniky hry 14](#_Toc40364423)

[2.2 Notový zápis 14](#_Toc40364424)

[3. Zpracování vstupního signálu 15](#_Toc40364425)

[3.1 Předzpracování 15](#_Toc40364426)

[3.2 Číslicové filtry 16](#_Toc40364427)

[3.2.1 FIR, IIR filtry a jejich vlastnosti 18](#_Toc40364428)

[3.2.2 Návrh IIR filtru 19](#_Toc40364429)

[3.2.3 Banky filtrů 21](#_Toc40364430)

[4. Analýza hlavních komponent 23](#_Toc40364431)

[4.1 Princip 23](#_Toc40364432)

[4.1.1 Kovarianční matice 24](#_Toc40364433)

[4.1.2 Matice korelační koeficientů 25](#_Toc40364434)

[4.2 Výběr počtu hlavních komponent 25](#_Toc40364435)

[4.3 Výpočet analýzy hlavních komponent 26](#_Toc40364436)

[4.4 Výstupy analýzy hlavních komponent 28](#_Toc40364437)

[4.5 Příklad výpočtu 30](#_Toc40364438)

[5. Klasifikace dat 36](#_Toc40364439)

[5.1 Výběr klasifikační metody 36](#_Toc40364440)

[5.2 Metoda podpůrných vektorů 40](#_Toc40364441)

[6. realizace 43](#_Toc40364442)

[6.1 Funkce nacteni\_souboru.m 43](#_Toc40364443)

[6.2 Funkce banka\_filtru.m 44](#_Toc40364444)

[6.3 Funkce energie.m 44](#_Toc40364445)

[6.4 Funkce pca\_analyza.m 44](#_Toc40364446)

[6.4.1 Funkce pca.m 44](#_Toc40364447)

[7. Struktura závěrečné práce 45](#_Toc40364448)

[8. Několik formálních doporučení 47](#_Toc40364449)

[8.1 Psaní textů 47](#_Toc40364450)

[8.2 Tabulky a grafy 47](#_Toc40364451)

[8.3 Vkládání obrázků 47](#_Toc40364452)

[8.4 Psaní rovnic v textu 48](#_Toc40364453)

[8.5 Informace k šabloně 48](#_Toc40364454)

[9. Příklad 48](#_Toc40364455)

[9.1 Příklad 48](#_Toc40364456)

[9.1.1 Příklad 48](#_Toc40364457)

[9.1.1.1 Příklad 48](#_Toc40364458)

[10. Nikdy to nebude naprosto dokonalé 50](#_Toc40364459)

[11. Typografické a jazykové zásady 51](#_Toc40364460)

[11.1 Co je to normovaná stránka? 52](#_Toc40364461)

[12. Závěr 54](#_Toc40364462)

Pozn.: Obsah se v rámci této šablony generuje automaticky z nadpisů 1-4 úrovně a nečíslované nadpisy. Pro jeho aktualizaci stačí kliknout pravým tlačítkem na vytvořený obsah a vybrat položku „Aktualizovat pole“ ->„Celá tabulka“.

Seznam symbolů a zkratek

**Zkratky:**

FEKT … Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

VUT … Vysoké učení technické v Brně

**Symboly:**

U … napětí [Ω]

I … proud [A]

***Pozn.: V této části by měly být uvedeny všechny zkratky použité v textu a všechny symboly použité v rovnicích.***

Seznam obrázků

[Obr. 2.1: Bicí souprava [8] 14](#_Toc40364463)

[Obr. 3.1: Obecný rekurzivní systém převzato z [17] 17](#_Toc40364464)

[Obr. 3.2: Aproximace dolní propusti 18](#_Toc40364465)

[Obr. 3.3: Modulová frekvenční charakteristika banky filtrů 22](#_Toc40364466)

[Obr. 4.1: A - objekty v prostoru souřadnic X a Y B - objekty v novém prostoru X](#_Toc40364467)[2](#_Toc40364467) [a Y](#_Toc40364467)[2](#_Toc40364467) [24](#_Toc40364467)

[Obr. 4.2 Indexový graf úpatí vlastních čísel 26](#_Toc40364468)

[Obr. 4.3: Graf komponentních vah 28](#_Toc40364469)

[Obr. 4.4: Graf komponentního skóre 29](#_Toc40364470)

[Obr. 4.5: Centrované hodnoty pro Cenu a Citlivost (červené křížky zobrazují jednotlivé typy sluchátek v prostoru prvních dvou parametrů) 31](#_Toc40364471)

[Obr. 4.6: Indexový graf úpatí vlastních čísel 32](#_Toc40364472)

[Obr. 4.7: Graf komponentních vah 33](#_Toc40364473)

[Obr. 4.8: Rozptylový diagram komponentního skóre 34](#_Toc40364474)

[Obr. 4.9: Dvojný graf 34](#_Toc40364475)

[Obr. 5.1: Trénovací nahrávky v prostoru prvních dvou hlavních komponent 37](#_Toc40364476)

[Obr. 5.2: Klasifikace trénovacích nahrávek metodou k-průměrů 37](#_Toc40364477)

[Obr. 5.3: Klasifikace trénovacích nahrávek metodou hierarchické shlukování 38](#_Toc40364478)

[Obr. 5.4: Klasifikace trénovacích nahrávek metodou podpůrných vektorů 39](#_Toc40364479)

[Obr. 5.5 Srovnání reálných tříd a tříd vytvořených pomocí SVM 39](#_Toc40364480)

[Obr. 5.6: Příklad množiny hranic u separabilních tříd SVM 40](#_Toc40364481)

[Obr. 5.7: Lineárně neseparovatelné třídy 42](#_Toc40364482)

[Obr. 6.1: Blokové schéma trénovací části programu 43](#_Toc40364483)

[Obr. 6.2: Ukázka uložení energií audio souborů v jednotlivých pásmech 44](#_Toc40364484)

[Obr. 6.3: Graf komponentních vah pro malý buben, velký buben a hi-hat 45](#_Toc40364485)

[Obr. 6.4: Přiblížený výřez z grafu komponentních vah 45](#_Toc40364486)

[Obr. 8.1 Vložený obrázek [2] 47](#_Toc40364487)

[Obr. 9.1: Příklad popisu obrázku 49](#_Toc40364488)

Pozn.: Seznam obrázků se v rámci této šablony generuje automaticky z vložených titulků. Pro jeho aktualizaci stačí kliknout pravým tlačítkem na vytvořený Seznam obrázků a vybrat položku „Aktualizovat pole“ ->„Celá tabulka“. Všechny položky formátované zmíněným stylem se přidají do seznamu.

***!!! Pokud závěrečná práce neobsahuje obrázky, tuto kapitolu smažte.!!!***

Seznam tabulek

[Tabulka 1 Příklad popisu tabulky 49](#_Toc40364489)

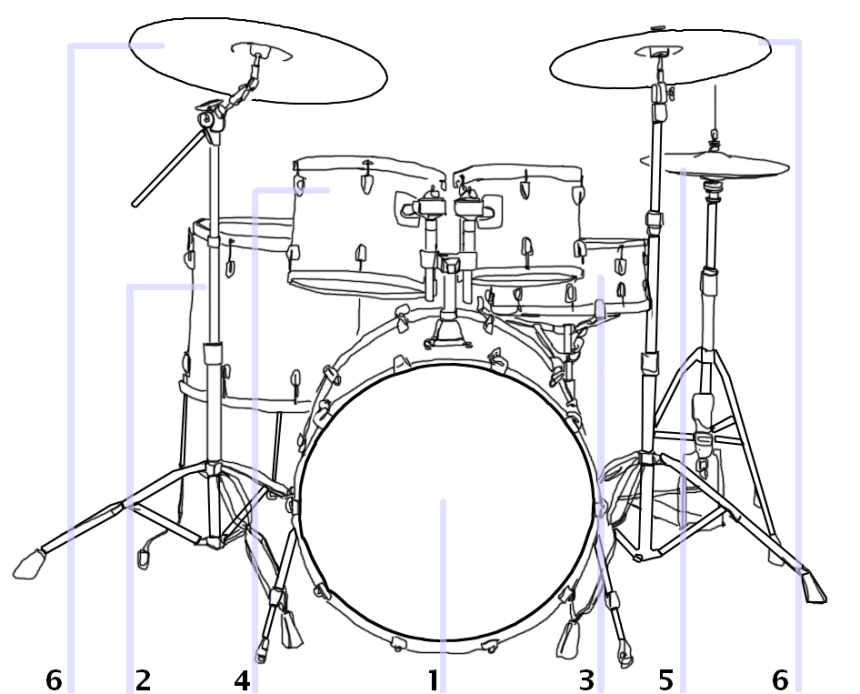
Pozn.: Seznam tabulek se v rámci této šablony generuje automaticky z vložených titulků. Pro jeho aktualizaci stačí kliknout pravým tlačítkem na vytvořený obsah a vybrat položku „Aktualizovat pole“ ->„Celá tabulka“. Všechny položky formátované zmíněným stylem se přidají do seznamu.

***!!! Pokud závěrečná práce neobsahuje tabulky, tuto kapitolu smažte.!!!***

# Úvod

# Bicí souprava

Bicí souprava je sestava bubnů a činelů, její velikost a složení nejsou dány. Záleží na preferencích hráče a také hudebním žánru. Na obrázku (Obr. 2.1) je vidět typická základní bicí souprava. Číslem jedna je označen velký buben (Bass Drum), pod číslem dvě je označen kotel (Floor Tom), číslo tři je malý buben (Snare), číslo čtyři jsou tomy, nebo také přechody (Tom Tom). Zbývají činely ty nemají pro svoje názvy české ekvivalenty, proto se používají názvy anglické, vpravo pod číslem pět se nachází Hi – Hat česky hovorově „hajtka“. Zbývající dva činely jsou vpravo Crash a vlevo Ride. Souprava může být menší nebo i mnohem větší. Záleží na vkusu hráče a hudebním žánru.



Obr. 2.1: Bicí souprava [8]

Počtem bubnů a činelů však rozmanitost zvuků bicí soupravy nekončí. Malý buben může být při hře „zapnut“ nebo „vypnut“. Tím se označuje, zdali jsou nataženy struny na spodní bláně malého bubnu nebo ne. Na malý buben se dá hrát takzvaně „přes ráfek“. To je technika, kdy hráč paličkou neudeří do blány bubnu, ale na jeho okraj. Hi - Hat může být otevřená nebo uzavřená, pomocí pedálu. U činelů obecně se může hrát na jejich kraj, nebo střed.

## Techniky hry

## Notový zápis

# Zpracování vstupního signálu

## Předzpracování

Vstupním signálem SW pro generování triggerů je již smíchaná digitální zvuková nahrávka bicí soupravy, která vzniká snímáním mikrofony. Spojité signály *f(t)* z jednotlivých mikrofonů jsou pomocí analogově číslicových převodníků převedeny na diskrétní signál *fn = f(tn) = f(nT),* kde T je perioda vzorkování. Omezením diskrétního zpracování signálů je diskretizace spojitého signálu. Tedy vzorkování spojitého signálu v časových úsecích. Podle Nyquistova teorému, mohou být zpracovány pouze signály s frekvencí nižší, než je polovina frekvence vzorkovací. Následuje kvantování, kdy je vzorku přiřazeno nejbližší číslo z dané množiny, tedy přesnost je dána počtem kvantovacích úrovní. [17] Následně jsou signály smíchány a exportovány jako zvukové soubory. Vstupní signál, musí být co nejvíce zjednodušen, aby jeho následná analýza byla co nejméně výpočetně náročná a tím i dostatečně rychlá a aby z něj bylo možné získat vlastnosti dle kterých bude klasifikován. Jedná se tedy o odstranění redundance. V prvním kroku je signál rozdělen na časové úseky. Zde se nabízí dva možné způsoby, a to segmentace plovoucím oknem (kontinuální analýza), nebo dělení na vzorky celých úderů (analýza segmentů). V dalším kroku předzpracování signálu je segment analyzován po stránce spektrálního výkonu v dílčích pásmech. Tato pásma jsme zvolili jako…….

Vstupním signálem SW pro generování triggerů je digitální audio nahrávka bicí soupravy. Jedná se tedy o diskrétní signál *fn = f(tn) = f(nT),* kde T je perioda vzorkování. Omezením takového signálu je, že známe pouze jeho vzorky v určitých časových úsecích. Podle Nyquistova teorému, mohou být zpracovány pouze signály s frekvencí nižší, než je polovina frekvence vzorkovací. Dalším omezením je kvantování, kde je vzorku přiřazena nejbližší hodnota z dané číselné reprezentace, tedy přesnost je dána počtem kvantovacích úrovní. [17]Nejdříve jsou ze vstupního signálu získávány časové značky začátků a konců jednotlivých úderů. Získávání časových značek je realizováno pomocí časové obálky signálu. Při průchodu obálky rozhodovací úrovní je zaznamenána časová značka. Tato metoda vyžaduje stejnou hlasitost vstupních nahrávek. Proto, bylo implementováno normalizování vstupní hlasitosti podle efektivní hodnoty (RMS) (3.1).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.1) |

Kde N je počet vzorků a x (n) je vstupním signálem. Dále je signál rozdělen na časové úseky, ve kterých probíhá rozpoznávání úderu. Zde se nabízí dva možné způsoby, a to segmentace plovoucím oknem (kontinuální analýza), nebo dělení na vzorky celých úderů (analýza segmentů).

V dalším kroku předzpracování je provedena frekvenční analýza pomocí banky filtrů. Pro každé frekvenční pásmo je spočítána energie signálu. Tyto energie jsou vstupem pro analýzu hlavních komponent.

## Číslicové filtry

Číslicové filtry jsou obdobou filtrů analogových a používají se pro digitalizované signály, jako transformační funkce, které ze vstupní posloupnosti *x*[*n*] vytvoří požadovanou výstupní posloupnost *y*[*n*]. I přes určitou paralelu k analogovým filtrům mají odlišné vlastnosti. Například

* strmosti frekvenčních charakteristik, kterých nešlo pomocí analogových obvodů dosáhnout
* vlastnosti filtrů se mění pomocí jejich koeficientů, nemají na ně vliv okolní podmínky, jako například teplota nebo stárnutí kapacitorů
* vlastnosti digitálního filtru lze kdykoli upravit, není třeba změna zapojení.
* digitální filtry mohou zpracovávat i nízké kmitočty, na rozdíl od analogových, kde je jejich realizace pro nízké kmitočty náročná
* analogové filtry dosahují běžně útlumu 60 až 70 dB, u číslicových filtrů charakteristiku určuje pouze délka bitového slova
* hlavní nevýhodou může být delší čas pro zpracování, tedy značné zpoždění
* omezení frekvence zpracovávaného signálu do poloviny vzorkovací frekvence
* zařazení analogově-číslicových a číslicově-analogových převodníků
* [2, 17]

Funkce číslicových filtrů popisuje diferenční rovnice, která vyjadřuje závislost mezi posloupnostmi a jejich diferencemi. Diferenční rovnice zle řešit pomocí diferenčního počtu, nebo jednodušeji pomocí *Z* transformace. Transformací *Z* (3.2) *x*[*n*] známé posloupnosti a *y*[*n*] hledaného řešení diferenční rovnice, dostaneme obraz X(*z*) a obraz partikulárního řešení Y(*z*).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.2) |

Jejich podílem vzniká přenosová funkce číslicového filtru vztah (3.3).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.3) |

Kde a a b jsou koeficienty přenosové funkce. [1] Na obrázku (Obr. 3.1) je znázorněn obecný rekurzivní systém, který je popsán přenosovou funkcí (3.3).



Obr. .: Obecný rekurzivní systém převzato z [17]

Přenosová funkce filtru může být také vyjádřena pomocí nulových bodů a pólů vztah (3.5). [17]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.4) |

Nulové body *z0* získáme porovnáním jmenovatele přenosové funkce (3.3) s nulou, tedy řešením rovnice Y(*z*) = 0. Póly *zx* získáme, položíme-li jmenovatele přenosové funkce rovno nule, tedy řešením rovnice X(*z*) = 0. K je zesilovací činitel systému. [1]

Impulsní charakteristika je odezva systému na jednotkový impuls, definovaným jako {xn} = 1, 0, 0 … Obrazem jednotkového impulsu pro jmenovatel přenosové funkce X(*z*) = 1 dostáváme rovnost H(*z*) = Y(*z*). V tuto chvíli je H(*z*) obrazem impulsní charakteristiky filtru.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.5) |

Zpětnou *Z* transformací (3.5) získáme impulsní odezvu ℎ[𝑛] (3.6). [1, 17]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.6) |

Filtr, u kterého platí, že jeho impulsní odezva skončí po uplynutí nějaké doby, nazýváme filtr s konečnou impulsní odezvou (FIR, Finite Impulse Response). Dalším druhem číslicových filtrů jsou filtry s nekonečnou impulsní odezvou (IIR, Infinite Impulse Response). [17]

Návrh filtru vychází z ideální analogové dolní propusti, která má v propustném pásmu modul roven jedné a v nepropustném pásmu se hodnota modulu rovná nule. Strmost přechodového pásma ideálního filtru je nekonečná. Aby se takovýto ideální průběh přiblížil skutečnému analogovému filtru, je třeba jeho průběh aproximovat. Tím dojde k rozšíření přechodového pásma a zvlnění modulové frekvenční charakteristiky. Zde budou uvedeny čtyři tyto aproximační funkce, vybírá se z nich na základě požadavku na zvlnění frekvenční modulové charakteristiky. Butterworthova aproximace obsahuje pouze póly, modulem filtru je monotónně klesající funkce. Kmitočtová charakteristika je hladká, nemá žádné zvlnění, za cenu nejmenší strmosti přechodového pásma. Čebyševova aproximace 1. typu má také pouze póly, dojde ke zvlnění propustného pásma modulové frekvenční charakteristiky. Čebyševova aproximace 2. typu obsahuje nulové body i póly, modulová frekvenční charakteristika se zvlní v nepropustném pásmu. Elliptická (Cauerova) aproximace má nulové body i póly, vyznačuje se největší strmostí přechodového pásma. Ke zvlnění modulové frekvenční charakteristiky dojde jak v propustném, tak v nepropustném pásmu. Na obrázku (Obr. 3.2) jsou vidět jednotlivé aproximační funkce pro filtr typu dolní propust. [1, 2]



Obr. 3.2: Aproximace dolní propusti

### FIR, IIR filtry a jejich vlastnosti

Číslicové filtry se dělí do dvou základních skupin, a to s konečnou impulsní odezvou (FIR) a s nekonečnou impulsní odezvou (IIR). Reprezentace v z-oblasti je pro FIR dána jen nulovými body, frekvenční charakteristika je tedy periodická funkce s periodou 2pi/T. Výhodou FIR je lineární fázová charakteristika, je-li dodržena podmínka symetrie nebo antisymetrie impulsní charakteristiky (3.7). [17]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.7) |

Díky ní nemají fázové zkreslení v celém kmitočtovém pásmu. Jsou nerekurzivní, není tedy třeba při výpočtu vyšetřovat jejích stabilitu. Mají obecně menší citlivost na kvantizační šum. Pro dosažení shodných strmostí s IIR filtry mají FIR filtry větší nároky na paměť, a zpoždění signálu. Vyšší řád sebou nese vyšší počet koeficientů, kde musí být uloženo více stavových veličin. [1, 17]

Při realizaci IIR systému je nutné použít struktury se zpětnými vazbami. Stabilita systému je dána polohou pólů. Aby byl systém stabilní musí póly ležet uvnitř jednotkové kružnice v rovině *z*. IIR filtry jsou citlivé na nepřesnost vzniklou číslicovou realizací, proto se stabilita na konkrétní realizaci ověřuje. [17] Pro IIR filtry lze najít ekvivalentní analogový filtr. Tyto filtry nemají lineární fázovou charakteristiku, proto způsobují fázové zkreslení. Filtry s náročnými frekvenčními charakteristikami realizovanými pomocí IIR, májí řádově nižší řád filtru než při realizaci FIR. To přináší nižší řád přenosové funkce, díky kterému se snižuje potřebné zpoždění signálu. [1] Aby mohl být filtr používán v reálném čase, musí být dosaženo jeho kauzality. Podmínka kauzality je dána vztahem (3.8). [2]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.8) |

Z uvedených vlastností vyplývá, že FIR filtry se využívají v aplikacích, kde zaleží na fázovém zkreslení, není třeba vysokých strmostí pro přechod do nepropustného pásma frekvenční charakteristiky a nezáleží příliš na zpoždění a náročnosti výpočtu. Naopak v aplikacích, které vyžadují vysokou strmost, krátký procesní čas, je vhodné použít filtr typu IIR. IIR filtry nemohou být navrženy s lineární fázovou charakteristikou v celém frekvenčním rozsahu. Avšak lze se v úzkém kmitočtovém pásmu lineární fázové charakteristice přiblížit. Proto se používají pro realizaci filtrů s po částech konstantní frekvenční charakteristikou (horní propust, dolní propust, pásmová zádrž, nebo pásmová propust). Což může být pro zpracování zvukových signálů dostačující. [1] Na základě těchto skutečností byla pro frekvenční dělení vstupního signálu vybrána realizace IIR filtrů.

### Návrh IIR filtru

IIR filtry jsou podobné analogovým filtrům, a jejich návrh lze provést pomocí transformace analogových prototypů do číslicové oblasti. Při transformaci dochází k převodu roviny *w* do roviny *z.* Použitá transformace musí splňovat tyto požadavky:

* Celá rovina *w* se musí transformovat na celou rovinu *z* jednojednoznačně.
* Póly přenosové funkce z levé strany v rovině *w* musí být transformovány dovnitř jednotkové kružnice v rovině *z*. Tedy stabilní analogový filtr musí být transformován na stabilní číslicový filtr.
* Základní kmitočtové vlastnosti musí být po transformaci zachovány.
* Transformace musí jednojednoznačně transformovat racionální lomenou funkci Ha(*w*) na racionální lomenou funkci H(*z*).

Nejčastěji bývá využita bilineární transformace (3.9). [1]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.9) |

A zpětná bilineární transformace podle vztahu (3.10). [1, 2, 17]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.10) |

Bilineární transformace zobrazí imaginární osu v komplexní rovině *w* do jednotkové kružnice v komplexní rovině *z*. Tím je splněna první a druhá podmínka. Bilineární transformace je racionální lomenou funkcí a splňuje čtvrtou podmínku. Splnění třetí podmínky dosáhneme vyšetření zobrazení kmitočtové osy (3.11). [1, 17]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.11) |

Kde ωd jsou kmitočty v diskrétním systému a ωa jsou kmitočty v analogovém systému. Při transformaci dochází ke zkreslení frekvenční osy, a to z důvodu převodu nekonečné analogové frekvenční osy na konečnou diskrétní osu. Vztah mezi kmitočty v analogovém systému ωa a kmitočty v číslicovém systému je dán vztahem (3.12). [1, 17]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.12) |

V Matlabu se IIR filtry realizují za pomoci funkcí, které jsou rozdělené podle charakteru filtru. Jsou to funkce butter, cheby1, cheby2 a ellip. Každá z těchto funkcí vrací přímo koeficienty přenosové funkce nebo nulové body, póly a zesílení. Pro filtry vyššího řádu než čtvrtého, je v dokumentaci pro Matlab, [5] doporučeno používat jako výstup rozložení nulových bodů a pólu, nikoli přímo koeficienty filtru. Vzhledem k zaokrouhlení by mohlo dojít k nestabilitě systému. V tabulce (Tab. 3.1) jsou uvedeny vstupní parametry pro jednotlivé funkce.

Tab. 3.1: Vstupní parametry funkcí pro realizaci IIR filtrů

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| vstupní parametry | názvy funkcí | | | |
| butter | cheby1 | cheby2 | ellip |
| řád filtru | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| mezní frekvence | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| tip filtru | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| velikost zvlnění [dB] |  | ✓ |  | ✓ |
| útlum v nepropustném pásmu [dB] |  |  | ✓ | ✓ |

Pokud je mezní frekvence definována dvouprvkovým vektorem funkce, vytvoří pásmovou propust nebo pásmovou zádrž, kde první prvek vektoru je dolní mezní frekvence, a druhým prvkem je horní mezní frekvence. Mezní kmitočet může nabývat hodnot 0 až 1, kde hodnota 1 představuje polovinu vzorkovacího kmitočtu. [5]

### Banky filtrů

Pro rozdělení signálu na jednotlivé frekvenční pásma bude použita banka filtrů. V tuto chvíli není jasné, na kolik frekvenčních pásem bude třeba signál rozdělit, aby mohly být jednotlivé údery správně klasifikovány. Pro začátek bude banka filtrů nastavena na základě fyziologie lidského sluchu. Později bude experimentálně určen počet potřebných frekvenčních pásem pro správnou klasifikaci signálu.

Podle Harvey Fletchrea je-li tón maskován bílím šumem, na maskování se podílí jen určité pásmo spektra, které leží v okolí maskovaného tónu. Rozsah toho pásma se nazývá šířka kritického pásma. V lidském sluchovém ústrojí šířka kritického pásma odpovídá konstantní vzdálenosti na bazilární membráně. Eberhard Zwicker na základě svých psycho akustických měření stanovil jednotlivým pásmům jejích střední kmitočty a šířky pásma. Pro aproximaci šířky kritického pásma podle Eberhard Zwicker se používá banka třetino-oktávových filtrů. [6, 7, 18]

Střední kmitočty oktávových a zlomko-oktávových filtrů se počítají dle vztahu (3.12) pro lichý počet pásem na oktávu a podle vztahu (3.14) pro sudý počet pásem na oktávu. [6]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.13) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.14) |

Šířka pásma se spočítá dle vztahu (3.15).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.15) |

Kde G = 103/10, fref = 1 kHz, n je počet pásem na oktávu a x je pořadí filtru. [6] Jako počáteční realizace banky filtrů, byla zvolena banka třetino-oktávových filtrů. Na obrázku (Obr. 3.3) je znázorněna modulová frekvenční charakteristika banky třetino-oktávových filtrů realizovaná v Matlabu. Pro názornost je zobrazena v rozsahu 100 až 400 Hz.



Obr. 3.3: Modulová frekvenční charakteristika banky filtrů

# Analýza hlavních komponent

Analýza hlavních komponent (PCA, principal component analysis) je jednou z nejpoužívanějších metod pro analýzu vícerozměrných dat a redukci jejich dimenzionality. Metoda může být popsána jako lineární transformace vstupních proměnných na nové nekorelované, které nazýváme hlavními komponentami. Hlavní komponenty jsou na sobě nezávislé a jsou seřazeny podle obsahu rozptylu původních proměnných v nich obsažených. První jsou komponenty s vysokým rozptylem. Komponenty s nízkým rozptylem nejsou pro další analýzu použity, tím dojde k redukci dat neboli odstranění Redundance. Toto může být využito ke grafickému znázornění vícerozměrných dat, k čemuž se používají první dvě nebo tři hlavní komponenty. První hlavní komponenta bývá v některých případech využita jako komplexní ukazatel, tedy rozložení dat je vyjádřeno pouze první hlavní komponentou. PCA byla vyvinuta pro data s mnoharozměrným normálním rozdělení. Není vhodná pro analýzu více stavová kvalitativní data, na které nelze aplikovat euklidovskou metriku. PCA také není vhodná pro data, která obsahují velké množství nul. Je vhodné, aby počet proměnných nepřevyšoval počet prvků. Obecně je doporučeno, aby se počet prvků blížil druhé mocnině počtu proměnných.Často bývá metoda hlavních komponent součástí komplexnější analýzy dat. [11, 12, 13]

Signál, který prošel bankou filtrů má tolik dimenzí, do kolika je rozdělen pásem. Pro snížení náročnosti následných výpočtů a tím i procesního zpoždění, byla hledána metoda pro snížení počtu dimenzí signálu. Tedy k odstranění redundance. Analýza hlavních komponent (PCA, principal component analysis) je jednou z nejpoužívanějších metod pro analýzu vícerozměrných dat a redukci jejich dimenzionality. Metoda může být popsána jako lineární transformace vstupních proměnných na nové nekorelované, které nazýváme hlavními komponentami. Z geometrického hlediska dochází k hledání nového prostoru, ve kterém lze popsat rozložení vstupních dat, pomocí menšího počtu os označovaných jako hlavní komponenty. PCA byla vyvinuta pro data s mnoharozměrným normálním rozdělení. Není vhodná pro analýzu více stavová kvalitativní data, na které nelze aplikovat euklidovskou metriku. PCA také není vhodná pro data, která obsahují velké množství nul. Je vhodné, aby počet proměnných nepřevyšoval počet prvků. Obecně je doporučeno, aby se počet prvků blížil druhé mocnině počtu proměnných. Často bývá metoda hlavních komponent součástí komplexnější analýzy dat.

## Princip

Cílem metody hlavních komponent je zobrazení vstupních, obecně vícerozměrných, dat do nového prostoru s nižší dimenzí. Tento nový prostor je reprezentován sadou latentních výstupních proměnných. Výstupní proměnné označované jako hlavní komponenty jsou vzájemně nekorelované, popisují téměř v neredukované míře přesně rozložení původních znaků a poskytují vhodnější vlastnosti pro další analýzu. [11]

Metoda hlavních komponent transformuje vstupní, obecně vícerozměrná, data do nového prostoru s nižší dimenzí.

Pro jednoduchost si představme objekty rozmístěny ve dvourozměrném prostoru popsány souřadnicemi *X* a *Y* (Obr. 4.1 A).



Obr. 4.1: A - objekty v prostoru souřadnic X a Y B - objekty v novém prostoru X2 a Y2

Pootáčením souřadného systému je nalezen nový prostor, který lépe popisuje rozložení objektů. Takovýto nový prostor má nové souřadnice *X2*a *Y2*, ty jsou dány lineární kombinací původních souřadnic *X, Y* (Obr. 4.1 B).

Jsou-li objekty rozloženy na přímce, po nalezení nového prostoru, dojde k popisu jejich rozložení pomocí pouze jedné souřadnice. Toto je hlavní princip redukce dimenzí prostoru. K popisu rozložení objektů pomocí jedné nové souřadnice zpravidla nedochází. Proto je hledán nový prostor, kde je rozložení objektů co nejpřesněji popsané, v co nejmenším počtu souřadnic tak, aby souřadnice, které mají malý vliv na rozložení objektů, mohly být zanedbány. Matematický popis tohoto principu je dán jako odchylka všech bodů od redukované reprezentace, popsaná minimální střední kvadratickou odchylkou.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4.1) |

Kde xk je původní reprezentace a x‘k redukovaná reprezentace. Analýza dat pomocí metody hlavních komponent se počítá nejčastěji dvěma způsoby, a to kovarianční matici nebo matici korelačních koeficientů. [9, 10, 11, 12]

### Kovarianční matice

Analýza hlavních komponent s kovarianční maticí se někdy nazývá též centrovaná PCA.(4.4), (4.5). Počátek nového souřadného systému je posunut do centroidu objektů. Vzdálenosti mezi objekty se s převodem do nového souřadného systému nemění. Součet vlastních hodnot kovarianční matice je roven součtu rozptylů proměnných.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4.2) |

Kde λi jsou vlastní čísla. Tato metoda výpočtu PCA se hodí pro data, která jsou ve stejných jednotkách a ve stejné škále. Nebo pro data v rozdílných jednotkách, které lze přepočítat na stejné číselné reprezentace. [9]

### Matice korelační koeficientů

Vstupní data, jsou normalizována na jednotkový rozptyl a nulový průměr. Součet hodnot matice korelačních koeficientů je roven počtu proměnných. Počet proměnných určuje řád korelační matice. Počátek nového souřadného systému je opět posunut do centroidu objektů. Po normalizaci původních proměnných na jednotkový rozptyl, vzdálenosti mezi objekty již nejsou závislé na jednotkách, v kterých byly naměřeny. Tato metoda se hodí pro data vyjádřená ve zcela rozdílných jednotkách, a nelze je vyjádřit ve stejné číselné škále. [9, 10]

## Výběr počtu hlavních komponent

Po výpočtu PCA je vytvořen nový prostor daný hlavními komponentami. Hlavní komponenty jsou seřazeny podle velikosti části rozptylu původních dat, v nich obsaženém. Nyní je třeba z množiny hlavních komponent vybrat několik s nejnižšími pořadovými čísly, tak aby mohlo být dostatečně popsáno rozložení dat. Obecně je dobré brát v úvahu jen komponenty, které mají vlastní hodnoty vyšší, než je průměr všech vlastních hodnot. Vlastní hodnota λi udává rozptyl v dané hlavní komponentě. [9]

Pokud je využita metoda s korelační maticí, tak se nejčastěji ke stanovení počtu hlavních komponent používá Kaiserovo kritérium. [9] Toto kritérium předpokládá užití hlavních komponent s vlastní hodnotou (4.8) větší než 1. Popis výpočtu vlastní hodnoty je uveden v kapitole 4.3. Součet vlastních hodnot je roven počtu vstupních proměnných. Nemá tedy cenu uvažovat komponenty, které mají vlastní hodnotu menší než 1. [9]

Je-li použita kovarianční matice, součet vlastních hodnot se rovná součtu rozptylu vstupních proměnných. U této metody můžeme využít hlavní komponenty s vlastní hodnotou vyšší, než je průměr všech vlastních hodnot. [9]

Obecnou možností výběru počtu hlavních komponent může být grafické zobrazení jejich vlastních hodnot. Toto zobrazení se nazývá indexový graf úpatí vlastních čísel (Scree Plot) (Obr. 4.2).



Obr. 4.2 Indexový graf úpatí vlastních čísel

Jedná se o graf závislosti vlastních hodnot na hlavních komponentách. Počet hlavních komponent z grafu odečteme tak, že sledujeme pokles vlastních hodnot, když se tento pokles zmírní a křivka se „ohne“, odečteme pořadí příslušné poslední komponenty. V příkladu na obr. 4.1 by byly použity první tři hlavní komponenty. [9, 11, 13]

Další metodou může být výběr komponent, které dohromady vyjadřují 90 až 99 % celkového rozptylu. [13]

## Výpočet analýzy hlavních komponent

Nejpoužívanějším algoritmem pro výpočet hlavních komponent je singulární rozklad matice (SVD – Singular Value Decomposition). Tento algoritmus je založen na Karhunenově – Loèvově transformaci, a zaručuje globální optimum. [12] Dále je uveden postup výpočtu analýzy hlavních komponent pomocí algoritmu SVD.

Nejdříve je potřeba vstupní data uspořádat do matice **X** (4.4),

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4.3) |

kde řádky jsou jednotlivé body měření a sloupce měřené veličiny. [14, 15]

V dalším bodě probíhá centrování dat. Nejprve se z vektorů **xk = xi,1 … xi,j**vypočte pomocí vztahu (4.4) průměr. [10]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4.4) |

Centrovaný vektor z matice **X** se vypočítá pomocí vztahu (4.5), z těchto vektorů je složena centrovaná matice **XC**. [10]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4.5) |

Následně se vypočítá kovarianční matice **C**. Obsahem této matice jsou prvky s indexy *i, j* což jsou kovariance *i*-té a *j*-té složky původních dat **X**. Kovariance se spočítá na základě vztahu (4.6), jednotlivé kovariance jsou uspořádány do kovarianční matice **C**. [10, 11, 13]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4.6) |

Nyní se vypočítají vlastní čísla (eigenvalues) a vlastní vektory (eigenvectors) kovarianční matice **C**. Vlastní vektory **Vi** jsou získány řešením rovnice (4.7).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4.7) |

Kde **(C – λiI)** je charakteristická rovnice pro výpočet vlastních hodnot *λi.*Vlastní hodnoty jsou získány řešením rovnice (4.8). [10, 13, 14, 15]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4.8) |

Kde je determinantem charakteristické rovnice. Vlastní hodnoty jsou rozptylem odpovídající příslušným hlavním komponentám. [10, 13]

Vlastní čísla *λi* jsou spolu s příslušnými vlastními vektory **Vi** seřazeny podle velikosti, od největších k nejmenším. Z vlastních vektorů se složí transformační matice **T**. Jednotlivé vlastní vektory **Vi** jsou v matici **T** řazeny sestupně podle vlastních čísel *λi*ve sloupcích. Prvky vlastních vektorů jsou váhy původních proměnných. Tyto váhy udávají pozici objektů v novém souřadném systému.

[10, 11, 13]

Nyní se vybírá počet hlavních komponent (vlastních vektorů), podle některého z kritérií uvedených v kapitole 4.2. Počet vybraných komponent *n* se vloží do nové transformační matice **Tn**. Podle vybraných hlavních komponent jsou původní data promítnuta do nového prostoru. [14, 15]

Na závěr je vypočtena matice **Y** podle vztahu (4.9), která obsahuje původní data promítnutá do nového prostou s *n* dimenzemi. [10, 13, 14, 15]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4.9) |

Kde **X**c je centrovaná matice vstupních dat.

## Výstupy analýzy hlavních komponent

Výstupy důležité pro interpretaci výsledků PCA - jsou vlastní hodnoty, komponentní váhy, komponentní skóre a grafy vyjadřující tyto hodnoty. [9]

**Vlastní hodnoty** vyjadřují podíl rozptylu rozložení původních dat v hlavní komponentě, udávají tedy význam dané hlavní komponenty pro vyjádření rozložení dat. Číselná hodnota není důležitá, důležitý je procentuální podíl v dané hlavní komponentě z celkového součtu vlastních hodnot všech hlavních komponent. [9, 13]

**Komponentní váhy** představují míru vzájemné korelace mezi původními proměnnými a hlavními komponentami. Znázorňují, jak velký vliv mají původní proměnné na hlavní komponenty. [13]**Graf komponentních vah (Plot Components Weights)** zobrazuje původní proměnné v ordinačním prostoru (Obr. 4.**3**). Komponentní váhy (v1,2,3,4) představující původní proměnné. Mohou být zobrazené pomocí vektorů vycházejících z počátku souřadného systému. Délka vektoru znázorňuje velikost vlivu proměnné. Úhel mezi proměnnou a hlavní komponentou vyjadřuje jejich vzájemnou korelaci. [9, 13]



Obr. 4.3: Graf komponentních vah

Čím menší úhel mezi hlavní komponentou a vektorem proměnné je, tím více proměnná komponentu ovlivňuje. Korelace mezi proměnnými je dána kosinem úhlu mezi vektory daných proměnných. Vzdálenost mezi proměnnými zobrazuje jejich vzájemnou korelaci. [9, 13]

**Komponentní skóre** obsahuje souřadnice původních objektů v prostoru hlavních komponent. [13]

**Graf komponentního skóre (Scatterplot)** zobrazuje původní objekty v ordinačním prostoru. Objekty jsou znázorněny jako body, jejichž pozici určuje komponentní skóre. Na obrázku je vidět příklad ordinačního diagramu objektů (Obr. 4.4). [9, 13]



Obr. 4.4: Graf komponentního skóre

Tento graf slouží k nalezení podobných objektů, které v prostoru hlavních komponent leží blízko sebe. Nebo také objektů silně odlišných, tedy odlehlých od ostatních. Objekty vzdálené od počátku jsou extrémy, naopak objekty umístěné blízko počátku, jsou objekty obvyklými. Nejdůležitější vlastností výstupu PCA je, že rozložení objektů v prostoru hlavních komponent je vhodné pro třídění dat pomocí shlukovacích metod. . [13]

**Dvojný graf (Biplot)** je grafem, který spojuje graf komponentních vah a komponentního skóre. Existují dva typy biplotů. Dělí se podle standardizace vlastních vektorů. Prvním je biplot vzdáleností (distance biplot). Délky vlastních vektorů jsou standardizovány na jednotkovou délku. Pozice objektů v grafu mají rozptyl roven vlastnímu číslu. Euklidovské vzdálenosti v PCA prostoru jsou aproximací euklidovských vzdáleností v původním prostoru, euklidovské vzdálenosti tedy lze interpretovat. Délka vektorů původních proměnných určuje jejich příspěvek k definici daného prostoru. Úhly mezi vektory znázorňující původní proměnné, nelze nijak interpretovat. Druhou variantou je biplot korelací (correlation biplot). Délky vlastních vektorů standardizuje na druhou mocninu z vlastních čísel a pozice objektů mají jednotkový rozptyl. Euklidovské vzdálenosti v prostoru PCA nelze interpretovat, nejsou totiž aproximací euklidovských vzdáleností v původním prostoru. Délky vektorů původních proměnných popisují jejich směrodatnou odchylku. Úhly mezi vektory původních proměnných zobrazují jejich vzájemnou korelaci. [9, 13]

## Příklad výpočtu

Pro názornost je v této kapitole uveden příklad analýzy hlavních komponent. Jedná se o srovnání parametrů bezdrátových sluchátek. I když není soubor dat příliš rozsáhlý, bylo by obtížné z něj vyvodit nějaké poznatky, například podobnosti nebo rozdílnosti jednotlivých sluchátek a to hlavně proto, že data obsahují šest proměnných (šest parametrů). Předpokladem je, že po výpočtu PCA bude možné vytvořit skupiny sluchátek s podobnými vlastnostmi, nebo najít sluchátka, která svými vlastnostmi vybočují. Případně, které vlastnosti to způsobují. Jednotlivé typy sluchátek budeme považovat za objekty a jejich parametry za proměnné. Takovýto soubor dat má tedy šest dimenzí a nelze graficky vynést. Ke zpřehlednění dat využijeme analýzu hlavních komponent.

Tab. 4.1: Srovnání parametrů bezdrátových sluchátek

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Sluchátka | cena | citlivost | impedance | výdrž baterie | nabíjení | hmotnost |
| Kč | dB/mW | Ω | hod. | hod. | g |
| Sony WH-1000XM3 | 8500 | 104,5 | 47 | 38 | 3 | 255 |
| Marshall Major III | 2500 | 97 | 32 | 30 | 3 | 178 |
| Niceboy HIVE | 850 | 100 | 32 | 13 | 2,5 | 115 |
| Beats by Dr.Dre Solo3 | 5000 | 102 | 16 | 40 | 2 | 215 |
| JBL Tune 500BT | 1350 | 24 | 32 | 16 | 2 | 155 |
| Apple AirPods PRO | 7300 | 105 | 32 | 4,5 | 0,3 | 11 |
| Niceboy HIVE Podsie | 950 | 110 | 16 | 3,5 | 2 | 9 |
| QCY T1C | 600 | 180 | 32 | 4 | 2 | 70 |
| Apple AirPods | 4500 | 95 | 16 | 5 | 0,4 | 16 |
| Niceboy HIVE Pods | 1700 | 92 | 32 | 3 | 2 | 80 |
| Fixed Steel | 700 | 42 | 32 | 6 | 1,5 | 33 |

Nejprve jsou data vložena do matice vstupních dat a následně vypočteny průměry jednotlivých parametrů. (4.4) Pomocí nich je vypočtena centrovaná matice. (4.5) Na obrázku (Obr. 4.5) jsou vidět centrované hodnoty pro Cenu a Citlivost.



Obr. 4.5: Centrované hodnoty pro Cenu a Citlivost (červené křížky zobrazují jednotlivé typy sluchátek v prostoru prvních dvou parametrů)

Dále se vypočte kovarianční matice (4.6), ze které jsou získány vlastní vektory a vlastní hodnoty, tedy hlavní komponenty a jejich váhy.

Tab. 4.2: Tabulka hodnot vlastních čísel

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Hlavní komponenta | Vlastní číslo λi [-] | Vlastní číslo [%] |
| PC1 | 7,946 ∙ 106 | 99,89 |
| PC2 | 6,824 ∙ 103 | 0,086 |
| PC3 | 1,516∙ 103 | 0,019 |
| PC4 | 9,005 ∙ 101 | 0,001 |
| PC5 | 9,978 | 1,255 ∙ 10-4 |
| PC6 | 0,126 | 1,578 ∙ 10-6 |

Vlastní čísla slouží k určení počtu hlavních komponent, které budou využity pro interpretaci dat. Na grafu úpatí vlastních čísel (Obr. 4.6) je vidět, že první hlavní komponenta PC1, obsahuje téměř všechen rozptyl původních dat. Bude tedy využita pouze první hlavní komponenta PC1.



Obr. 4.6: Indexový graf úpatí vlastních čísel

Hlavní komponenty PC2, PC3, PC4, PC5 a PC6 budou zanedbány, protože jejich popis rozložení objektů má velmi malý význam. V tabulce (Tab. 4.3) jsou uvedeny vypočtené vlastní vektory. Hodnoty, v nich obsažené, jsou váhy určující korelaci mezi původními proměnnými a hlavními komponentami.

Tab. 4.3: Tabulka komponentních vah

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| proměnná | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | V6 |
| cena | 0,1 | -0,011 | -0,002 | -1,841 ∙ 10-5 | -0,001 | 2,077 ∙ 10-4 |
| citlivost | 0,001 | -0,072 | 0,998 | 0,009 | 0,009 | -0,005 |
| impedance | 8,633 ∙ 10-4 | 0,044 | -0,008 | 0,928 | 0,369 | -0,029 |
| výdrž baterie | 0,003 | 0,142 | 0,005 | -0,372 | 0,917 | -0,033 |
| nabíjení | -5,684 ∙ 10-5 | 0,009 | 0,005 | 0,015 | 0,041 | 0,1 |
| hmotnost | 0,011 | 0,986 | 0,072 | 0,013 | -0,148 | -0,003 |

V další tabulce (Tab. 4.4) jsou hodnoty koeficientů hlavních komponent, neboli komponentní skóre jednotlivých typů sluchátek.

Tab. 4.4: Tabulka komponentního skóre

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Index | Sluchátka | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 | PC6 |
| 1 | Sony WH-1000XM3 | 5 415 | 94 | 8 | 10 | 0,1 | 0,4 |
| 2 | Marshall Major III | -585 | 82 | 8 | -2 | 5 | 0,1 |
| 3 | Niceboy HIVE | -2 236 | 35 | 10 | 4 | 0,2 | 0,1 |
| 4 | Beats by Dr.Dre Solo3 | 1 915 | 92 | 10 | -20 | -0,04 | -0,4 |
| 5 | JBL Tune 500BT | -1 736 | 75 | -64 | 3 | -4 | -0,2 |
| 6 | Apple AirPods PRO | 4 212 | -139 | -6 | 6 | 1 | -0,2 |
| 7 | Niceboy HIVE Podsie | -2 137 | -73 | 12 | -11 | 0,1 | 0,8 |
| 8 | QCY T1C | -2 487 | -13 | 87 | 7 | -0,5 | -0,4 |
| 9 | Apple AirPods | 1 413 | -103 | -10 | -9 | -2 | -0,2 |
| 10 | Niceboy HIVE Pods | -1 387 | -9 | -2 | 7 | -5 | 0,2 |
| 11 | Fixed Steel | -2 387 | -41 | -54 | 5 | 6 | -0,2 |

Z uvedených hodnot v (Tab. 4.3) je vynesen graf komponentních vah (Obr. 4.7). Graf zobrazuje původní proměnné v prostoru první a druhé hlavní komponenty (PC1 a PC2). Z uvedeného grafu je možné vyčíst, že hmotnost a cena se zásadně liší od zbývajících parametrů.



Obr. 4.7: Graf komponentních vah

Je možné říci, že cena koreluje s první hlavní komponentou, kdežto zbývající parametry více korelují s druhou hlavní komponentou. Největší vliv na první hlavní komponentu měla cena, na druhou hlavní komponentu měla nejvyšší vliv hmotnost.

Rozptylový diagram komponentního skóre je vidět na obrázku (Obr. 4.8). Body zobrazují jednotlivé objekty (sluchátka) v prostoru první a druhé komponenty. Čísla odpovídají indexům sluchátek v tabulce (Tab. **4**.**4**: Tabulka komponentního skóreTab. 4.4). Sluchátka značek Marshall, Niceboy, JBL, QCY, Fixed si jsou podobná a tvoří shluk. Osamocené sluchátka jako Apple AirPods PRO a Sony WH-1000XM3 se vymykají. Můžeme také říci, že jejich vlastnosti nejsou v uvedeném výčtu typické.



Obr. 4.8: Rozptylový diagram komponentního skóre

Posledním zobrazením výstupu analýzy hlavních komponent je dvoj graf (biplot). Spojuje zobrazení komponentních vah a komponentního skóre do jednoho zobrazení (Obr. 4.9). U dvoj grafu se sleduje vzdálenost mezi proměnnými a objekty. Jedná se o dvojgraf korelací, pozice objektů (typů sluchátek) mají jednotkový rozptyl.



Obr. 4.9: Dvojný graf

Kdyby byl objekt ve stejném bodě jako proměnná, nebo byl v její blízkosti, znamenalo by to vzájemnou interakci mezi danou proměnnou a blízkým objektem. Interakce může sloužit interpretaci objektů. [13] V tomto případě si jsou velice blízko sluchátka Sony a cena. To může naznačovat, že u sluchátek Sony je cena zásadním parametrem. Tyto sluchátka jsou v uvedeném přehledu nejdražší (Tab. 3.1). Výsledky PCA, nemusí být využity pouze pro grafické zobrazení, ale můžou být podrobeny dalším analýzám pro třízení a klasifikaci dat. Sluchátka by mohly být roztřízeny do skupin s podobnými vlastnostmi.

# Klasifikace dat

Po snížení dimenze dat pomocí analýzy hlavních komponent, budou údery klasifikovány do tříd, které budou představovat jednotlivé bubny nebo činely. Klasifikační metody hledají vzájemnou podobnost mezi objekty. Klasifikace dat je jedna z hlavních úloh strojového učení (machine learning). Pomocí klasifikačních metod je možné jeden objekt přiřadit do existující třídy, nebo množinu objektů rozdělit na několik klasifikačních tříd. [13] Rozdělení objektů do tříd může být pro provedeno pomocí následujících způsobů:

* Klasifikace pomocí diskriminačních funkcí
* Klasifikace pomocí minimální vzdálenosti od etalonů tříd
* Klasifikace pomocí hraničních ploch

**Klasifikace pomocí diskriminačních funkcí** je založen na výpočtu míry příslušnosti daného objektu k dané klasifikační třídě. Objekt je přiřazen do té klasifikační třídy, pro kterou byla vypočtena největší míra příslušnosti. Do této skupiny patří například metoda rozhodovacího stromu. [10, 12]

**Klasifikace pomocí minimální vzdálenosti od etalonů tříd** přiřazuje objekty do klasifikačních tříd na základě výpočtu vzdálenosti daného objektu od etalonu dané třídy. Etalon je reprezentativní objekt dané třídy. Počet etalonů klasifikační třídy není dán, záleží na zvolené klasifikační metodě. Například u centroidové metody je etalon pouze jeden (centroid), oproti metodě průměrné vazby, kde je etalonem každý prvek dané třídy. [10, 12]

**Klasifikace pomocí hraničních ploch** využívá hranic definovaných tak, aby v prostoru oddělovaly jednotlivé třídy. Objekt umístěný v daném hraničním prostoru je přidělen dané třídě. Typickým představitelem této skupiny může být metoda podpůrných vektorů (SVM). [10, 12]

## Výběr klasifikační metody

Pro výběr vhodné klasifikační metody byl proveden pokus na vzorku trénovacích dat. Bylo použito celkem 427 nahrávek. Konkrétně 221 nahrávek malého bubnu, 102 nahrávek velkého bubnu, a 104 nahrávek hi-hat. Tyto nahrávky byly filtrovány třetino-oktávovou bankou filtrů, a následně byly vypočteny energie v jednotlivých pásmech. Dále byla provedena analýza hlavních komponent. Na data v novém prostoru pěti prvních hlavních komponent byly aplikovány, klasifikační algoritmy. Na obrázku (Obr. 5.1), je znázorněno rozložení trénovacích nahrávek v prostoru prvních dvou hlavních komponent.



Obr. 5.1: Trénovací nahrávky v prostoru prvních dvou hlavních komponent

Pro test byly vybrány tři klasifikační metody a to k-průměrů, hierarchické shlukování a metoda podpůrných vektorů. První testovanou metodou byla k-průměrů. Tato metoda má předem daný počat shluků. Na začátku se provede náhodné rozdělení do shluků. Určí se centroidy těchto shluků a jednotlivé prvky jsou přiřazeny k nejbližším centroidům. Centroidy se znovu přepočítají. Tyto operace se opakují, dokud se přesuny neustálí. [9]



Obr. 5.2: Klasifikace trénovacích nahrávek metodou k-průměrů



Obr. 5.3: Klasifikace trénovacích nahrávek metodou hierarchické shlukování

Na obrázku (Obr. 5.2) je znázorněn výsledek klasifikace pomocí metody k-průměrů a na obrázku (Obr. 5.3) je znázorněn výsledek klasifikace pomocí metody hierarchického shlukování. Hierarchické shlukování nemá předem daný počet tříd. Každá třída se rozdělí na dvě poloviny dělení končí, když v třídě zbyde poslední prvek. Tento proces může probíhat i obráceně, tedy jednotlivé prvky se seskupují, dokud nejsou v jedné třídě. Z obrázků vyplývá, že oběma metodám činí potíže osamocené objekty, a z objektů v levém dolním rohu vytvoří jeden shluk.

Lepších výsledků bylo dosaženo pomocí metody podpůrných vektorů, které je možné vidět na (Obr. 5.4).



Obr. 5.4: Klasifikace trénovacích nahrávek metodou podpůrných vektorůNa obrázku (Obr. 5.5) je přiblížený shluk nacházející se poblíž počátku. Barevně jsou rozlišeny reálné třídy podle vstupních dat. Rozdělení do tříd pomoci metody podpůrných vektorů je rozlišeno pomocí symbolů. Zde je vidět že opravdová většina dat je zařazena do správných tříd.

Obr. 5.5 Srovnání reálných tříd a tříd vytvořených metodou podpůrných vektorů

Na základě výsledků toho testu, byla vybrána metoda podpůrných vektorů.

## Metoda podpůrných vektorů

Metoda podpůrných vektorů (SVM, suppoort vector machine) je jedním z nejpoužívanějších klasifikačních algoritmů. [12] Jedná se o typ strojového učení s učitelem (supervised learning), tedy data jsou klasifikována na základě trénovací množiny známých dat. SVM má mnoho variant použitelných pro různé klasifikační metody. Pro pochopení problematiky je zde vysvětlena lineární separace do klasifikačních tříd. [10]

Jsou-li třídy lineárně separovatelné existuje množina hranic, podle kterých může být prostor rozdělen tak, aby na jedné straně hranice byly pouze objekty patřící do jedné třídy a na druhé straně hranice pouze objekty patřící do druhé třídy. Na obrázku (Obr. 5.**6**) je uveden příklad několika hranic. Algoritmus podpůrných vektoru hledá hranici, která představuje nejrobustnější rozdělení nových testovacích objektů. Tedy hranici, která je stejně vzdálené od objektů první i druhé třidy. Na obrázku (Obr. 5.6) je tato hranice zobrazena plnou čarou. [10, 12]



Obr. 5.6: Příklad množiny hranic u separabilních tříd SVM

Kritériem pro nalezení optimální hranice je vytvoření co nejširšího tolerančního pásma mezi hranicí a oběma třídami v množině trénovacích dat. Hranice je definovaná vztahem (5.1). [12]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5.1) |

Kde vektor **w** udává orientaci hranice a **w0** její polohu**, x** je prvkem, který má být klasifikován.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5.2) |

Objekt **x** bude přiřazen do jedné ze dvou tříd na základě výsledku vztahu (5.2). [10, 19]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5.3) |

Vzdálenost bodu od hranice je dána vztahem (5.3). Souřadnice vektoru *w* určují orientaci hranice. Je-li výsledek funkce *h(x)* v nejbližším bodě první klasifikační třídy roven +1 a -1 v nejbližším bodě druhé klasifikační třídy, je šířka tolerančního pásma definována dle vztahu (5.4).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5.4) |

Z toho vyplývá definice kritéria pro stanovení hranice (5.5), kde je hledáno minimum funkce.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5.5) |

Za podmínky (5.6).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5.6) |

Kde **yk = 1** pro první třídu a **yk = -1** pro druhou třídu. [10, 12, 19]

Jsou-li klasifikační třídy lineárně neseparovatelné podmínka (5.6) nemůže platit pro všechny objekty trénovací množiny. Příklad takových to tříd je uveden na obrázku (Obr. 5.7). Je vidět, že některé objekty jsou již v tolerančním pásmu, a dokonce i za hranící a budou špatně klasifikovány.



Obr. 5.7: Lineárně neseparovatelné třídy

Někdy také může být výhodnější vytvořit robustnější klasifikátor s širším tolerančním pásmem za cenu špatné klasifikace několika málo objektů. Klasifikátory s úzkým tolerančním pásmem nemusí správně třídit nové testovací objekty. [12]

Kritérium (5.6) je tedy upraveno. Zavadí se nová proměnná ξk, nazývaná relaxační (slack variable) pro kterou platí:

* je-li objekt mimo toleranční pásma ξk**=** 0
* leží-li objekt uvnitř tolerančního pásma a je správně klasifikován 0 < ξk ≤ 1
* nachází-li se objekt na druhé straně hranice a je špatně vyhodnocen pak ξk**>**1

Podmínka je tedy nově definována jako (5.7).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5.7) |

Při optimalizaci není teď bráno v úvahu jen co nejširší toleranční pásmo, ale také co nejmenší počet objektů, pro které platí ξk **>** 0. [10, 12]

# Realizace

Program pro trigrování bicích byl realizován v prostředí Matlab. Program je rozdělen na dvě základní části trénovací s testovací. Hlavním souborem pro spuštění trénovací části je *uceni.m*. Slouží k výpočtu prostou hlavních komponent a rozdělení clusterovacích tříd na základě trénovací sady dat. Na obrázku **Obr. 6.1** je zobrazeno blokové schéma této části programu.



Obr. 6.1: Blokové schéma trénovací části programu

Testovací část s hlavním souborem *main.m*, analyzuje nahrávku a jednotlivé údery přiřazuje do daných tříd. Blokové schéma této části programu je zobrazeno na obrázku (Obr. 6.2). V této kapitole budou popsány jednotlivé bloky obou částí programu. Některé bloky jsou využity v obou větvích programu, proto je většina kódu naprogramovaná jako knihovny (funkce), které využívají obě větve.



Obr. 6.2: Blokové schéma testovací části programu

## Segmentace plovoucím oknem

V teoretickém úvodu byly zmíněny dvě možnosti časové segmentace vstupního signálu. První možností bylo rozdělit nahrávku po jednotlivých úderech a ty následně analyzovat. Druhou možností byla segmentace plovoucím oknem (kontinuální režim). Segmentace plovoucím oknem přináší možnost, že by systém v budoucnu mohl pracovat v reálném čase.

Testy obou variant bylo zjištěno, že obě jsou funkční. Implementována byla segmentace plovoucím oknem, díky tomu má rozpoznávací systém předpoklad pro budoucí fungování v reálném čase. Experimentálně bylo zjištěno, že bezpečnou délkou okna pro rozpoznání úderu je 3 500 vzorků. Pro přesnější detekci začátků a konců úderů, byl zaveden přesah oken na 2/3.

Segmentaci do jednotlivých oken zajišťuje funkce *okno.m.* Vstupem této funkce je samotná nahrávka, délka okna a přesah. Výstupy jsou časové značky oken, počet oken, časové značky úderů a počet úderů v nahrávce.

## Detekce úderů

Detekce začátků a konců úderů je také začleněna do funkce *okno.m.* Aby detekce správně fungovala, je potřeba normalizovat hlasitost nahrávky. Ve většině programů pro zpracování zvuku, se pod normalizací hlasitostí myslí zesílení signálu tak, že jeho nejhlasitější špička dosáhne úrovně přenosu 1. Takovýto přístup nezaručuje stejnou, nebo alespoň podobnou hlasitost signálů. Proto zde není prováděno měření špičkové hodnoty, ale hodnoty efektivní (RMS). Všechny vstupní nahrávky jsou tedy normalizovány na hodnotu 0.4 (RMS). Při takovéto úpravě zvukového signálu může dojít k zesílení špiček nad maximální hodnotu 0 dB a tím by mohlo dojít k tzv. klipování. Což se ve zvuku může projevit nepříjemným praskáním. Jako ochrana byl implementován limitér, který rozhodovací úroveň nastavenou na bezpečnou hranici -1 dB. Ostatní parametry zůstaly v základním nastavení. Náběhový čas 0 s, doběhový čas 0,2 s. U mnoha nahrávek, je úroveň úderu na hi – hat tak nízká, že je nebylo možné detekovat. Proto byl do předzpracování signálu ještě vložen expandér, který má rozhodovací úroveň nastavenou na -60 dB. Ostatní parametry zůstaly v základním nastavení. Expanzní poměr 1:5, náběhový čas 0,05 s, doběhový čas 0,2 s a čas přidržení 0,05 s. Pro zvýraznění tranzientů v signálu byl použit diferenční filtr. Jedná se o výpočet rozdílu dvou sousedních vzorků.

Pro takto upravený signál je vypočtena jeho obálka. Průchod obálky signálu rozhodovací úrovní je zaznamenán jako začátek nebo konec úderu, podle toho, jestli křivka obálky po protnutí rozhodovací úrovně stoupá nebo klesá. Tento proces probíhá v rámci časového okna, kde není znám průběh zbytku signálu, který by mohl mít vliv na výpočet obálky. Proto bylo využito přesahu mezi okny. Díky přesahu se jeden průchod rozhodovací úrovní promítne do více oken. Časy těchto průchodů se průměrují.



Obr. 6.3: Ukázka funkce detektoru úderů

Na obrázku (Obr. 6.3) je znázorněna funkce detektoru úderů. Signál S (t) je nahrávkou bicí soupravy, která již prošla předzpracování popsaným výše. Dále je na obrázku vidět obálka počítaná z RMS hodnoty signálu S (t), a rozhodovací úroveň. Růžovou barvou jsou zvýrazněny úseky signálu, které detektor označil jako úder. Výstupem tohoto bloku je počet nalezených úderů a časové značky začátků a konců úderů.

## Banka filtrů

### Funkce pca.m

Tato funkce obsažená v prostředí Matlab slouží k výpočtu analýzy hlavních komponent. Je využit defaultní algoritmus SVD viz kapitola 4.3.

Vstupem této funkce je matice vypočtených energií, kde řádky jsou frekvenčními pásmi a sloupce představují jednotlivé nahrávky úderů. Dalším vstupem je počet hlavních komponent, které budou vypočteny.

Prvním výstupním parametrem je matice komponentních vah označená jako coeff. Tento výstup lze reprezentovat grafem komponentních vah, který zobrazuje (Obr. 6.3).



Obr. 6.4: Graf komponentních vah pro malý buben, velký buben a hi-hat

Jedná se o graf komponentních vah pro malý buben, velký buben a hi-hat. Shluk blízký počátku je znázorněn na výřezu (Obr. 6.4).



Obr. 6.5: Přiblížený výřez z grafu komponentních vah

Dalším výstupním parametrem je

# Struktura závěrečné práce

Celkově je možné závěrečné práce rozčlenit do několika základních částí:

* **Úvod** – slouží k uvedení čtenáře do problematiky řešeného problému. Doporučený rozsah je cca 1 strana.
* **Teorie/literární rešerže** – jedna nebo více kapitol s teorií, která byla použita při řešení zadaného problému
* **Vlastní řešení problému** – nejdůležitější část závěrečné práce zaměřená na vlastní řešení zadání a tedy na vlastní práci řešitele. V této části jsou uvedeny např. výsledky měření, výpočtů a jejich vyhodnocení. Popsané použité postupy.
* **Závěr –** shrnutí dosažených výsledků, použitých metod a návrh dalšího pokračování při řešení dané problematiky.

# Několik formálních doporučení

## Psaní textů

Při psaní textu je vhodné dodržovat několik formálních pravidel:

* Všechny kapitoly označené nadpisy úrovně 1 by měly začínat na samostatné stránce
* V odsazení textu by neměly být velké mezery – např. ¾ stránky volné

## Tabulky a grafy

Popisky k tabulkám se ve Wordu vkládají jako „Titulky“ v referencích.

Tab. 8.1 Tabulka naměřených hodnot

|  |  |
| --- | --- |
| **U [V]** | 10 |
| **I[A]** | 5 |

## Vkládání obrázků

Obrázky by měly být jasné, jednoduše čitelné. Pozor na skenované obrázky, jejich kvalita bývá nevalná, vhodnější je daný obrázek překreslit. Popisky k obrázkům se ve Wordu vkládají jako „Titulky“ v referencích.

!!! Pokud je obrázek převzatý, je nutné uvést ODKAZ NA PŘÍSLUŠNÝ ZDROJ!!!!



Obr. . Vložený obrázek [2]

## Psaní rovnic v textu

Rovnice se do dokumentu vkládají pomocí „Vložit“-> „Objekt“ a výběru „Editor rovnic“. Všechny rovnice v dokumentu musí být očíslovány, aby bylo možné se v textu na ně odkazovat.

Formát zápisu by měl odpovídat matematickým standardům (např. násobení značit tečkou, ne hvězdičkou apod.). Označení rovnice (na příkladu „5.1“) se vkládá přes „Vložit titulek“ v referencích. Jako typ titulku zvolte „Rovnice“. Všechny rovnice uvedené v textu by měly být číslované a měl by na ně být uveden odkaz v textu.

Příklad zápisu rovnice:

 (8.1)

kde q je vektor posunutí pro N stupňů volnosti,  je vektor sil působících ve stupních volnosti, [M] je hmotnostní matice, [C] je matice tlumení a [K] je matice tuhosti.

## Informace k šabloně

V šabloně pro Word (v tomto souboru) jsou definované následující styly:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Název stylu** | **Použití** | **Příklad** |
| Nadpis 1 | Nadpis 1. úrovně | Příklad |
| Nadpis 2 | Nadpis 2. úrovně | Příklad |
| Nadpis 3 | Nadpis 3. úrovně | Příklad |
| Nadpis 4 | Nadpis 4. úrovně | Příklad |
| Nadpis neč. | Nečíslovaný nadpis | Příklad |
| Literatura | Styl pro zápis použité literatury | 1. Příklad |
| Přílohy | Nadpisy příloh | Příklad |
| BP/DP normální | Psaní normálního textu v odstavcích | Příklad Příklad Příklad Příklad Příklad Příklad Příklad Příklad Příklad Příklad Příklad Příklad Příklad Příklad Příklad Příklad Příklad Příklad Příklad Příklad Příklad Příklad |

Pro vkládání popisů tabulek, obrázků a označení rovnic jsou definované následující titulky:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Název titulku** | **Použití** | **Příklad** |
| Tabulka | Popisování tabulek | Tabulka 1 Příklad popisu tabulky |
| Obr. | Popisování obrázků | Obr. .: Příklad popisu obrázku |
| Rov. | Číslování rovnic | (9.1) |

Titulky se vkládají do textu pomocí tzv. „Referencí“. Zvolíte příslušný panel a zvolíte funkci „Vložit titulek“. V zobrazeném okně zvolíte příslušný typ titulku a doplníte ho popisem tabulky/obrázku.

# Nikdy to nebude naprosto dokonalé

Když jsme už napsali vše, o čem jsme přemýšleli, uděláme si den nebo dva dny volna   
a pak si přečteme sami rukopis znovu. Uděláme ještě poslední úpravy a skončíme. Jsme si vědomi toho, že vždy zůstane něco nedokončeno, vždy existuje lepší způsob, jak něco vysvětlit, ale každá etapa úprav musí být konečná.

# Typografické a jazykové zásady

Při tisku odborného textu typu technická zpráva (anglicky technical report), ke kterému patří například i text kvalifikačních prací, se často volí formát A4 a často se tiskne pouze po jedné straně papíru. V takovém případě volte levý okraj všech stránek o něco větší než pravý – v tomto místě budou papíry svázány a technologie vazby si tento požadavek vynucuje. Při vazbě s pevným hřbetem by se levý okraj měl dělat o něco širší pro tlusté svazky, protože se stránky budou hůře rozevírat a levý okraj se tak bude oku méně odhalovat.

Horní a spodní okraj volte stejně veliký, případně potištěnou část posuňte mírně nahoru (horní okraj menší než dolní). Počítejte s tím, že při vazbě budou okraje mírně oříznuty.

Pro sazbu na stránku formátu A4 je vhodné používat pro základní text písmo stupně (velikosti) 12 bodů. Volte šířku sazby 15 až 16 cm a výšku 22 až 23 cm (včetně případných hlaviček a patiček). Proklad mezi řádky se volí 120 % stupně použitého základního písma, což je optimální hodnota pro rychlost čtení souvislého textu. V případě použití systému LaTeX ponecháme implicitní nastavení. Při psaní kvalifikační práce se řiďte příslušnými závaznými požadavky.

Stupeň písma u nadpisů různé úrovně volíme podle standardních typografických pravidel. Pro všechny uvedené druhy nadpisů se obvykle používá polotučné nebo tučné písmo (jednotně buď všude polotučné nebo všude tučné). Proklad se volí tak, aby se následující text běžných odstavců sázel pokud možno na pevný rejstřík, to znamená jakoby na linky s předem definovanou a pevnou roztečí.

Uspořádání jednotlivých částí textu musí být přehledné a logické. Je třeba odlišit názvy kapitol a podkapitol – píšeme je malými písmeny kromě velkých začátečních písmen. U jednotlivých odstavců textu odsazujeme první řádek odstavce asi o jeden až dva čtverčíky (vždy o stejnou, předem zvolenou hodnotu), tedy přibližně o dvě šířky velkého písmene M základního textu. Poslední řádek předchozího odstavce a první řádek následujícího odstavce se v takovém případě neoddělují svislou mezerou. Proklad mezi těmito řádky je stejný jako proklad mezi řádky uvnitř odstavce.

Při vkládání obrázků volte jejich rozměry tak, aby nepřesáhly oblast, do které se tiskne text (tj. okraje textu ze všech stran). Pro velké obrázky vyčleňte samostatnou stránku. Obrázky nebo tabulky o rozměrech větších než A4 umístěte do písemné zprávy formou skládanky všité do přílohy nebo vložené do záložek na zadní desce.

Obrázky i tabulky musí být pořadově očíslovány. Číslování se volí buď průběžné v rámci celého textu, nebo – což bývá praktičtější – průběžné v rámci kapitoly.   
V druhém případě se číslo tabulky nebo obrázku skládá z čísla kapitoly a čísla obrázku/tabulky v rámci kapitoly – čísla jsou oddělena tečkou. Čísla podkapitol nemají na číslování obrázků a tabulek žádný vliv.

Tabulky a obrázky používají své vlastní nezávislé číselné řady. Z toho vyplývá, že v odkazech uvnitř textu musíme kromě čísla udat i informaci o tom, zda se jedná   
o obrázek či tabulku (například "... viz tabulka 2.7 ..."). Dodržování této zásady je ostatně velmi přirozené.

Pro odkazy na stránky, na čísla kapitol a podkapitol, na čísla obrázků a tabulek   
a v dalších podobných příkladech využíváme speciálních prostředků DTP programu, které zajistí vygenerování správného čísla i v případě, že se text posune díky změnám samotného textu nebo díky úpravě parametrů sazby.

Rovnice, na které se budeme v textu odvolávat, opatříme pořadovými čísly při pravém okraji příslušného řádku. Tato pořadová čísla se píší v kulatých závorkách. Číslování rovnic může být průběžné v textu nebo v jednotlivých kapitolách.

Jste-li na pochybách při sazbě matematického textu, snažte se dodržet způsob sazby definovaný systémem LaTeX. Obsahuje-li vaše práce velké množství matematických formulí, doporučujeme dát přednost použití systému LaTeX.

Mezeru neděláme tam, kde se spojují číslice s písmeny v jedno slovo nebo v jeden znak – například 25krát.

Členící (interpunkční) znaménka tečka, čárka, středník, dvojtečka, otazník   
a vykřičník, jakož i uzavírací závorky a uvozovky se přimykají k předcházejícímu slovu bez mezery. Mezera se dělá až za nimi. To se ovšem netýká desetinné čárky (nebo desetinné tečky). Otevírací závorka a přední uvozovky se přimykají k následujícímu slovu a mezera se vynechává před nimi - (takto) a "takto".

Lomítko se píše bez mezer. Například školní rok 2001/2002.

Pravidla pro psaní zkratek jsou uvedena v [2]. I z jiných důvodů je vhodné, abyste tuto knihu měli po ruce.

## Co je to normovaná stránka?

Pojem normovaná stránka se vztahuje k posuzování objemu práce, nikoliv k počtu vytištěných listů. Z historického hlediska jde o počet stránek rukopisu, který se psal psacím strojem na speciální předtištěné formuláře při dodržení průměrné délky řádku   
60 znaků a při 30 řádcích na stránku rukopisu. Vzhledem k zápisu korekturních značek se používalo řádkování 2 (ob jeden řádek). Tyto údaje (počet znaků na řádek, počet řádků a proklad mezi nimi) se nijak nevztahují ke konečnému vytištěnému výsledku. Používají se pouze pro posouzení rozsahu. Jednou normovanou stránkou se tedy rozumí 60 × 30 = 1800 znaků. Obrázky zařazené do textu se započítávají do rozsahu písemné práce odhadem jako množství textu, které by ve výsledném dokumentu potisklo stejně velkou plochu.

Orientační rozsah práce v normostranách lze v programu Microsoft Word zjistit pomocí funkce Počet slov v menu Nástroje, když hodnotu Znaky (včetně mezer) vydělíte konstantou 1800. Do rozsahu práce se započítává pouze text uvedený v jádru práce. Části jako abstrakt, klíčová slova, prohlášení, obsah, literatura nebo přílohy se do rozsahu práce nepočítají. Je proto nutné nejdříve označit jádro práce a teprve pak si nechat spočítat počet znaků. Přibližný rozsah obrázků odhadnete ručně. Podobně lze postupovat i při použití OpenOffice. Při použití systému LaTeX pro sazbu je situace trochu složitější. Pro hrubý odhad počtu normostran lze využít součet velikostí zdrojových souborů práce podělený konstantou cca 2000 (normálně bychom dělili konstantou 1800, jenže ve zdrojových souborech jsou i vyznačovací příkazy, které se do rozsahu nepočítají). Pro přesnější odhad lze pak vyextrahovat holý text z PDF (např. metodou cut-and-paste nebo Save as Text...) a jeho velikost podělit konstantou 1800.

# Závěr

Závěrečná kapitola obsahuje zhodnocení dosažených výsledků se zdůrazněním vlastního přínosu studenta. Povinně se zde objeví i zhodnocení z pohledu dalšího vývoje projektu, student uvede náměty vycházející ze zkušeností s řešeným projektem   
a uvede rovněž návaznosti na právě dokončené projekty.

Doporučený rozsah je na jednu stranu.

Literatura

1. SMÉKAL, Z. a SYSEL, P. Číslicové filtry. Elektronická skripta FEKT VUT v Brně. 2004, 130 s.
2. SMÉKAL, Z. (2009). Číslicové zpracování signálů. Vysoké Učení Technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 208.
3. JURA, Pavel. Signály a systémy: Část 3: Diskrétní signály a diskrétní systémy [online]. 3. Brno, 2017 [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www\_base/priloha.php?dpid=151106
4. JURA, Pavel. *Signály a systémy: Část 1: Spojité signály* [online]. 3. Brno, 2017 [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www\_base/priloha.php?dpid=147534
5. MATLAB Documentation. *MathWorks* [online]. The MathWorks, 2020 [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: https://www.mathworks.com/help/matlab/index.html
6. SCHIMMEL, Jiří. *Akustika a zvukové systémy.: Učební text* [online]. Brno, 2018 [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www\_base/priloha.php?dpid=185282
7. SCHIMMEL, Jiří. *Elektroakustika*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2013. ISBN 978-80-214-4716-5.
8. Drum kit illustration. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drum\_kit\_illustration\_edit.png
9. HARUŠTIAKOVÁ, Danka. *Vícerozměrné statistické metody v biologii*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012. ISBN 978-80-7204-791-8.
10. HOLČÍK, Jiří. *Analýza a klasifikace dat*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012. ISBN 978-80-7204-793-2.
11. MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Statistická analýza experimentálních dat*. Vyd. 2., upr. a rozš. Praha: Academia, 2004. ISBN 80-200-1254-0.
12. HOLČÍK, Jiří, KOMENDA, Martin (eds.) a kol. Matematická biologie: e-learningová učebnice [online]. 1. vydání. Brno: Masarykova univerzita, 2015. ISBN 978-80-210-8095-9.
13. MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Kompendium statistického zpracování dat*. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-2196-8.
14. SMITH, Lindsay. *A tutorial on Principal Components Analysis* [online]. 2002, 27 [cit. 2020-01-31]. Dostupné z: https://ourarchive.otago.ac.nz/bitstream/handle/10523/7534/OUCS-2002-12.pdf
15. ŠEMBERA, Jan. *Aplikace analýzy hlavních komponent pro redukci dimenze transportne-reakcního problému* [online]. , 13 [cit. 2020-01-31]. Dostupné z: https://math.fce.vutbr.cz/~pribyl/workshop\_2007/prispevky/Sembera.pdf
16. RICHARDSON, Mark. *Principal Component Analysis* [online]. 2009, , 23 [cit. 2020-02-14]. Dostupné z: http://www.dsc.ufcg.edu.br/~hmg/disciplinas/posgraduacao/rn-copin-2014.3/material/SignalProcPCA.pdf
17. JAN, Jiří. *Číslicová filtrace, analýza a restaurace signálů*. 2. upr. a rozš. vyd. Brno: VUTIUM, 2002. ISBN 80-214-1558-4.
18. SYROVÝ, Václav. *Hudební akustika*. 3., dopl. vyd. V Praze: Akademie múzických umění, 2013. Akustická knihovna Zvukového studia Hudební fakulty AMU. ISBN 978-80-7331-297-8.
19. ABE, Shigeo. *Support vector machines for pattern classification*. 2nd ed. London: Springer, 2010. ISBN 18-499-6097-6.
20. NOVOTNÝ, Martin a Miloš SEDLÁČEK. *Měření efektivní hodnoty s využitím algoritmů DSP v prostředí MATLAB* [online]. In: . Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, katedra měření [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: https://www2.humusoft.cz/www/papers/tcp04/novotny.pdf

Seznam příloh

[Příloha 1 - Příklad 48](#_Toc40364490)

[Příloha 2 - Tabulka naměřených hodnot 58](#_Toc40364491)

[Příloha 3 - Naměřené průběhy - grafy 59](#_Toc40364492)

Samotná část příloh je tvořena dvěma částmi „Seznamem příloh“ a jednotlivými přílohami označenými „Příloha 1“, „Příloha 2“ až „Příloha n“. Do příloh se dávají např. manuály, zdrojové kódy, rozsáhlé tabulky s naměřenými hodnotami, grafy apod. V případě, že taková data nejsou součástí práce, není třeba kapitoly uvádět vůbec.

Pokud je rozsah přílohy příliš velký (např. příliš velký počet tabulek, nebo mnoho stránek zdrojového kódu), do seznamu příloh lze uvést např. větu: „Příloha 1 – Zdrojový kód programu je uložen na přiloženém CD“. V takovém případě musí být závěrečná práce doplněna CD, na kterém jsou příslušná data uložena a jasně označena.

###### Tabulka naměřených hodnot

###### Naměřené průběhy - grafy