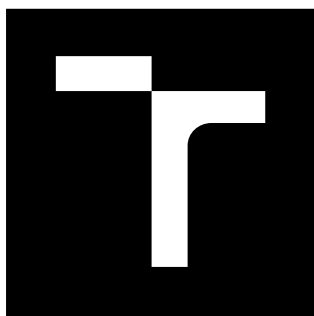


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

**KORELAČNÍ ANALÝZA PARKINSONOVY NEMOCI V
AKUSTICKÉ OBLASTI**

CORRELATION ANALYSIS OF PARKINSON'S DISEASE IN THE ACOUSTIC FIELD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Vošček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Zdeněk Smékal, CSc.

BRNO 2016

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Teleinformatika**
Ústav telekomunikací

Student: Jakub Vošček

ID: 164438

Ročník: 3

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Korelační analýza Parkinsonovy nemoci v akustické oblasti

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Pacienti trpící Parkinsonovou nemocí vykazují poškození motorické realizace řečové produkce nazývané také hypokinetická dysartrie. Dysartrická řeč se projevuje špatnou funkčností hlasivkových svalů v kombinaci s respiračními těžkostmi. V bakalářské práci bude provedena parametrizace řečového cvičení s cílem extrakce informace popisující degradaci řečové produkce u pacientů s Parkinsonovou nemocí. Dále bude provedena korelační analýza získaných parametrů. Cílem práce bude vizualizace korelace mezi řečovými parametry a progresí Parkinsonovy nemoci. Progrese nemoci bude popsána pomocí klinických škál hodnotících různé aspekty této nemoci. Nakonec bude analyzována korelace mezi vybranými řečovými parametry vypočtenými pro zdravé řečníky a pacienty. Navržené postupy budou naprogramovány v jazycích MATLAB nebo C/C++.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] SMÉKAL, Z. Číslíkové zpracování řeči (MZPR). Elektronická skripta pro magisterská studia, Ústav telekomunikací, FEEC, VUT Brno, 2009.

[2] MEKYSKA, J., GALAZ, Z., MZOUREK, Z., SMEKAL, Z., REKTOROVA, I.: Assessing Progress of Parkinson's Disease using Acoustic Analysis of Phonation In: Proc. of the International Work Conference on Bioinspired Intelligence (IWOBI), 2015, San Sebastian, pp. 115-122.

Termín zadání: 1.2.2016

Termín odevzdání: 1.6.2016

Vedoucí práce: prof. Ing. Zdeněk Smékal, CSc.

Konzultant bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být 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.

ABSTRAKT

Bakalárska práca je venovaná korelačnej analýze Parkinsonovej choroby v akustickej oblasti. V prvej časti je priblíženie Parkinsonovej choroby a jej symptómov. Hlbšie sa zaoberá problémami tvorby reči, ktoré nazývame *hypokinetická dyzartria*, a čo spôsobuje tieto problémy a akým spôsobom prebieha liečba. V ďalšej časti je naštudované predspracovanie signálu, tzn. odstránenie jednosmernej zložky, preemfáza a segmentácia na menšie rámce. Následne pomocou parametrizácie sa počítajú jednotlivé parametre. Po výpočte niektorých parametrov je potrebné dopočítať jednoduché štatistiky, napr. stredná hodnota, smerodajná odchýlka, atď.. Ďalej je vysvetlený Pearsonov a Spearmanov korelačný koeficient. Je navrhnutá bloková schéma spracovania dát, v ktorej sú popísané funkcie jednotlivých blokov. V praktickej časti je vysvetlená programová časť a časti tabuliek parametrov a vypočítaných koeficientov. Na koniec sú graficky zobrazené korelácie parametrov a paraklinických údajov.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Parkinsonova choroba, hypokinetická dyzartria, predspracovanie signálu, parametre rečového signálu, post-processing parametrov, Pearsonov a Spearmanov koeficient, bloková schéma a jej popis, výpočet korelácie parametrov, vizualizácia korelácie parametrov

ABSTRACT

The topic of this bachelor thesis is the correlation analysis of Parkinson's disease in the acoustic field. The first part is about the Parkinson disease and its symptoms. It looks closer on problems with speech production, which is called *hypokinetic dysarthria*, and describes the causes of the problems as well as the kind of treatment that is used. The next part involves a study of the preprocessing of signal, i.e. removing the direct component, a preemphasis and a segmentation to smaller frames. Afterwards, individual parameters are calculated in the next step. It is also necessary to calculate simple statistics, for example a median, a standard deviation, etc. after the calculation of some parameters. The calculation of Pearson's and Spearman's correlation coefficients is included. Moreover, a block diagram for the data processing is suggested, which involves a description of the functions of the individual blocks. The program is explained in the practical part, which also features parts of the tables with parameters' values and the calculated coefficients. As the conclusion of the work, there are graphs which display correlations of the parameters and the paraclinical data.

KEYWORDS

Parkinson disease, hypokinetic dysarthria, pre-processing, parameters of speech signal, post-processing of parameters, Pearson and Spearman coefficient, block diagram and its description, calculation of correlation coefficient, visualization of correlation

VOŠČEK, Jakub *Korelační analýza Parkinsonovej nemoci v akustickej oblasti*: bakalárska práca. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2015. 39 s. Vedúci práce bol prof. Ing. Zdeněk Směkal, CSc.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som svoju bakalársku prácu na tému „Korelační analýza Parkinsonovej nemoci v akustickej oblasti“ vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce, využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/nebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorskom, o právach súvisejúcich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), vo znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníka č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

POĎAKOVANIE

Rád bych poděkoval vedoucímu semestrální práce pánovi prof. Ing. Zdenkovi Smékalovi, CSc. a Ing. Zoltánovi Galážovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

podpis autora(-ky)



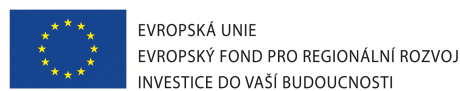
Faculty of Electrical Engineering
and Communication
Brno University of Technology
Purkynova 118, CZ-61200 Brno
Czech Republic
<http://www.six.feec.vutbr.cz>

POĎAKOVANIE

Výzkum popsaný v tejto bakalárskej práci bol realizovaný v laboratóriách podporených projektom SIX; registračné číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operačný program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno

.....
podpis autora(-ky)



OBSAH

Úvod	10
1 Parkinsonova choroba	11
2 Hypokinetická dyzartria	12
2.1 Fonácia	12
2.2 Artikulácia	13
2.3 Prozódia	13
2.4 Plynulosť reči	13
2.5 Liečba hypokinetickej dysartie	14
3 Predspracovanie rečového signálu	15
3.1 Odstránenie jednosmernej zložky	15
3.2 Preemfázová filtrácia	15
3.3 Segmentácia signálu	16
4 Parametrizácia rečového signálu	18
4.1 Fonačné parametre	18
4.1.1 Frekvencia základného tónu	18
4.1.2 Jitter	18
4.1.3 Shimmer	18
4.2 Artikulačné parametre	19
4.2.1 Formantové frekvencie	19
4.3 Parametre hodnotiace kvalitu reči	19
4.3.1 Krátkodobá energia	19
4.3.2 Harmonicita signálu	19
4.3.3 Prechod signálu nulovou úrovňou	19
4.4 Segmentálne parametre	20
4.4.1 Lineárna predikčná analýza (LPC)	20
4.4.2 Melovské kepstrálne koeficienty (MFCC)	21
4.4.3 Percepčné lineárne predikčné koeficienty	22
4.5 Post—processing parametrov	24
5 Korelačné koeficienty	25
5.1 Spearmanov korelačný koeficient	25
5.2 Pearsonov korelačný koeficient	25

6	Návrh systému korelačnej analýzy	27
6.1	Blokové schéma	27
6.2	Popis systému	28
7	Praktická časť	29
7.1	Databáza	29
7.2	Spracovanie rečového signálu	29
7.3	Parametrizácia	29
7.4	Korelačná analýza	31
8	Záver	34
	Literatúra	35
	Zoznam symbolov, veličín a skratiek	37
	Zoznam príloh	38
A	Obsah priloženého CD	39

ZOZNAM OBRÁZKOV

3.1	Bez prekryvania vľavo, s prekryvaním vpravo	16
3.2	Hammingova oknová funkcia	17
4.1	Zobrazenie rozloženie frekv. filtrov na melovskej stupnici	21
4.2	Zobrazenie rozloženie frekv. filtrov na frekvenčnej stupnici	22
4.3	Zobrazenie rozloženia pásmových prepustí na frekvenčnej stupnici	23
5.1	Príklad Pearsonovho korelačného koeficientu	26
6.1	Bloková schéma systému korelačnej analýzy	27
7.1	Korelácia parametra podľa Pearsona ste_std s vekom	32
7.2	Korelácia parametra podľa Pearsona BW2_median s dĺžkou trvania PD	33
7.3	Korelácia parametra podľa Pearsona zcr_std s UPDRS III	33

ÚVOD

Táto práca sa venuje korelačnej analýze Parkinsonovej choroby v akustickej oblasti. Oboznamuje s Parkinsonovou chorobou a jej dopadmi na zdravie pacientov, ako vzniká, aký má priebeh a ako sa postupuje pri liečbe tejto choroby. Rozoberá hypokinetickú disartriú a patologické poruchy reči, ktoré sa najčastejšie vyskytujú u hypokinetickej disartrie (poruchy fonácie, artikulácie, prozódie a plynulosti reči). Rečový signál sa najprv predspracováva. Odeľuje sa jednosmerná zložka, nastáva preemfáza (zdôraznenie vyšších frekvencií) a segmentuje sa na menšie rámce, aby sme dosiahli aspoň približnú stacionaritu signálu. Následne sa dáta parametrizujú pomocou parametrizačných metód. Niektoré parametre sú však vo forme vektoru alebo matice, a preto je potrebné dopočítať jednoduché štatistiky akými sú napr.: medián, smerodajná odchýlka,.... Je navrhnutý systém Parkinsonovej choroby, ktorý spracováva databázu rečových záznamov do podoby vhodnej pre parametrizáciu, aplikovať metódy predspracovania signálu a vizualizácie korelácie rečového parametru a klinickej škály pacientov s Parkinsonovou chorobou.

1 PARKINSONOVA CHOROBA

Parkinsonova choroba (Parkinson's disease - PD) je charakterizovaná ako závažné, progresívne, neurologické ochorenie, ktoré sa prejavuje hlavne u ľudí starších ako 60 rokov [1][6]. Prvýkrát bola popísaná v práci anglického chirurga Jamesa Parkinsona *An Essay on the Shaking Palsy* v roku 1817. PD vzniká v dôsledku rapídneho predčasného úbytku dopaminergických neurónov v oblasti mozgu nazývanej *Substantia nigra pars compacta* (čierna substancia, časť pars kompakta). Dôsledkom odumierania týchto buniek je nedostatok dopamínu v ľudskom organizme. Dopamín je špeciálna chemická látka (tzv. neurotransmitter), ktorej hlavnou úlohou je prenos nervových vzruchov medzi mozgom a ľudským pohybovým aparátom.

Úbytok dopamínu spôsobuje zhoršenie motorických schopností. U zdravého človeka počas života taktiež dochádza k úbytku dopamínu, nie však v takom množstve ako u pacientov postihnutých Parkinsonovou chorobou. Hlavnými príznakmi PD sú svalová stuhnutosť (*rigitida*), kľudový tras (*tremor*), spomalenie pohybov (*bradykinéza*) a v neposlednom rade poškodenie rečovej produkcie odborne nazývané *hypokinetická dysartria* (HD). Moderná medicína žiaľ nedokáže PD definitívne vyliečiť a preto je v súčasnosti snaha o minimalizáciu jej motorických symptómov.

2 HYPOKINETICKÁ DYZZARTRIA

Hypokinetická dyzzartria (HD) je porucha motorickej realizácie reči vzniknutej poškodením centrálnej nervovej sústavy. Vyskytuje sa u prevažnej väčšiny pacientov s PD. Tak ako úbytkom dopamínu v tele trpia končatiny, trpí ním aj rečový aparát. Posledné výskumy PD potvrdili, že HD poškodzuje všetky dielčie zložky reči (subdimenzie rečovej produkcie), konkrétne sa jedná o: respiráciu, fonáciu, artikuláciu, prozódium a faciokinéziu. Za posledné desaťročia výskumu bolo dokázané, že približne 70–90 % pacientov s PD vykazuje symptómy HD. [12]

Z klinickej praxe môžeme vysledovať, že poškodenie reči a následná degradácia verbálnej komunikácie bývajú v počiatočných štádiách Parkinsonovej choroby nepatrné. Očividné motorické symptómy reči sa podľa výskumov prejavujú až potom, čo už vyše 60 % dopaminergických buniek zahynulo [3] [4]. Tieto fakty dávajú do popredia významnosť skorej diagnostiky PD ako jedinej možnosti včasného nasadenia liečby, minimalizácie ťažkostí a zlepšenia zdravotného stavu takto trpiacich pacientov.

Proces tvorby hlasu úzko súvisí s respiráciou. Respirácia sa skladá z nádychu a výdychu. U Parkinsonovej choroby bývajú narušené obe fázy. Ide o proces súvisiaci s bradykinéziou a rigiditou, ktoré sa prejavujú zníženým rozsahom pohybu rečových orgánov. Klinicky sledujeme skrátenie oboch fáz dýchania, ktoré ovplyvňujú tvorbu hlasu, jeho kvalitu, silu a dĺžku. Hospodárenie s dychom je neefektívne, osoba s Parkinsonovou chorobou hovorí v krátkych vetách, zrýchľuje tempo reči, ťažko koordinuje dýchanie a rozprávanie. [3, 7]. Stáva sa, že pacienti niekoľkokrát opakujú začiatky slov, vytvárajú pauzu tam, kde by byť nemala, na jeden nádych vyslovia malý počet slabík, atď. Pri prudkom uvoľnení dychového prúdu cez nosnú dutinu môže dôjsť k tzv. hypernazalite.

2.1 Fonácia

Prvá oblasť, v ktorej sa HD prejavuje, je vo väčšine prípadov oblasť fonácie (tvorby hlasu). Vyšetrením hlasu osôb s PD bol zistený hlasový tremor, nedokonalé zovretie hlasiviek a redukované a neperiodické kmitanie hlasiviek. Výskumy uvádzajú, že sila hlasu klesá u osôb s Parkinsonovou chorobou ďaleko rýchlejšie, než u zdravých ľudí. Výška hlasu býva menšieho rozsahu, čo spôsobuje, že reči pacientov s PD chýba melódia, nedokážu správne pracovať s kontrastom reči, reč týchto pacientov vnímame ako monotónnu. Ďalej je v hlase prítomná hypofónia (hlas je tlmený, tichý a nevýrazný). V dôsledku dysfónie je narušená samotná kvalita rečového signálu (prítomnosť šumu spôsobí, že hlas znie nepríjemne, drsne a chraptivo) [4].

2.2 Artikulácia

Druhou najbežnejšou poruchou reči pri HD je poškodenie artikulácie. Je narušená funkcia artikulačného svalstva, čo spôsobuje zlú výslovnosť, a to najmä hlavne u spoluhlások. Najväčšie problémy nastávajú pri vyslovovaní tzv. plozív, ako sú napr. /p/, /t/, /b/, /d/, /g/. [3]

K hodnoteniu precíznosti artikulácie sa často využívajú tzv. diadochokinetické úlohy DDK (Diadochokinetic Tasks). Počas týchto úloh rečníci opakujú kombináciu ploziva-samohláska, napr. „pa-ta-ka-pa-ta-ka-pa-ta-ka...“. Pri vyslovení tejto rady dochádza k rýchlym zmenám v postavení artikulačných orgánov. V niektorých prípadoch pacienti nie sú schopní robiť tieto rýchle zmeny, v iných prípadoch udržiavajú kadenciu na úkor zníženej pohyblivosti artikulačných orgánov. Ľahké až ťažké poruchy artikulácie sa vyskytujú na úrovni slov, viet alebo dlhších vetných celkov. Spôsobujú nepresnú výslovnosť a nezrozumiteľnosť reči. Úplná neschopnosť artikulovať sa nazýva anartria [4, 7].

Správne vyslovenie vokálov sa odvíja od vhodne zvoleného objemu hrdelnej a ústnej dutiny, v ktorých dochádza k rezonanciám. To je možné merať pomocou tzv. formantových frekvencií.

2.3 Prozódia

Prozodické faktory reči, medzi ktoré patria prízvuk, melódia a tempo reči sú významnými nositeľmi emočného ladenia rečníka, dodávajú význam, či zdôrazňujú obsah vyjadrení. U osôb s PD sa stretávame s deficitmi všetkých prozodických faktorov. Pokiaľ v reči absentuje napr. vetná melódia alebo prízvuk, stáva sa reč monotónnou. Narušenie tempa reči býva u Parkinsonovej choroby v zmysle spomalenia (bradyfémie) a zrýchlenia (tachyfémie) reči. Tachyfémia zhoršuje artikuláciu, má vplyv na umiestňovanie páuz v rečníkovom prejave a významne ovplyvňuje celkovú zrozumiteľnosť reči. Prozódia rečníka sa odvíja od fonácie, pretože medzi tri základné rysy patria intenzita, tempo reči a frekvencia základného tónu [4, 7].

2.4 Plynulosť reči

U Parkinsonovej choroby bývajú prítomné dve formy porúch plynulosti reči, ktoré sa vyskytujú izolovane či spolu – palilalia a hezitácia. V prípade palilalie sa jedná o zrýchlené opakovanie slabík na začiatku, uprostred alebo na konci slov, alebo opakovanie celých slov. Hezitácia sú nezámerné a neplánované pauzy (zárazy) v úvode alebo kdekoľvek počas rečového prejavu [7].

2.5 Liečba hypokinetickej dysartie

Existuje len obmedzené množstvo prístupov k liečbe reči u pacientov s Parkinsonovou chorobou. Väčšina metód je zameraných predovšetkým na tlmenie kardinálnych príznakov PD. Tieto metódy nemajú na HD taký vplyv ako napr. na pohyb horných a dolných končatín. Jedná sa napr. o najrozšírenejšiu tzv. dopaminergickú liečbu (L-DOPA). Dopamín má pozitívny vplyv na približne 80 % pacientov, a to po dobu prvých asi 4-5 rokov užívania. Po tejto dobe sa môžu u niektorých pacientov vyskytnúť komplikácie. Tento druh farmakologickej liečby zlepšuje klinické prejavy PD a znižuje úmrtnosť pacientov, môže mať aj nežiadúce účinky, ako ospalosť, zmenosť, halucinácie, rozmazané videnie, zápchu, arytmiu, atď.[13] Vedecké publikácie väčšinou uvádzajú, že L-DOPA nemá na reč vplyv. Niektorí autori uvádzajú, že táto liečba má pozitívny vplyv na hlasový tremor a intenzitu, ale tieto výsledky sú zatiaľ veľmi okrajové. V poslednej dobe sa vedecká komunita začína zhodovať skôr na tom, že vplyv dopamínu na reč je veľmi individuálny.

V momente, kedy úbytok dopaminergických neurónov v čiernej substancii prekročí kritickú hranicu, prestáva byť liečba pomocou L-DOPA efektívna a u pacientov sa začnú vyskytovať neskoršie pohybové komplikácie, ako fluktuácia dobrého a zlého pohybového stavu a dyskinézia. Počas poslednej dekády sa ukázalo, že u týchto pacientov je možné použiť iný druh liečby, a to liečbu neuromodulačnú. [3] Ide o tzv. hlbokú mozgovú stimuláciu subthalamických jadier STN-DBS (Subthalamic Nucleus Deep Brain Stimulation) pomocou vhodne zavedených elektród napájaných zo simulátora umiestneného pod kľúčnou kosťou. Po operácii je počas niekoľkých sedení nastavená frekvencia a úroveň stimulačných impulzov. Publikácie opäť uvádzajú rôzne vplyvy STN-DBS na HD. Niektoré uvádzajú pozitívny vplyv, niektoré negatívny a niektoré vplyv neutrálny. Opäť je teda nutné pozeráť na túto liečbu skôr individuálne. Obecne sa ale vedci zhodujú na tom, že stimulácia ľavej hemisféry má na reč horší vplyv, ako v prípade stimulácie pravej hemisféry. Zároveň Chenausky et al. vo svojej práci upozorňujú na to, že akustická analýza HD je rýchla a neinvazívna metóda vhodná k nastaveniu priebehu stimulačných impulzov tak, aby mala STN-DBS pozitívny vplyv na reč. Z tohto hľadiska má teda do budúcnosti vysoký potenciál. [3]

3 PREDSPRACOVANIE REČOVÉHO SIGNÁLU

Ludská reč je časovo premenná, a preto je potrebné ju pred prevodom na číslicový signál upraviť. Tieto úpravy prebiehajú pomocou odstránenia jednosmernej zložky reči, filtrácie signálu za účelom kompenzácie frekvenčného utlmenia spektrálnych zložiek signálu charakteristikou prenosového prostredia a tzv. segmentácie rečového signálu.

3.1 Odstránenie jednosmernej zložky

Rečový signál môže obsahovať jednosmernú zložku, ktorá nenesie informáciu užitočnú pre spracovanie reči. Pri určovaní niektorých charakteristík rečového signálu môže dokonca spôsobiť chybné určenie hodnôt [8]. Odstránenie jednosmernej zložky môžeme realizovať dvomi spôsobmi:

1. Ak máme k dispozícii rečový signál $s(n)$ dĺžky N vzoriek, môžeme jednosmernú zložku vypočítať ako odhad strednej hodnoty signálu (aritmetický priemer):

$$\bar{s} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N s(n) \quad (3.1)$$

Získanú hodnotu potom odčítame od všetkých vzoriek signálu $s(n)$, $n = 1 : N$.

2. Rečový signál $s(n)$ upravíme filtrom typu dolný priepust, ktorý "vyberie" z rečového signálu jednosmernú zložku + frekvencie blízke nule. Filter je realizovaný nasledovne:

$$s'(n) = ks'(n-1) + (1-k)s(n) \quad (3.2)$$

kde $s'(n)$ je odhad strednej hodnoty a $k = 0,99$. Získaný odhad $s'(n)$ potom odčítame od všetkých vzoriek signálu $s(n)$, pre $n = 1 : N$.

3.2 Preemfázová filtrácia

Jednou zo základných úprav rečového signálu pred ďalším spracovaním je číslicová filtrácia tzv. preemfázovým filtrom. Ten zdôrazňuje vyššie frekvenčné zložky rečového signálu, čím vyrovnáva jeho prirodzený útlm spôsobený vyžarovacou charakteristikou úst a zároveň sa zdôraznia percepčne najvýznamnejšie zložky spektra reči. Realizovaný býva ako FIR filter s jedným koeficientom [9].

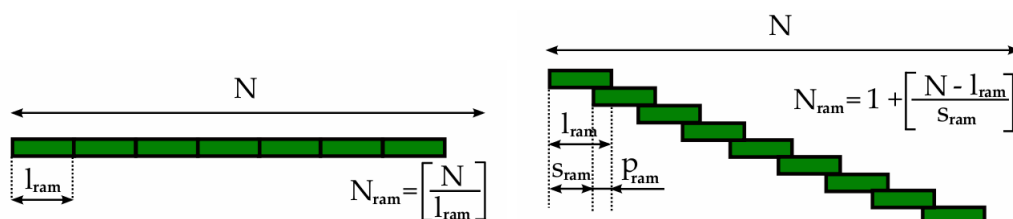
$$H_{pre}(Z) = 1 - a_{pre}Z^{-1} \quad (3.3)$$

kde a_{pre} je koeficient v rozsahu od 0,9-1.

3.3 Segmentácia signálu

Segmentácia na rámce sa robí z dôvodu, že signál je za normálnych okolností považovaný za nestacionárny náhodný proces. My potrebujeme, aby bol signál aspoň kvázi-stacionárny, a preto sa robí segmentácia signálu na rámce (segmenty). Dĺžka segmentu sa volí v rozmedzí 10-30 ms. To je čas, pri ktorom artikulačné orgány vykazujú zotrvačnosť [8]. Používajú sa dva spôsoby segmentácie:

1. Segmentácia bez prekrývania rámcov Obr. 3.1: u tohto spôsobu segmentácie $p_{ram} = 0$)
2. Segmentácia s prekrývaním rámcov Obr. 3.1: táto metóda je vhodnejšia z hľadiska priebehu počítaných príznakov. Prekrytie jednotlivých rámcov určuje rýchlosť posunu signálu v čase, a tým menšie nároky na pamäť, ale pri veľkom prekrývaní rámcov môže dôjsť k tomu, že rámec od rámca budú podobné, a to ovplyvní detekciu daných parametrov a ich rozpoznávanie. Pri nedostatočnom prekrytí rámcov sa hodnota príznakov môže skokovo meniť, a preto sa väčšinou určuje prekrytie 50 %. Ostatné parametre potrebné pri segmentácii: dĺžka rámca I_{ram} ; posun s_{ram} ; prekrytie p_{ram} .

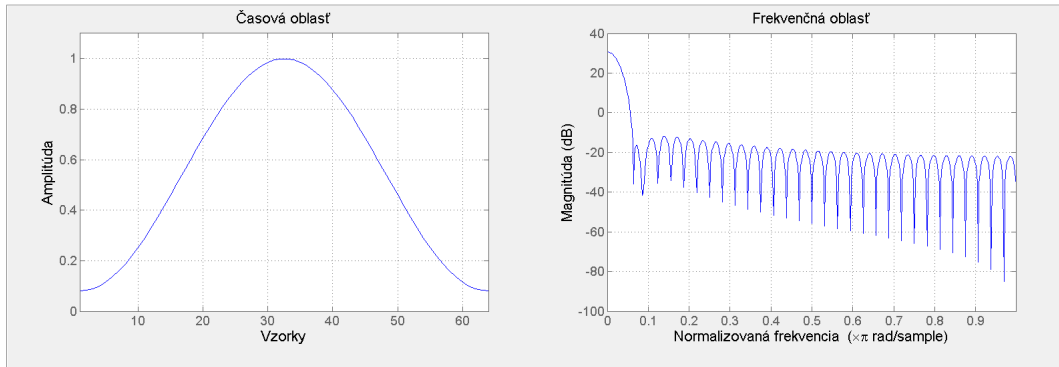


Obr. 3.1: Bez prekrývania vľavo, s prekrývaním vpravo

Na zmiernenie ostrých prechodov medzi okrajmi jednotlivých rámcov sa používajú tzv. váhové funkcie (tzv. okienkové funkcie). Týmto spôsobom docielime vyhladenie prechodov medzi rámcami. Poznáme viac typov okien (napr. pravouhlé, Hammingovo, vid. Obr 3.2, Barlettovo...). Pre spracovanie reči často používame okno Hammingove. Platí preňho vzťah:

$$w[n] = 0,54 - 0,46 \cos \left[n \frac{2\pi}{N} \right], \quad \text{pre } n = 0, 1, \dots, N - 1, \quad (3.4)$$

$$w[n] = 0, \quad \text{pre ostatné } n.$$



Obr. 3.2: Hammingova oknová funkcia

Rámec vzniká násobením signálu a okienkovej funkcie v časovej oblasti. Hammingovo okno má široký hlavný lalok, z toho vyplýva, že má horšie frekvenčné rozlíšenie a širšie prechodové pásmo. Naopak má veľké potlačenie postranných lalokov, a tým lepšie vlastnosti v nepriepustnom pásme a do spektra sa nedostanú takmer žiadne spektrálne zložky z vedľajších okien.[2]

4 PARAMETRIZÁCIA REČOVÉHO SIGNÁLU

Úlohou parametrizácie je vyjadriť rečový signál obmedzeným množstvom charakteristických hodnôt. Výstup parametrizácie je označovaný ako rečový parameter, čo môže byť skalárna hodnota, vektor alebo matica. Existuje veľa parametrizačných metód. Vo všeobecnosti je však ich úlohou kvantifikovať poškodenie určitej časti rečového aparátu.

4.1 Fonačné parametre

4.1.1 Frekvencia základného tónu

Vyjadruje počet kmitov hlasiviek za sekundu a má vplyv na výšku hlasu. Zmena frekvencie základného tónu sa prejavuje ako intonácia [2, 1]. Vzťah pre výpočet základného tónu F_0 je:

$$F_0 = \frac{f_{vz}}{k_{min}} \quad (4.1)$$

Frekvencia základného tónu F_0 sa veľmi často využíva pri určovaní diagnózy Parkinsonovej choroby, hlavne jeho stredná hodnota $mean(F_0)$ a odchýlka $std(F_0)$. Odchýlka $std(F_0)$ dosahuje u pacientov vyšších hodnôt z dôvodu poškodenia hlasiviek. k popisu variability základného tónu F_0 sa používa smerodajná odchýlka a jitter [1].

4.1.2 Jitter

Nestabilita základného tónu (kolísanie dĺžky základnej periódy) sa nazýva jitter. Kolísanie dĺžky základnej periódy môže nastať aj na veľmi krátkych úsekoch rečového signálu. Jitter popisuje tras, ktorý môže vzniknúť chvením hlasiviek [2]. Definuje sa ako rozdiel dĺžok susedných periód, podelený priemernou dĺžkou periódy,

$$J_g = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |T_g(i) - T_g(i-1)|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} T_g(i)} \quad (4.2)$$

kde N je počet periód pulzov (segmentov), pre každý segment je vypočítaná základná perióda a $T_g(i)$ je i -tá hodnota tejto periódy.

4.1.3 Shimmer

Kolísanie veľkosti pulzov, ktoré je vyjadrené ako rozdiel veľkosti dvoch susedných pulzov delený ich priemernou veľkosťou sa označuje ako vibrácie alebo kolísanie

pulzov (Shimmer) [2]. Vzťah pre výpočet:

$$S_g = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |A_g(i) - A_g(i-1)|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} A_g(i)} \quad (4.3)$$

kde N je počet amplitúd pulzov, $A_g(i)$ je i -tá hodnota amplitúdy.

4.2 Artikulačné parametre

4.2.1 Formantové frekvencie

Behom prechodu turbulentného prúdenia hlasovým traktom dochádza v hrtane, ústnej a nosnej dutine k rezonanciám. Frekvencie na ktorých k týmto rezonanciám dochádza sa nazývajú formanty (F_1, F_2, F_3). Prvé dva formanty F_1 a F_2 sú parametre, ktoré najviac vypovedajú o produkcii vokálov. Preto sa spolu s charakteristikami z nich odvodenými často používajú k popisu reči pacientov postihnutými Parkinsonovou chorobou [1].

4.3 Parametre hodnotiace kvalitu reči

4.3.1 Krátkodobá energia

Krátkodobá energia (Short-Time Energy - STE) slúži k výpočtu jednotlivých segmentov. Funkciu STE je možné definovať podľa vzťahu [11]:

$$E = \sum_{k=0}^{N-1} x(k)^2 \quad (4.4)$$

kde $x(k)$ je vzorka signálu, k je poradie daného vzorku v segmente a N je počet vzorkov v segmente.

4.3.2 Harmonicita signálu

Vyjadruje stupeň periodicky sa opakujúceho signálu. Harmonicita signálu býva označovaná aj HNR (harmonic-to-nois ratio) Ide o porovnanie energie v signále a energie šumu.

4.3.3 Prechod signálu nulovou úrovňou

Parameter počet prechodov nulou (Zero-Crossing Rate - ZCR) určuje, koľkokrát za rámec prejde signál nulou [8]. Tento parameter je veľmi citlivý na šum a na posun

jednosmernej zložky.

$$Z = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N |\text{sign}(s(n)) - \text{sign}(s(n-1))| \quad (4.5)$$

kde $\text{sign}()$ je tzv. znamienková funkcia definovaná nasledovne:

$$\text{sign}(s(n)) = \begin{cases} +1 & \text{pre } s(n) \geq 0 \\ -1 & \text{pre } s(n) < 0 \end{cases} \quad (4.6)$$

Funkcia $|\text{sign}[n] - \text{sign}[n-1]|$ dáva hodnotu 2 pre každý prípad, že sa od vzorku $s[n-1]$ ku vzorku $s[n]$ zmení znamienko [8].

4.4 Segmentálne parametre

4.4.1 Lineárna predikčná analýza (LPC)

Existujú dva druhy lineárnej predikčnej analýzy. Dopredná a spätná lineárna predikčná analýza. Spätná je svojimi operáciami inverzná k doprednej analýze [2]. LPC sa veľmi často používa pri analýze reči. Pri doprednej analýze je snaha na základe p predchádzajúcich vzoriek signálu odhadnúť novú hodnotu.

$$\hat{s}[n] = - \sum_{i=1}^p a_p[i] x[n-i] \quad (4.7)$$

Prenosová funkcia vokálneho traktu je:

$$H(z) = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^P a_i z^{-i}} = \frac{1}{A(z)} \quad (4.8)$$

Cielom tejto analýzy je určiť koeficienty a_i s čo najmenšou chybou predikcie $e(n)$. Chyba predikcie je daná rozdielom skutočnej a vypočítanej hodnoty [2, 10].

$$e(n) = s(n) - \tilde{s}(n) = s(n) - \left[- \sum_{i=1}^P a_i s(n-i) \right] = s(n) + \sum_{i=1}^P a_i s(n-i) \quad (4.9)$$

Predikčné koeficienty a_i sa zisťujú hľadaním minima energie chyby predikcie.

$$E = \sum_n e^2(n) \quad (4.10)$$

Metódou najmenších štvorcov sa získa sústava rovníc, ktorá sa rieši autokorelačnou metódou:

$$R(i) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-l-i} s(n)s(n-i) \quad (4.11)$$

$R(i)$ je krátkodobá autokorelačná funkcia rámca, N je dĺžka rámca (počet vzoriek). Na výpočet súboru LP koeficientov a_i sa používa Levinsonov-Durbinov algoritmus, ktorý je popísaný v [11].

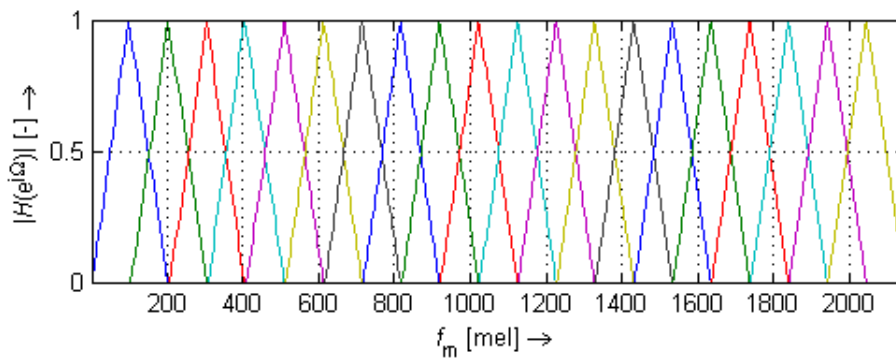
4.4.2 Melovské kepstrálne koeficienty (MFCC)

Melovské kepstrálne koeficienty boli prvé parametre, ktoré brali v úvahu nelineárne a maskovacie vlastnosti ľudského sluchu. Pri ich výpočte je použité reálne kepstrum rečového signálu a nelineárna transformácia frekvenčnej osi (prevod Hz na mel) [11, 8].

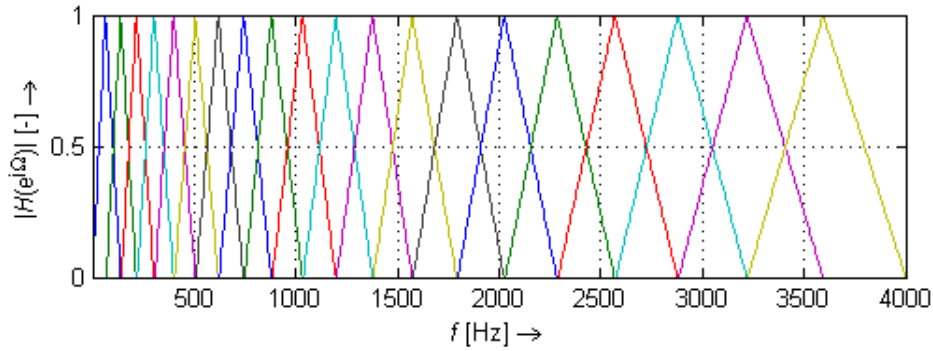
Nelineárne a maskovacie vlastnosti sú vyjadrené bankou číslicových filtrov s trojuholníkovou modulovou frekvenčnou charakteristikou. Najprv sa prevedie pásmo z jednotiek Hz do jednotiek mel:

$$f = xHz \rightarrow f_m = 2595,0375 \log 1 + \frac{x}{700} \quad (4.12)$$

Do frekvenčného pásma sa rovnomerne rozmiestni banka trojuholníkových frekvenčných filtrov vid. obr. 4.1. Táto banka rovnomerne rozložených filtrov v melovskej stupnici sa prevedie na frekvenčnú stupnicu a dôjde k nelineárnemu rozloženiu vid. obr. 4.2.



Obr. 4.1: Zobrazenie rozloženie frekv. filtrov na melovskej stupnici



Obr. 4.2: Zobrazenie rozloženie frekv. filtrov na frekvenčnej stupnici

Mel-frekvenčné keprálne koeficienty sa počítajú tak, že sa najprv pomocou DFT získa výkonové spektrum signálu, ktoré sa vo frekvenčnej oblasti násobí bankou trojuholníkových filtrov. Vzorky každého filtra sa sčítajú a vložia do vektoru o p vzorkách. Vektor sa podrobí logaritmickému transformácii a použije sa Diskrétne kosínusová transformácia (DCT). Vďaka tomu sú MFCC koeficienty menej korelované [11].

4.4.3 Percepčné lineárne predikčné koeficienty

Percepčné lineárne predikčné koeficienty (PLP) vychádzajú z výpočtu LPC koeficientov, ale pred tým je rečový signál predspracovaný podobne, ako to prebieha u človeka. Potom sa vypočítajú LPC napr. pomocou Levinsonovho-Durbonvoho algoritmu [2]. Výpočet PLP koeficientov je možné rozložiť na niekoľko krokov:

1. Rečový signál je rozdelený do rámcov pomocou vážení okien (Hammingovým,...). Jeden rámec $x(n)$ je podrobený výpočtu DFT pomocou FFT (Fast Fourier transform). Dostaneme spektrum jedného rámcu:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-jk\frac{2\pi}{N}n} = ReX(k) + jImX(k), \quad k = 0, 1, \dots, N-1. \quad (4.13)$$

Stanoví sa odhad krátkodobej výkonovej spektrálnej hustoty jedného rámcu reči

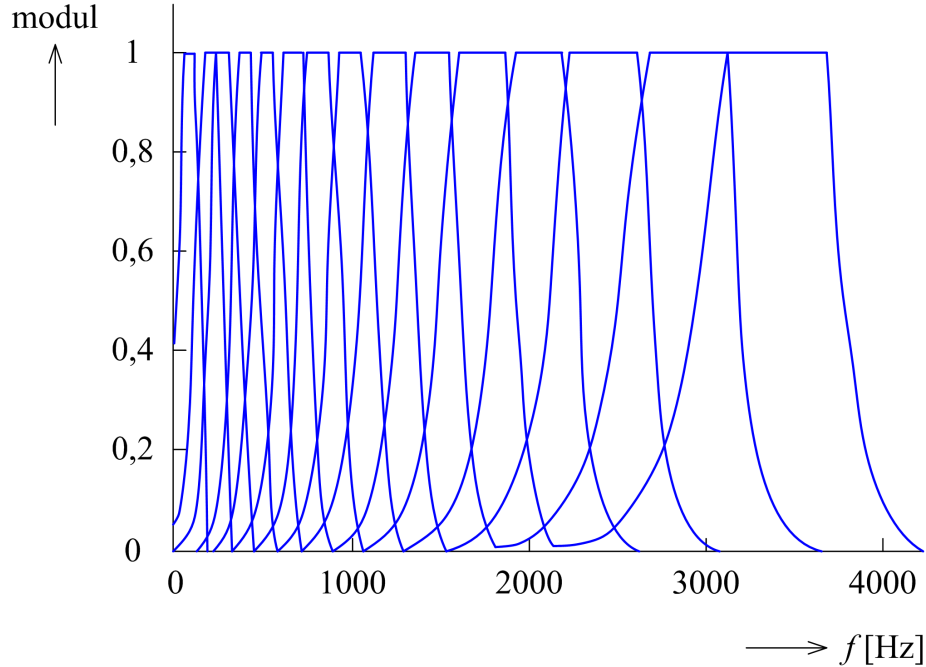
$$P(k) = |X(k)|^2 = Re^2X(k) + Im^2X(k) \quad (4.14)$$

Index k označuje diskretnú hodnotu frekvencie $\omega_k = 2\pi f_k$, $k = 0, 1, \dots, N-1$.

2. Teraz sa do modelu zaradia maskovacie vplyvy ľudského sluchu. Urobí sa nelineárna transformácia z frekvenčnej osi z pôvodnej hodnoty Hz na hodnotu bark.

$$\omega_b = 6 \ln \left(\frac{\omega}{1200\pi} \right) + \sqrt{\left(\frac{\omega}{1200\pi} \right)^2 + 1} \quad (4.15)$$

Vytvoríme banku lineárne rozložených lichobežníkových pásmových prepustí v barkovej stupnici a tomu odpovedajú nelineárne rozložené filtry v hertzovej stupnici.



Obr. 4.3: Zobrazenie rozloženia pásmových prepustí na frekvenčnej stupnici

3. Upravajú sa moduly jednotlivých barkových filtrov krivkami rovnakej hlasitosti. To je z toho dôvodu, pretože ucho má rôznu citlivosť pre rôzne oblasti frekvenčného spektra reči.
4. Môžeme postupne násobiť výkonovú spektrálnu hustotu jedného rámca reči jednotlivými barkovými filtermi a urobiť výpočet plochy. V diskretnom prípade sa jedná o súčet všetkých spektrálnych zložiek, ktoré sa nachádzajú v spektre po filtrácii danou pásmovou prepustou. Jednotlivé pásmové prepusti budú mať tvar:

$$P'(m) = \sum_{k=0}^{M-1} P(k)H'_m(k) \quad (4.16)$$

kde $m = 0, 1, \dots, M - 1$, M je počet barkových filtrov.

5. ešte je uplatnený vzťah medzi intenzitou zvuku a vnímanou hlasitosťou:

$$S(m) = [P'(m)]^{\frac{1}{3}} \quad (4.17)$$

6. spätnou DFT získame spätné časové vzorky jedného rámca reči.

$$s(n) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} S(k)e^{jk\frac{2\pi}{M}n} \quad (4.18)$$

kde $m = 0, 1, \dots, M - 1$.

7. v tomto kroku sa urobí výpočet LPC koeficientov.

Takto získané PLP koeficienty, podobne ako koeficienty MFCC sa používajú k analýze reči, určovaní emócií, logopedických chýb,... [2].

4.5 Post—processing parametrov

Výsledkom niektorých parametrov môže byť vektor alebo matica. Následne sa z nich počítajú jednoduché štatistiky napr. stredná hodnota, smerodajná odchýlka, medián, koeficient variácie, atď. Na základe týchto štatistík sa určujú štatistické vlastnosti výsledných parametrov.

5 KORELAČNÉ KOEFICIENTY

Korelačný koeficient vyjadruje súvislosť dvoch premenných x a y . Ak sú premenné x a y navzájom závislé, hodnoty korelačného koeficientu väčšinou nadobúdajú hodnoty -1 až 1 . Ak nie sú na sebe vôbec závislé, tak korelačný koeficient je nulový. V určitých prípadoch môžeme použiť Pearsonov alebo Spearmanov korelačný koeficient.

5.1 Spearmanov korelačný koeficient

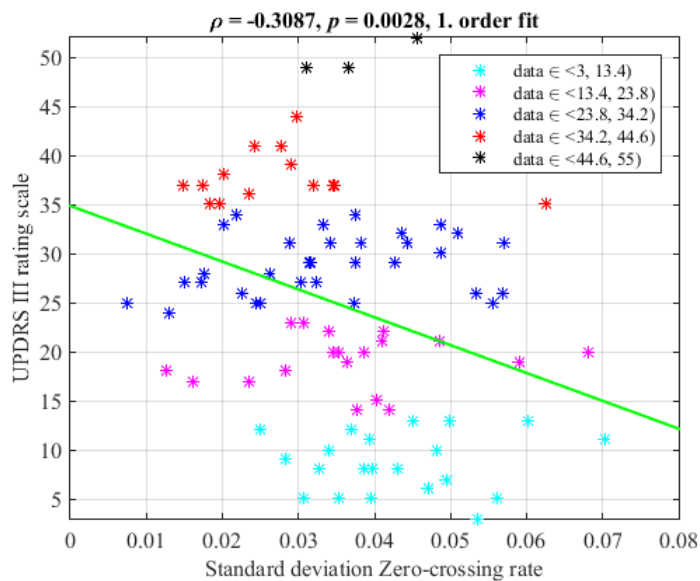
Spearmanov korelačný koeficient sa používa, ak nevieme presne určiť vzťah medzi dvoma premennými. Hodnoty náhodných veličín sa zoradia vzostupne a tieto rady sa nahradia ich priemernou hodnotou, čím sa získa výber $\{x_i, y_i\}_i^N = 1$. [5] Ak použijeme výber hodnôt $\{x_i, y_i\}_i^N = 1$ tak Spearmanov koeficient je definovaný vzťahom:

$$R(X, Y)_{Spearman} = 1 - \frac{6 \sum_i (x_i - y_i)^2}{N * (N^2 - 1)} \quad (5.1)$$

Spearmanov korelačný koeficient naberá hodnoty -1 až 1 . Ak je hodnota koeficientu záporná, znamená to, že nárast jednej premennej vedie k poklesu druhej premennej. Čím väčšia hodnota koeficientu, tým je štatistický vzťah silnejší. [5]

5.2 Pearsonov korelačný koeficient

Pearsonov korelačný koeficient je používaný najčastejšie. Používa sa, ak premenné sú merané prinaajmenšom na intervalovej škále. Nezávisí od mierky, v ktorej boli premenné merané. Týmto koeficientom sa meria lineárna závislosť, najvyššia hodnota je vtedy, ak sa namerané hodnoty dajú preložiť priamkou. [14]



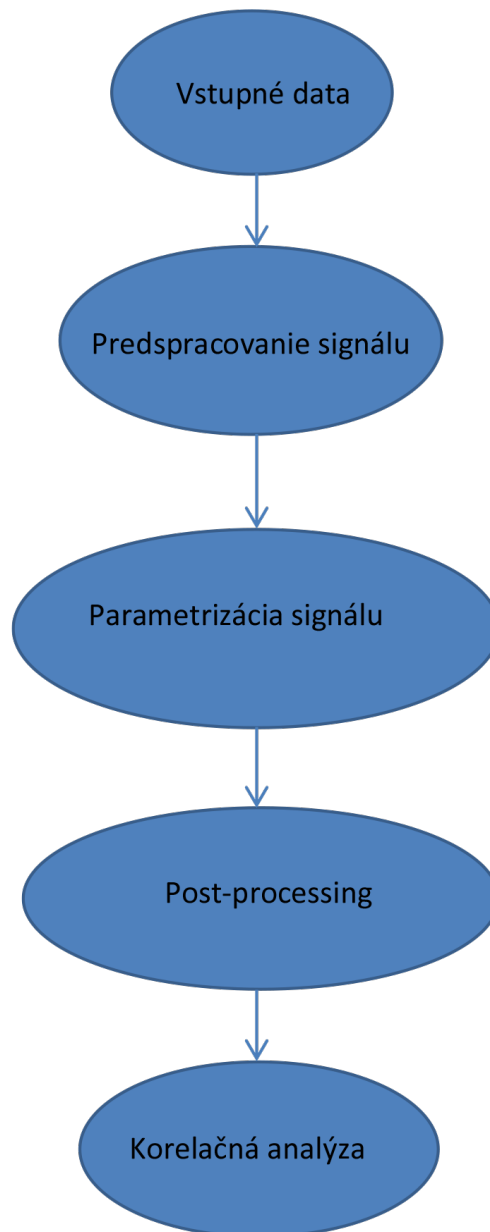
Obr. 5.1: Príklad Pearsonovho korelačného koeficientu

Číselná hodnota Pearsonovho koeficientu závisí na kovariancii, ktorá vyjadruje spoločnú premenlivosť hodnôt oboch premenných. Vzťah pre výpočet Pearsonovho koeficientu:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5.2)$$

6 NÁVRH SYSTÉMU KORELAČNEJ ANALÝZY

6.1 Blokové schéma



Obr. 6.1: Bloková schéma systému korelačnej analýzy

6.2 Popis systému

Popis systému sa skladá z viacerých blokov, pričom každý blok má určitú funkciu.

1. vstupné dáta - budú sa spracovávať rečové záznamy pacientov s Parkinsonovou chorobou, ktoré boli nahrané v nemocnici Sv. Anny v Brne. Záznamy sú uložené v databáze, ktorú je potrebné upraviť do vhodného formátu pre ďalšie spracovanie. Vytvorí sa pole štruktúr, kde v každej štruktúre budú uložené rečové informácie o daných pacientoch, napr. (rečový záznam, vzorkovaciu frekvenciu, pohlavie,...).
2. predspracovanie rečových signálov – tento blok dostáva dáta už spracované do vhodného formátu a automaticky sa aplikujú metódy predspracovania (odstránenie jednosmernej zložky, preemfáza, segmentácia signálu). Výstupy sú spätne uložené do poľa štruktúr, ktoré budú v ďalšom bloku spracovávané.
3. parametrizácia rečového signálu – tu sa počítajú jednotlivé rečové parametre. Každý záznam sa znovu ukladá do poľa štruktúr.
4. post—processing – zabezpečuje, že ak jednotlivý parameter sa nachádza vo forme vektoru alebo matice, aplikujú sa metódy štatistickej analýzy. Výpočet strednej hodnoty, mediánu, smerodajnej odchýlky, atď..
5. korelačná analýza – tu budú jednotlivé parametre analyzované pomocou pearsonovho a spearmanovho korelačného koeficientu. Výpočet korelácie medzi hodnotami rečových parametrov a akú hodnotu klinickej škály má daný pacient a vizualizácia korelácie rečového parametra a klinickej škály.

7 PRAKTICKÁ ČASŤ

Korelačná analýza PD je realizovaná v programe MATLAB. Sú spracovávané rečové záznamy pacientov s PD z databázy. Tento systém vypočíta a vizualizuje koreláciu medzi hodnotami rečových parametrov a klinickými údajmi (vek, dĺžka trvania PD, UPDRS III). Korelácia je realizovaná pomocou Pearsonovho a Spearmanovho koeficientu.

7.1 Databáza

V práci sú vstupné dáta, databáza nahrávok 3F testu pacientov s PD. Konkrétne sa jednalo o nahrávky predĺženej fonácie samohlásky *á*. Databáza bola nahrávaná na 1. klinike Fakultnej nemocnice u Sv. Anny v Brne v Českej republike. Materský jazyk všetkých rečníkov bola čeština. Databáza obsahuje 152 nahráviek z toho je 53 zdravých ľudí a 99 pacientov s PD. Medzi zdravými rečníkmi sa nachádza 27 žien a 26 mužov. U pacientov sa nachádza 40 žien a 59 mužov. 9 nahrávok je vynechaných, kvôli skresleniu spôsobeným napr. hlukom v pozadí. Vzorkovacia frekvencia nahrávok je 16 kHz. V práci sa používajú hlavne nahrávky pacientov s PD, lebo iba pri nich sa uskutočňuje výpočet korelačných koeficientov.

7.2 Spracovanie rečového signálu

Pomocou programu `__gen_file_list.bat` je generovaný `__file_list`, ktorý obsahuje cesty k jednotlivým rečovým záznamom. Pomocou tohto zoznamu sú iteratívne načítané jednotlivé rečové záznamy. Je načítaný súbor `info.xlsx`, ktorý obsahuje identifikačné číslo a klinické údaje pacienta. Tieto informácie sú zapísané do štruktúry. Pred parametrizáciou je vykonané predspracovanie (segmentovanie) signálu. To sa robí volaním funkcie `segmentation.m`. Na vstup funkcie je privedený vstupný signál, vzorkovacia frekvencia, dĺžka okna a veľkosť prekrytia. Používa sa hammingovo okno. Dĺžka okna je nastavená na 20 ms a veľkosť prekrytia na 10 ms, čo je 50 %. Na výstupe funkcie je matica s veľkosťou $[počet\ vzorkov\ v\ segmente] \times [počet\ segmentov]$.

7.3 Parametrizácia

Parametrizácia prebieha volaním funkcií zo skriptu `main.m`, ktoré automaticky segmentujú vstupné rečové záznamy pacientov. Následne sú počítané rečové parametre, ktoré sa ukladajú do štruktúry. Konkrétne sa jedná o tieto funkcie:

- **praat_info.m** funkcia počíta jitter (lokálny (%), absolútny (s), RAP - relatívne priemerné prerušenie, PPQ5 - 5-bodová perióda prerušenia pomeru, DDP - rozdiely rozdielov periód), shimmer (lokálny (%), v dB, APQ(3,5 a 11) (3,5 a 11)-bodová perióda prerušenia pomeru, DDA - priemerný rozdiel medzi susednými rozdielmi amplitúd susedných periód), hnr a nhr (mean, median, q1, q3). Na vstup funkcie sú privedené vstupný signál, vzorkovacia frekvencia, spodný a horný časový rozsah, spodný a horný rozsah výšky tónu v Hz, faktor maximálnej periódy a amplitúdy, prah počutelnosti a..... Na výstupe sú vypočítané skalárne hodnoty parametrov.
- **energy.m** funkcia počíta krátkodobú energiu vstupného signálu. Na vstup tejto funkcie je privedený vstupný vektor, dĺžka okna vo vzorkoch, presiahnutie okna vo vzorkoch a padd, ktorý určuje, či je posledný segment vyplnený 0. Na výstupe je vektor, z ktorého sa následne počítajú median, mean, standard deviation, q1 a q3 - prvý a tretí kvartil.
- **praat_F0.m** funkcia počíta základnú frekvenciu F0. Na vstupe funkcie sú vstupný signál, vzorkovacia frekvencia, minimálna a maximálna frekvencia. Výstup funkcie je vektor, z ktorého je počítaný median, mean, standard deviation, q1 a q3.
- **praat_formants.m** v tejto funkcii sú vypočítané formantové frekvencie a ich šírky pásma. Vstupné premenné funkcie sú vstupný signál, vzorkovacia frekvencia, časový krok (s), maximálny formant (Hz), dĺžka okna (s), preemfáza. Výstupom funkcie je matica, ktorá obsahuje tri formantové frekvencie a ich šírky pásma. Musí sa z nich dopočítať median, mean, standard deviation, q1 a q3 pre každú frekvenciu a jej šírku pásma.
- **zero_crossing_rate.m** vo funkcii je vypočítaná prechody signálu nulou. Na vstup funkcie sú privedené hodnoty vstupného vektoru, dĺžka okna vo vzorkoch, presiahnutie okna vo vzorkoch, padd a smooth, ktorý ošetruje nespojitost signálu. Výstup funkcie je vektor z ktorého sú vypočítané median, mean, standard deviation, q1 a q3.

Všetky tieto parametre sú uložené do štruktúry **database_info.mat**. V skripte **export_feature_matrix.m** je štruktúra konvertovaná na bunkové pole a uložená ako tabuľka v exceli **feature_matrix.xlsx**. Príklad tabuľky **feature_matrix.xlsx**. Z tejto tabuľky sú vybrané parametre a ich hodnoty, ktoré dobre korelujú s paraklinickým údajom UPDRS III.

	Q1	median	Q3	mean	std
zcr	0,1	0,109375	0,11875	0,109669118	0,013087243
F1	919,5425	964,914	1005,58575	945,371	109,6245218
BW2	337,25475	996,713	1404,36225	1035,777282	839,955957
BW1	77,223	94,822	145,76025	388,4695954	717,9302246
F2	1062,786	1199,943	1288,2275	1464,610382	743,5522123
F0	189,8220086	197,3386907	212,5819667	166,1133861	78,06003802
hnr	13,498	13,498	13,498	13,498	
ste	0,081439043	0,380732958	1,013481843	0,55198603	0,545606017
nhr	0,084555	0,084555	0,084555	0,084555	

Tab. 7.1: Parametre, ktoré dobre korelujú s paraklinickým údajom UPDRS III

7.4 Korelačná analýza

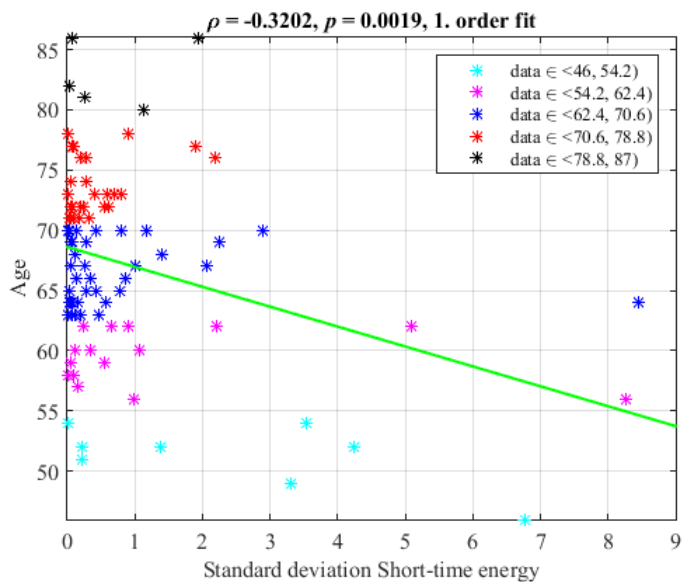
Tabuľka `feature_matrix.xlsx` sa spracováva v skripte `correlation_analysis.m`. Tento skript počíta Pearsonov a Spearmanov koeficient. Koeficienty sú počítané medzi rečovými parametrami a paraklinickými údajmi pacienta (vek, dĺžka trvania PD, UPDRS III). Podľa paraklinických údajov sú tieto koeficienty uložené do jednotlivých listov tabuľky `corr_analysis.xlsx`. Príklad tabuľky `corr_analysis.xlsx`. Z tejto tabuľky sú vybrané parametre a hodnoty korelačných koeficientov, ktoré najlepšie korelujú s paraklinickým údajom UPDRS III.

	r_pears	p_pears	r_spear	p_spear
zcr_std	-0,308680981	0,00275568	-0,336724881	0,001030771
zcr_q3	-0,303796576	0,003240111	-0,325598531	0,001539649
F1_median	-0,300944559	0,003557016	-0,280173545	0,006830644
F1_mean	-0,29119129	0,004860736	-0,293698367	0,004490327
BW2_q1	0,288502683	0,005287939	0,320493553	0,00184176
F1_q1	-0,287352075	0,00548073	-0,293120054	0,004573464
F1_q3	-0,263704849	0,011087993	-0,254187998	0,014483073
BW1_q1	0,25048576	0,016029132	0,286573546	0,005614691
BW2_median	0,23550829	0,023826301	0,268252579	0,00972721
zcr_median	-0,204964181	0,050004088	-0,21757718	0,037212721

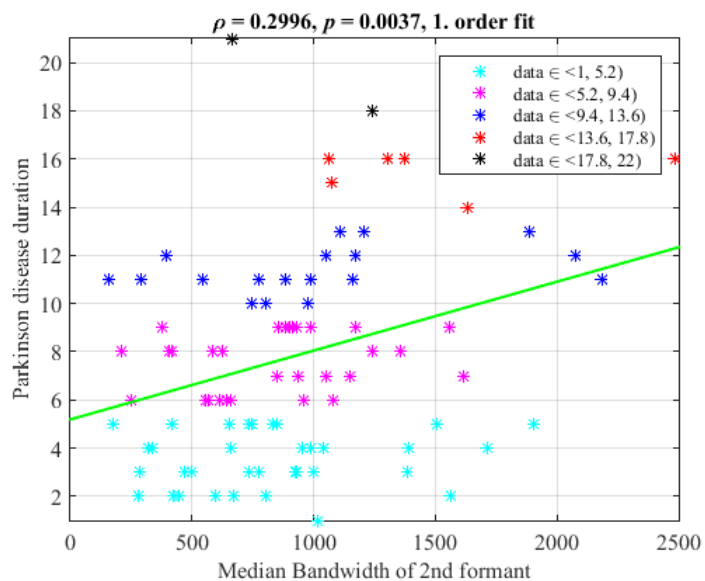
Tab. 7.2: Kor. koeficienty počítané medzi rečovými parametrami a UPDRS III

Z tabuľky je viditeľné, že parametre od `zcr_std` po `BW2_median` (vrátane) majú výraznú koreláciu podľa Pearsonovho koeficientu ($p < 0,05$).

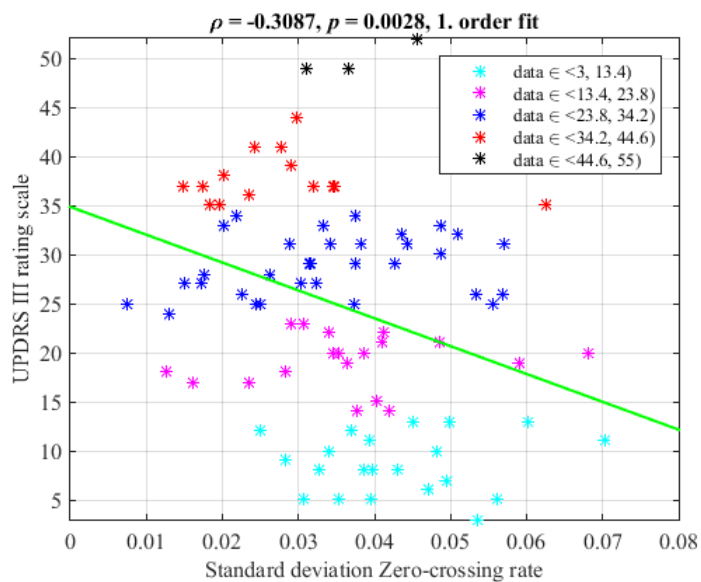
Pomocou softwaru **Dysarthric speech visualization** sú vykreslené grafy najlepšie korelujúcich parametrov (podľa Pearsona) s vekom, dĺžkou trvania PD, UPDRS III. Hodnoty koeficientov sú zaznamenané v tabuľke `corr_analysis.xlsx` na jednotlivých listoch.



Obr. 7.1: Korelácia parametra podľa Pearsona `ste_std` s vekom



Obr. 7.2: Korelácia parametra podľa Pearsona BW2_median s dĺžkou trvania PD



Obr. 7.3: Korelácia parametra podľa Pearsona zcr_std s UPDRS III

8 ZÁVER

Práca sa zaoberá akustickou analýzou PD, ktorá je druhou najbežnejšou neurodegeneratívnou chorobou na svete. V dôsledku rapídneho odumierania buniek produkujúcich dopamín v mozgu, pacienti s PD trpia motorickými problémami medzi ktoré radím aj poškodenie rečovej produkcie nazývanej HD. Analýza reči sa behom posledných desaťročí ukázala ako perspektívna metóda pre neinvazívnu analýzu PD. Preto sa táto práca zaoberá práve spracovaním rečových parametrov a ich následná analýza pomocou pearsonovho a spearmanovho korelačného koeficientu. Táto metóda by mohla pomôcť lekárom vo vizualizácii vzťahu klinickej škály, ktorá je vytvorená pomocou subjektívneho uváženie doktora a objektívneho pohľadu na poškodenie rečovej produkcie kvantifikovaného, pomocou rečového parametra.

V Bakalárskej práci bola popísaná problematika PD, jej vznik, klinické prejavy, liečba. Následne bola analyzovaná HD ako vážna porucha rečovej produkcie, ktorá sa vyskytuje prevažne u pacientov s PD. Popisuje jednotlivé prejavy HD na subdimenziách rečovej produkcie ako sú fonácia, artikulácia, prozódia a plynulosť reči. Vysvetľuje metódy predspracovania rečového signálu, ktoré zabezpečia, že štatistické vlastnosti signálu sú vhodné pre spracovanie metódami číslicového spracovania reči. Boli naštudované parametrizačné metódy, ktoré kvantifikujú poškodenie rečovej produkcie na jednotlivých rečových aparátoch. Bol navrhnutý systém analýzy PD, ktorý pozostáva z viacerých blokov. Tento systém načíta rečové záznamy a postupným volaním funkcií tieto záznamy parametrizuje. Po parametrizácii sú počítané korelačné koeficienty (Pearsonov a Spearmanov koeficient). V tabulke 7.1 sú hodnoty parametrov, ktoré najlepšie korelujú s paraklinickými údajmi pacienta. Korelačné koeficienty sú počítané z rečových parametrov a 3 paraklinických údajov (vek, dĺžka trvania PD a UPDRS III). Najlepšie hodnoty Pearsonovho koeficientu ($p = 0,001858$) sú pri korelácii parametrov s vekom, avšak iba málo parametrov (4) dosiahne takýchto hodnôt a hodnoty Spearmanovho koeficientu ($p = 0,12202$) sú pomerne malé. Najviac výrazných hodnôt Pearsonovho koeficientu je pri korelácii s dĺžkou trvania PD. Až 13 parametrov dosahuje hodnotu $p < 0,05$. Spearmanove koeficient tiež dosahujú dobré hodnoty. Korelácia s UPDRS III má o niečo horšie hodnoty Pearsonovho koeficientu ($p = 0,00372$) ako korelácia s vekom, ale je 9 parametrov u ktorých $p < 0,05$. Podobne ako u korelácie s dĺžkou trvania PD Spearmanove koeficienty dosahujú dobrých hodnôt. V grafoch sú zobrazené parametre, ktoré dosahujú najlepšie hodnoty Pearsonových koeficientov.

LITERATÚRA

- [1] MEKYSKA, J., SMÉKAL, Z., KOŠTÁLOVÁ, M., MRAČKOVÁ, M., SKUTILOVÁ, S., REKTOROVÁ, I. *Motorické aspekty poruch řeči u Parkinsonovy nemoci a jejich hodnocení*. Brno, 2011.
- [2] SMÉKAL, Z.. *Číslíkové spracování řeči (MZPR)*. Elektronická skripta pro magisterská studia, Ústav telekomunikací, FEEC, VUT Brno, 2009.
- [3] MEKYSKA, J. *Analýza řečových promluv pro IT diagnostiku neurologických onemocnění*. Brno, 2014. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně (VUT).
- [4] ZAMIŠKOVÁ, G. Poruchy řeči u Parkinsonovy nemoci. *Neurologie pro praxi*. **2010**, **2010**(11): 112-116.
- [5] TSANAS, Athanasios. Accurate telemonitoring of Parkinson's disease symptom severity using nonlinear speech signal processing and statistical machine learning. University of Oxford, St. Cross College, 2012. University of Oxford, St. Cross College.
- [6] GEMMERT, A., TEULINGGS, H.-L., CONTRERAS-VIDAL, J., STELMACH, G.: Parkinsons Disease and the Control of Size and Speed in Handwriting. *Neuropsychologia*, roč. 37, č. 6, 1999: s. 685–694, ISSN 0028-3932.
- [7] SKODDA, S., VISSER, W., SCHLEGEL, U.. *Short- and long-term dopaminergic effects on dysarthria in early Parkinson's disease*. Department of Neurology, Ruhr-University of Bochum, Germany 2009.
- [8] ČERNOCKÝ, J. *Zpracování řečových signálů*. Ústav počítačové grafiky a multimédií, FIT, VUT Brno, 2006.
- [9] SMÉKAL, Z. *Číslíkové zpracování signálů (MCSI)*. Elektronická skripta pro magisterská studia, Ústav telekomunikací, FEEC, VUT Brno, 2009.
- [10] JUHÁR, J. *Spracovanie signálov v systémoch automatického rozpoznávania reči*. Habilitačná práca, Katedra elektrotechniky a multimediálnych telekomunikácií, FEI, Technická univerzita v Košiciach, 1999.
- [11] PSUTKA, J. *Komunikace s počítačem mluvenou řečí*. 1. vydání. Praha: Academia, 1995. 287 s. ISBN 80-200-0203-0

- [12] Hartelius, L.; Svensson, P.: Speech and Swallowing Symptoms Associated with Parkinson's Disease and Multiple Sclerosis: a Survey. *Folia Phoniatr Logop*, ročník 46, č. 1, 1994: s. 9–17.
- [13] Jankovic, J.: Parkinson's disease: clinical features and diagnosis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, ročník 79, č. 4, 2008: s. 368–376.
- [14] *Korelácie* [online]. [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://www.fhvp.unipo.sk/cvt/statistika/stbasic2.htm>

ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

DCT	Diskrétna kosínusova transformácia
DFT	Diskrétna Fourierova transformácia
F0	Frekvencia základného tónu
FFT	Fast Fourier transformation
FIR	Finite impulse response
f_{vz}	Vzorkovacia frekvencia
HD	Hypokinetic dysarthria - Hypokinetická dyzartria
HNR	Harmonic-to-nois ratio
Hz	Hertz
J_g	Jitter
L-DOPA	Dopaminergická liečba
LPC	Lineárna predikčná analýza
MFCC	Melovské kepstrálne koeficienty
ms	Milisekunda
PD	Parkinson's disease - Parkinsonova choroba
PLP	Percepčné lineárne predikčné koeficienty
s	Second
S_g	Shimmer
std	Smerodajná odchýlka
STE	Krátkodobá energia
STN-DBS	Hlboká mozgová stimulácia subthalamických jadier
UPDRS	Unified Parkinson's disease rating scale
ZCR	Zero-crossing rate

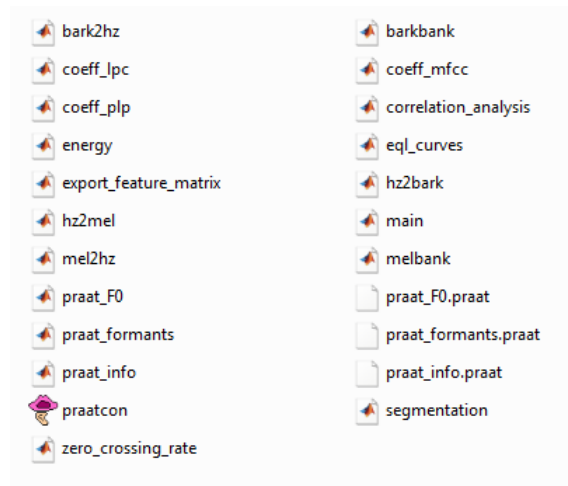
ZOZNAM PRÍLOH

A Obsah príloženého CD

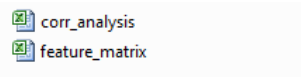
39

A OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

Obsahom priloženého CD sú vytvorené súbory, ktoré boli použité pri riešení bakalárskej práce. Ide o zdrojové súbory *.m, ktoré obsahujú skripty a funkcie pre riešenie navrhnutého systému korelačnej analýzy PD. Nachádzajú sa v priečinku *Zdrojové kódy*, boli vytvorené v MATLABE (R2015a). Priečink *Zdrojové kódy* obsahuje súbory:



V priečinku *Výstupné súbory* sa nachádzajú výstupné tabuľky *.xlsx. Konkrétne ide o tieto súbory:



Na CD sa nachádza bakalárska práca v elektronickej verzii s názvom *Korelačná analýza PD*.