

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2017

Bc. Michal Markovič



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

**METODY ANALÝZY DYSGRAFIE U PACIENTŮ S
PARKINSONOVOU NEMOCÍ PRO ÚČELY DIAGNÓZY A
SLEDOVÁNÍ PROGRESE ONEMOCNĚNÍ**

DIAGNOSIS AND PROGRESS MONITORING OF PARKINSON'S DISEASE USING DYSGRAPHIA ANALYSIS
METHODS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Markovič

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Mekyska, Ph.D.

BRNO 2017

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Telekomunikační a informační technika**

Ústav telekomunikací

Student: Bc. Michal Markovič

ID: 159149

Ročník: 2

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Metody analýzy dysgrafie u pacientů s Parkinsonovou nemocí pro účely diagnózy a sledování progresu onemocnění

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V rámci diplomové práce bude navržen a implementován systém objektivního popisu parkinsonické dysgrafie, který bude sloužit jak k automatizované diagnóze, tak ke sledování progresu onemocnění. Systém bude otestován na PaHaW databázi.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] DROTÁR, P.; MEKYSKA, J.; REKTOROVÁ, I.; MASAROVÁ, L.; SMÉKAL, Z.; FAÚNDEZ ZANUY, M. Decision support framework for Parkinsons disease based on novel handwriting markers. IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENGINEERING, 2015, roč. 23, č. 3, s. 508-516. ISSN: 1534-4320.

[2] LETANNEUX A.; DANNA J.; VELAY JL.; VIALLET F.; PINTO S. From micrographia to Parkinson's disease dysgraphia. Mov Disord, 2014, roč. 29, č. 12, s. 1467-1475.

Termín zadání: 1.2.2017

Termín odevzdání: 24.5.2017

Vedoucí práce: Ing. Jiří Mekyska, Ph.D.

Konzultant:

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

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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

Parkinsonova nemoc spôsobuje okrem iného aj poruchu písania. Parkinsonova dysgrafia je nemoc zaoberajúca sa písmom parkinsonikov. Cieľom práce je poukázať na dôležitosť skúmania parametrov parkinsonickej dysgrafie a pomocou parametrov písma odlíšiť zdravých jedincov od parkinsonikov, ako aj skúmať progresiu onemocnenia. U určitých parametrov boli dosiahnuté kvalitné výsledky a bolo teda dokázané, že skúmaním písma je možné odlíšiť zdravého jedinca od parkinsonika.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

Parkinsonova nemoc, mikrografia, parkinsonická dysgrafia, tremor, svalová rigidita, bradykineza, rukopis, parametre písma, Matthew korelačný koeficient

ABSTRACT

Parkinson's disease causes among other symptoms also writing disorder. Parkinson's dysgrafia is disease the writing of parkinsonics. The aim of the work is to show the importance of examinig the parametres of Parkinson's dysgrafia and to find writing parametres, which could distinguish healthy subjects from the pacient and also it could monitoring progress of pakinson's disease. Some of the parametrs showed marked differences and therefore could distinguish healthy people from those with Parkinson's disease.

KEYWORDS

Parkinson's disease, micrographia, Parkinson's disease dysgraphia, tremor, rigidity, bradykinesia, handwriting, parameters of handwriting, Matthew correlation coeficient

MARKOVIČ, Michal *Metody analýzy dysgrafie u pacientů s Parkinsonovou nemocí pro účely diagnózy a sledování progresu onemocnění*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2017. 69 s. Vedúci práce bol Ing. Jiří Mekyska, Ph.D.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som svoju diplomovú prácu na tému „Metody analýzy dysgrafie u pacientů s Parkinsonovou nemocí pro účely diagnózy a sledování progresu onemocnění“ vypracoval(a) samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce, využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor(ka) uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušil(a) autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol(-la) nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/nebo majetkových a som si plne vedomý(-á) následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právoch súvisejúcich s právom autorským a o zmeně 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 by som poďakoval vedúcemu semestrálnej práce pánovi Ing. Jiřímu Mekyskovi, Ph.D. za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a podnetné 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 diplomovej 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)



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



OBSAH

Úvod	12
1 Parkinsonova nemoc	13
1.1 Motorické a nemotorické príznaky	13
1.1.1 Mikrografia	14
1.1.2 Parkinsonická dysgrafia	15
2 Objektívna analýza parkinsonickej dysgrafie	16
3 Metody parametrizácie digitalizovaného písma	25
3.1 Rýchlosť písma	26
3.2 Zrýchlenie a švih	28
3.3 Výška, dĺžka, čas, in-air pohyb	29
4 Systém parametrizácie parkinsonickej dysgrafie	32
5 PaHaW databáza	34
6 Parametrizácia parkinsonickej disgrafie	35
6.1 Evaulačné metriky binárnej klasifikácie	36
6.2 Metriky odhadu progresie nemoci	37
6.3 Parametre písma	38
6.3.1 Priestorové parametre	38
6.3.2 Časové parametre	39
6.3.3 Kinematické parametre	39
6.3.4 Dynamické parametre	39
7 Binárna klasifikácia parkinsonickej disgrafie	40
7.1 Výsledky tréovania a testovania	42
7.1.1 Pohyb pera na papieri	42
7.1.2 Pohyb pera vo vzduchu	44
7.1.3 Celkový pohyb pera	45
8 Odhad progresie onemocnenia	47
8.1 Výsledky tréovania a testovania	47
8.1.1 Pohyb pera na papieri	48
8.1.2 Pohyb pera vo vzduchu	48
8.1.3 Celkový pohyb pera	49

9 Záver	51
Literatúra	52
Zoznam symbolov, veličín a skratiek	55
Zoznam príloh	56
A Tabuľky výsledkov binárnej klasifikácie	57
B Tabuľky výsledkov odhadov progresie onemocnenia	63
C Obsah priloženého CD	69

ZOZNAM OBRÁZKOV

2.1	Protokol používaný v štúdií Drotár et al. [12]	17
2.2	Modrý text je príklad písania textu na povrchu papiera, červené čiary znázorňujú pohyb in-air. V ľavo je pohyb pera detekovaný u zdravého jedinca, v pravo sa jedná o pacienta s Parkinsonovou nemocou. Výsledky štúdie Drotár et al. [4]	20
2.3	Text v poli A napísal pacient pred rehabilitáciou rukopisu. Text v poli B je napísaný tým istým pacientom po rehabilitácii rukopisu. Výsledky štúdie Ziliotto et al. [30]	23
2.4	Prvé 3 úlohy zo štúdie [20]. 1. obkresľovanie kruhu, 2. obkresľovanie hviezdice, 3. obkresľovanie špirály	24
3.1	Zaznamenanie písma „l“ u zdravého jedinca a u parkinsonika. Dáta použité z databázy PaHaW 5	26
3.2	Okamžitá rýchlosť pri písaní „l“ u zdravého jedinca a u parkinsonika. Dáta použité z databázy PaHaW 5	27
3.3	Okamžité zrýchlenie a švih pri písaní „l“ u zdravého jedinca a u parkinsonika. Dáta použité z databázy PaHaW 5	28
3.4	Písmo zdravého jedinca a parkinsonika. Modrá farba znázorňuje písmo subjektov, červená farba znázorňuje pohyb pera nad papierom. Dáta použité z databázy PaHaW 5	30
4.1	Blokové schéma znázorňujúce automatizovaný systém parametrizácie parkinsonickej dysgrafie	32
7.1	Ukážka matice parametrov a labelu naplneného binárnymi hodnotami zdravý jedinec(0), parkinsonik(1)	40

ZOZNAM TABULIEK

2.1	Kinematické merania písacích úloh. Výsledky štúdie Rosenblum et al. [17]	18
2.2	Opis funkcií analyzovaných pri rukopise. Výsledky štúdie Drotár et al. [4]	21
2.3	Vlastnosti rukopisu pacienta. Výsledky štúdie Ziliotto et al. [30] . . .	22
3.1	Tabuľka základných parametrov písma	25
3.2	Parametre písma z obrázku 3.4	30
3.3	Porovnanie pohybu pera nad papierom	31
6.1	Škála UPDRS V	38
A.1	Pero na papieri, priestorové parametre: výška, šírka, dĺžka	57
A.2	Pero na papieri, časové parametre: celkový čas pohybu	57
A.3	Pero na papieri, kinematické parametre: rýchlosť, zrýchlenie, švih . .	58
A.4	Pero na papieri, dynamické parametre: tlak, sklon, azimut	58
A.5	Pero na papieri, všetky parametre: priestorové, časové, kinematické, dynamické	59
A.6	Pero nad papierom, priestorové parametre: výška, šírka, dĺžka	59
A.7	Pero nad papierom, časové parametre: celkový čas pohybu	59
A.8	Pero nad papierom, kinematické parametre: rýchlosť, zrýchlenie, švih	60
A.9	Pero nad papierom, dynamické parametre: tlak, sklon, azimut	60
A.10	Pero nad papierom, všetky parametre: priestorové, časové, kinematické, dynamické	60
A.11	Celkový pohyb pera, priestorové parametre: výška, šírka, dĺžka	61
A.12	Celkový pohyb pera, časové parametre: celkový čas pohybu	61
A.13	Celkový pohyb pera, kinematické parametre: rýchlosť, zrýchlenie, švih	61
A.14	Celkový pohyb pera, dynamické parametre: tlak, sklon, azimut	62
A.15	Celkový pohyb pera, všetky parametre: priestorové, časové, kinematické, dynamické	62
B.1	Pero na papieri, priestorové parametre: výška, šírka, dĺžka	63
B.2	Pero na papieri, časové parametre: celkový čas pohybu	63
B.3	Pero na papieri, kinematické parametre: rýchlosť, zrýchlenie, švih . .	64
B.4	Pero na papieri, dynamické parametre: tlak, sklon, azimut	64
B.5	Pero na papieri, všetky parametre: priestorové, časové, kinematické, dynamické	65
B.6	Pero nad papierom, priestorové parametre: výška, šírka, dĺžka	65
B.7	Pero nad papierom, časové parametre: celkový čas pohybu	65
B.8	Pero nad papierom, kinematické parametre: rýchlosť, zrýchlenie, švih	66
B.9	Pero nad papierom, dynamické parametre: tlak, sklon, azimut	66

B.10 Pero nad papierom, všetky parametre: priestorové, časové, kinematické, dynamické	66
B.11 Celkový pohyb pera, priestorové parametre: výška, šírka, dĺžka	67
B.12 Celkový pohyb pera, časové parametre: celkový čas pohybu	67
B.13 Celkový pohyb pera, kinematické parametre: rýchlosť, zrýchlenie, švih	67
B.14 Celkový pohyb pera, dynamické parametre: tlak, sklon, azimut	68
B.15 Celkový pohyb pera, všetky parametre: priestorové, časové, kinematické, dynamické	68

ÚVOD

Parkinsonova nemoc trápí v dnešnej dobe čoraz väčšie množstvo ľudí. Je pomenovaná po lekárovi Jamesovi Parkinsonovi. Jedná sa o progresívne neurodegeneratívne ochorenie centrálného nervového systému. To znamená, že táto chronická nemoc sa zhoršuje v čase. Najviac postihnutá je časť, ktorá sa stará o motoriku. Príznaky nie sú u všetkých pacientov rovnaké ale takými základnými sú kľudový tras, svalová rigidita, čo je niečo ako odpor svalov voči pohybu a bradykineze, teda spomalenosť.

U pacientov s parkinsonovou nemocou boli zaznamenané zmeny v ich písomnom prejave. Napríklad pacienti znižujú amplitúdu písma v čase, znižujú tempo písania, majú zníženú schopnosť sa učiť automatické pohyby. Pre všetky tieto symptómy a mnoho ďalších bol navrhnutý pojem **parkinsonická dysgrafia**. Slovo dysgrafia sa skladá z dvoch častí. „Dys“, čo znamená porucha a „grafia“ znamená písmo. Ide teda o poruchu písma u parkinsonikov.

Pomocou symptómov parkinsonickej dysgrafie je možné odhaliť začínajúcu parkinsonovu nemoc, alebo sledovať jej progres.

Cieľom práce je poukázať na dôležitosť skúmania parametrov parkinsonickej dysgrafie a nájsť parametre písma, ktoré odlišia zdravého jedinca od pacienta. Ďalej je potrebné navrhnúť systém, ktorý by parkinsonickú dysgrafiou automaticky parametrizoval, ako aj dokázal odhadnúť progres onemocnenia.

Práca je delená do ôsmych častí. V prvej je rozobratá Parkinsonova nemoc a jej príznaky, ďalej sa v nej pojednáva o symptómoch mikrografie a parkinsonickej dysgrafie. V druhej časti sú spomenuté štúdie, ktoré sa v poslednej dobe venovali práve mikrografii a parkinsonickej dysgrafii u pacientov s Parkinsonovou nemocou. V tejto časti je poukázané na to aké dôležité je skúmanie písma parkinsonikov, jeho statických tak aj dynamických parametrov. V ďalšej časti sú priamo vybrané konkrétne parametre, ako rýchlosť, zrýchlenie a švih, na ktorých je ukázaná možnosť oddelenia parkinsonikov od zdravých jedincov. V tejto časti je spomenutý in-air pohyb (pohyb nad tabletom), ktorý je taktiež dôležitý parameter pri analýze písma parkinsonikov. Štvrtá časť rieši návrh systému parametrizácie parkinsonickej dysgrafie. V piatej časti je spomenutá databáza písom PaHaW, z ktorej sú čerpané písma na testovanie a tréning parametrov systému. V ďalšej časti je znázornený postup parametrizácie parkinsonickej dysgrafie. V tejto časti sú vysvetlené evaluačné metriky ako pre binárnu klasifikáciu tak aj metriky určené pre sledovanie progresie onemocnenia. V predposlednej časti sú konzultované výsledky testovania systému pre binárnu klasifikáciu, teda rozoznanie či sa jedná o parkinsonika alebo zdravého jedinca. V poslednej časti sú analyzované výsledky merania pre určovanie progresie onemocnenia.

1 PARKINSONOVA NEMOC

Parkinsonova nemoc je progresívne neurodegeneratívne ochorenie centrálného nervového systému. To znamená že táto chronická nemoc sa zhoršuje v čase. Najviac postihnutá je časť, ktorá ma na starosti pohybové schopnosti. Prvý krát bola popísaná a presnejšie špecifikovaná v roku 1817 lekárom Jamesom Parkinsonom. Vzniká v dôsledku strát nervových buniek, ktoré sú zodpovedné za prenos signálov v mozgu.

Zo začiatku je nemoc veľmi ťažko pozorovateľná, až pri vyššom počte stratečných buniek začínajú byť viditeľné prvé príznaky ako drobný tras predovšetkým na rukách, zriedkavejšie na nohách a na tvári, svalová stuhnutosť. Príznaky nie sú u všetkých pacientov rovnaké, môžu byť veľmi individuálne. Parkinsonova nemoc má asymetrickú distribúciu, teda sú vyjadrené viacej na pravostranných alebo ľavostranných končatinách a táto asymetria zostáva v určitej forme aj behom progresie onemocnenia. V neskoršom štádiu sú veľmi časté príznaky spomalenie pohybu, zhoršené rozprávanie a v neposlednom rade aj poruchy písanie. Všetky tieto príznaky dokážu veľmi skomplikovať pacientovi život až to môže vyústiť do problémov s rovnováhou a koordináciou.

Parkinsonova nemoc sa vyskytuje veľmi často u pacientov hlavne z vyšším vekom, väčšinou sa príznaky začnú objavovať vo veku 50 – 65 rokov. V tejto vekovej kategórii postihuje približne 1% pacientov. Len u veľmi málo prípadoch bola nemoc pozorovaná u pacientov mladších ako 40 rokov.

1.1 Motorické a nemotorické príznaky

U Parkinsonovej nemoci sú častejšie príznaky motorické. Jedná sa hlavne o symptómy, ktoré boli popísané vyššie, ako je kludový tremor hlavne akrálnych častí horných a dolných končatín, svalová rigidita (stuhlosť), bradykineze (spomalenosť a zníženie amplitúdy pohybu) a posturálna instabilita s poruchou státia a chôdze [12].

Tremor je najznámejším symptómom u pacientov, aj napriek tomu nemusí byť zaznamenaný u všetkých pacientov. Jedná sa o kludový tras, čo znamená že sa prejavuje, keď je končatina v klude. Je pravidelný rytmický a pomalý [14].

Svalová rigidita je niečo ako odpor svalov voči pohybu. Svaly stuhnú a pacientom sa potom ťažšie pohybuje. Veľmi časté, už dokonca v ranných štádiách nemoci, sú stuhnutosť ramien a krku [14].

Bradykineze alebo spomalenosť je symptóm, ktorý pacienta veľmi obmedzuje a je jeden z najvýraznejších príznakov. Dochádza ku zmenšeniu rozsahu a amplitúdy pohybu, spomaleniu a obtiažnosti zahájenia a pokračovania v bežných činnostiach, ako je písanie, chôdza. Pacienti majú problém vykonávať dve činnosti naraz. Schopnosť pohybovania sa rýchlo mení. Často sa stáva, že pacienti sa môžu pohybovať

dobre, ale za niekoľko minút sa spomalia a dokonca až zastavia. Bradykineze niekedy môže viesť ku zmenám reči, problémom s prehĺtaním alebo znížením frekvencie žmurknutia [14].

Ďalšími a hlavne v poslednej dobe veľmi dôležitými symptómami sú **nemotorické príznaky**. Hlavne preto, že korelujú s pribúdajúcim vekom a závažnosťou ochorenia. Aj keď ku niektorým príznakom ako sú čuchové problémy, depresia, rýchle kmitanie očí môže dôjsť už na začiatku ochorenia. A nakoľko priemerný vek a dĺžka života populácie sa zvyšuje, sú nemotorické príznaky Parkinsonovej nemoci stále dôležitejšie. Tieto symptómy sú však celkovo menej známe a mnoho ľudí si ich ani nespája z Parkinsonovou nemocou, častokrát sa stáva že nemotorické príznaky sa objavia ešte ďaleko skôr ako pacient vôbec tuší o chorobe. Celkovo sa jedná hlavne o problémy s bolesťou, ktorá sa môže prejaviť hlavne na končatinách vo forme trpnutia. Svalové kŕče bývajú časté hlavne u dolných končatín a často sú sprevádzané bolesťou. Ďalej napríklad únava, zápcha, depresie, ktoré majú iný profil príznakov ako depresie nespôsobené Parkinsonovou nemocou, potenie, zhoršenie čuchu, čo spôsobuje poškodenie nervových buniek, ktoré kontrolujú čuch. Môže dôjsť ku problému so zrakom spôsobeným zníženým počtom žmurkania, dôsledkom čoho sú oči suché a podráždené [3].

1.1.1 Mikrografia

U nezanedbateľného množstva pacientov Parkinsonovej nemoci bola pozorovaná porucha písania, mikrografia. Jedná sa o abnormálne zmenšenie veľkosti písma spisovateľa v porovnaní s jeho kaligrafiou pred rozvojom nemoci.[29] Je ju možné rozdeliť do dvoch kategórii, konzistentná mikrografia a progresívna mikrografia. Pri prvej kategórii sa jedná o to, že je pozorovaná zmena veľkosti písma z doby pred ochorením. Progresívna mikrografia sa zas zaoberá zmenou veľkosti písma počas písania. Pacient nie je schopný udržať normálnu veľkosť písma po dobu dlhšiu ako niekoľko znakov. Veľmi dôležitá štúdia, ktorá bola zameraná na dôsledky mikrografie pri postupovaní nemoci, bola vykonaná na 800 pacientoch s Parkinsonovou nemocou [13]. Autor odhadol, že subjektívnou vizuálnou kontrolou bola odhalená mikrografia u 10 % až 15 % pacientov, ktorá bola pozorovaná v niektorých prípadoch už 4 roky predtým, než bolo možné pozorovať akýkoľvek tras alebo tuhosť svalov. Celkovo je možné povedať, že menej ako polovica pacientov trpiacich Parkinsonovou nemocou v skutočnosti vykazuje známky mikrografie.

Zníženie veľkosti rukopisu je neúmyselné a zhoršuje sa u pacientov ktorí sú v strese. Ďalej môže byť pacient ovplyvnený trasením a tuhosťou ramena, problémom riadiť zápästie a prsty pri pohybe a môže mať ťažkosti pri udržaní konštantnej sily. Tieto príznaky majú pravdepodobné za následok zmenšenie rukopisu [23, 26, 27, 2].

Velké množství štúdií, ktoré sa venovali mikrografii u Parkinsonikov boli vykonané ešte pred rokom 1980. Pacienti písali perom na papier a tieto štúdie skúmali rukopis pacientov pri písaní slov, viet, podpisov alebo pri kreslení abstraktných tvarov. Zameranie bolo možné len na viditeľné črty rukopisu, teda statické písmo a skúmala sa veľkosť, tvaru, roztrasenosť písma [13, 9]. V niektorých ďalších prípadoch sa zaznamenával aj údaj o dobe trvania písania tejto úlohy [24].

1.1.2 Parkinsonická dysgrafia

K zmenám rukopisu môže dôjsť už na počiatku ochorenia, preto je veľmi vhodné sledovať tento faktor, nakoľko sa dá využiť pre väčšiu a presnejšiu detekciu Parkinsonovej nemoci. Ako už bolo spomenuté, u pacientov je možné pozorovať progresívnu redukciiu amplitúdy písma a zníženie tempa písania. Ďalej sa často objavia zubaté kontury, písmo môže byť u časti pacientov rušené trasom. Znižuje sa schopnosť naučiť sa nové automatické pohyby, čo sa môže prejaviť napríklad pri kreslení elipsy niekoľkokrát za sebou. Pacient nie je schopný sa tento pohyb naučiť a zautomatizovať ho. Často dochádza k neplynulému písaniu v čase, pacient potrebuje robiť prestávky, aby ukludnil tras a pripravil sa na pokračovanie v písaní. Všetky tieto symptomy sú spojené s motorickými poruchami Parkinsonovej nemoci (tras, rigidita, bradykinéza, akinézu, zmrazenie hornej končatiny).

Z predošlých výskumov, ktoré boli spomínané, bolo možné zistiť údaje len pomocou odčítania hodnôt z papiera, ako sú veľkosť písma a tvar. V dnešnej dobe digitalizačných tabletov je možné využiť túto technológiu ku presnejšiemu skúmaniu Parkinsonovej nemoci. Pri písaní pacientov na tablet sme schopní detekovať omnoho viac údajov ako je presná poloha pera na tablete, rýchlosť písania, a mnoho ďalších. U tabletou je možné skúmať aj jeden dôležitý údaj, in-air movement, čo je pohyb pera v momente, keď sa nedotýka plochy tabletu, teda pacient nepíše ale pripravuje sa na ďalší pohyb. V najnovších článkoch teda boli skúmané údaje ako priemerná hodnota okamžitej rýchlosti písania, priemerne zrýchlenie, priemerná rýchlosť v horizontálnom a vertikálnom smere. Všetky tieto údaje sú pomocou chytrých tabletov možné rozdeliť na pohyby pri písaní a pohyby pri momente keď sa pero nedotýka tabletu a teda v momente prípravy na písanie. Pri týchto sympómoch bol navrhnutý pojem **Parkinsonická dysgrafia**, ktorý dostatočne presne vystihuje tieto symptómy. Názov dysgrafia sám o sebe sa skladá z dvoch častí. „Dys“, čo znamená porucha a „grafia“ znamená písmo. Takže sa jedná vlastne o poruchu písma. [10]

V najnovších štúdiách boli využité tablety, kde pacient nepísal priamo na tablet, ale používal klasické guľčkové pero a písal na testovací papier, ktorý bol položený na tablete. Bolo to z dôvodu aby pacient mal čo najväčší pocit, že píše obyčajný text, a aby jeho písmo zanechávalo vizuálnu stopu.[12, 10]

2 OBJEKTÍVNA ANALÝZA PARKINSONICKEJ DYSGRAFIE

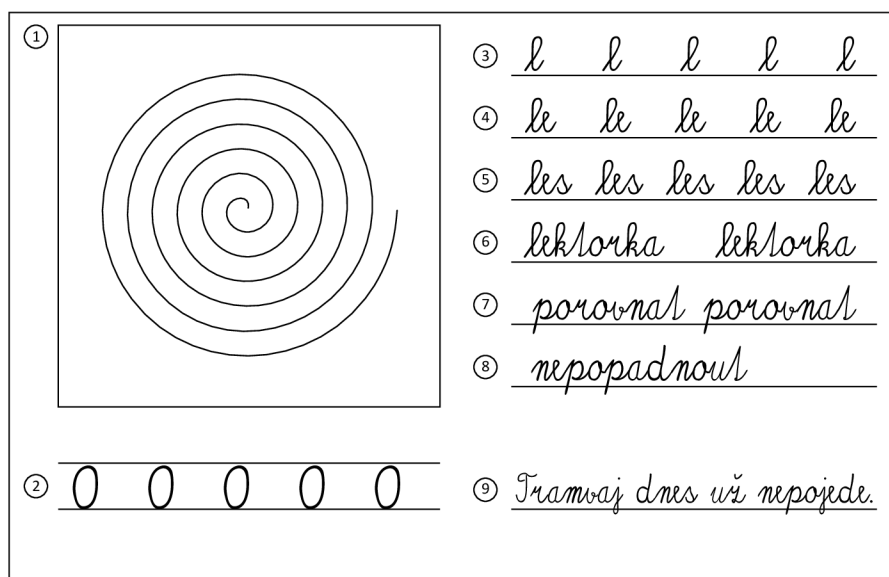
Mnoho štúdií sa snaží zistiť biomarkery, pomocou ktorých by oddelila zdravých jedincov od pacientov s Parkinsonovou nemocou. V dnešnej dobe je analýza parkinsonickej dysgrafie jedna z možností, ako v budúcnosti s dostatočnou presnosťou rozdeliť ľudí do týchto skupín. Preto sa tejto analýze venuje dostatočné množstvo štúdií.

Cielom jednej štúdie [12], ktorá bola vyhodnocovaná na pracovisku Ústavu telekomunikácií FEKT, Vysokého učení technického v Brne, bolo zistiť určité parametre písma, ktoré by odlíšili zdravý subjekt od pacienta. Štúdia bola vykonaná na 80 subjektoch, z toho 40 s diagnózou Parkinsonovej nemoci (20 mužov a 20 žien, s priemerným vekom 68,6 a dĺžkou trvania nemoci 8,02 roku) a 40 vekom a pohlavím viazaných zdravých jedincov. Pacienti boli sledovaní v I. neurologickej klinike LF MU v FN u sv Anny v Brne. Pacienti mali za úlohu vyplniť protokol, viz obr. 2.1. Vyšetrenie prebiehalo bez predošlého nácviku. Protokol obsahoval 9 cvičení:

- Prvou úlohou bolo nakresliť Archimedovu špirálu, kde sa sledoval temo a dynamika pohybu v horizontálnom a vertikálnom smere.
- Cvičenie číslo dva spočívalo v kreslení elipsy. Opäť bola sledovaná dynamika pohybu a schopnosť udržať pohyb dlhšiu dobu (viacnásobné opakovanie kreslenia elipsy)
- Úlohy 3–5, kde bolo zaznamenávané písanie písmen, slabík, boli zamerané na meranie rýchlosti a akcelerácie písania
- Úlohy 5–8: jedná sa o prechod od jednoduchého až po zložité slová. Sledoval sa počet prerušení pri písaní jedného slova
- Úloha 9 sledovala hlavne pohyb ruky nad tabletom, akceleráciu, počet prerušení a dobu behom písania vety

Záznam písma prebiehal pomocou tebletu Wacom, Intuos 4M – medium, sériové číslo: 2DBH016667. Veľkou výhodou bola možnosť písania atramentovým perom na papier, ktorý bol položený na tablete, čo umožňovalo subjektom pri písaní vidieť odozvu ich písma.

Všetci respondenti boli praváci. 20 pacientov malo počiatok onemocnenia v pravo, 17 v lavo a traja pacienti referovali obojstranný počiatok nemoci. Pacienti s počiatkom Parkinsonovej nemoci v pravo sa signifikatne nelíšili od pacientov, ktorí mali začiatok onemocnenia lavostranný. Pri kresbe Archimedovej špirály neboli zistené zásadne rozdiely medzi zdravými subjektami a pacientmi. Okrem Archimedovej špirály sa však pacienti odlišovali dosť výrazne od zdravých subjektov vo všetkých ďalších meraniach.



Obr. 2.1: Protokol používaný v štúdií Drotár et al. [12]

- Pri mnohonásobnom obtahovaní elipsy boli zistené najvýznamnejšie zmeny v priemernom počte zmien v rýchlosti a v priemernom počte zmien v zrýchlení.
- V cvičení 9, kde bol vyhodnocovaný pohyb pera nad tabletom bol veľmi dobre pozorovateľný tras.
- Pacienti s Parkinsonovou nemocou v porovnaní so zdravými jedincami mali signifikantné nižšie všetky hodnoty vzťahujúce sa ku okamžitej rýchlosti a ku jej deriváciám.
- Ďalej bol pozorovaný súvis s dĺžkou textu, teda čím dlhší bol písaný text, tým výraznejšie sa prejavila bradykinéza

Záverom štúdie bolo zistenie, že in-air pohyb, teda príprava pacienta na písanie, by mohol byť veľmi dôležitým údajom pri včasnom odhalovaní Parkinsonovej nemoci u pacientov. Ďalej sa nepodarilo nájsť súvislosť medzi dĺžkou onemocnenia a kvalitou písma. Preto tieto merania sú skôr dôležité pri včasnom diagnostikovaní Parkinsonovej nemoci ako pri hodnotení progresie onemocnenia. [12]

Ďalšou štúdiou, ktorá bola vykonaná na nájdenie súvislosti medzi písmom pacientov s Parkinsonou nemocou a medzi zdravými ľuďmi bola štúdia **Handwriting as an objective tool for Parkinson's disease diagnosis** [17]

V tejto pilotnej štúdií bolo cieľom nájsť jednoduché charakteristiky rukopisu,

ktoré by mohli presne rozlíšiť pacientov s Parkinsonovou nemocou od zdravých jedincov, a aby mohli byť potenciálne použité ako diagnostický nástroj pre identifikáciu vznikajúceho ochorenia.

Táto štúdia bola testovaná na 40 subjektoch (20 pacientov a 20 zdravých jedincov) vo veku 38–81 rokov. Pacienti boli vybraní v Movement Disorder Clinic at Rambam Health Care Campus in Haifa v Izraeli. Zdraví jedinci boli priradení tak, aby zodpovedalo pohlavie, vek, počet rokov školskej dochádzky jednotlivým pacientom.

Subjekty písali úlohy na linajkovaný papier veľkosti A4, ktorý bol umiestnený na elektronickom tablete Intuos II WACOM (404 X 306 X 10 mm).

Účastníci boli požiadaní, aby napísali svoje meno a adresu, ktorá bola rovnaká pre všetkých respondentov. Nakoľko každý účastník mal inú dĺžku mena, nevyhodnocovala sa celá úloha ale vyhodnocovali sa jednotlivé ťahy. Tie boli rozdelené do dvoch skupín, ťahy písane na papier a ťahy, ktoré boli urobené nad tabletom tzv. in-air strokes, teda ťahy vytvorené medzi jednotlivými ťahmi písania na papier. Primárny výstup zahŕňal časové, priestorové a tlakové meranie rukopisu. Ďalšie merané hodnoty boli priemerný čas potrebný na napísanie každého ťahu, priemerný čas ťahu na papieri, priemerný čas ťahu vo vzduchu a priemerná rýchlosť celej úlohy. Nakoniec bol ešte sledovaný tlak pera na papier pri písaní počas celej úlohy. Výsledné hodnoty merania sú zaznamenané v tabuľke 2.1.

Pre obe úlohy je z tabuľky zreteľné, že pacienti písali podstatne menším písmom, používali signifikantné menší tlak a potrebovali podstatne viac času na napísanie úlohy. Rozdiel v čase trvania ťahu vo vzduchu bol markantnejší než medzera medzi ťahmi na papieri.

Pre obidve úlohy, v porovnaní so zdravými jedincami, pacienti písali podstatne menším písmom, používali podstatne menší tlak na písanie a potrebovali podstatne viac času na napísanie správy. Rozdiel v dĺžke trvania ťahu „vo vzduchu“ bol drama-

Tab. 2.1: Kinematické merania písacích úloh. Výsledky štúdie Rosenblum et al. [17]

Merania	Písanie mena a priezviska		Opisovanie adresy	
	Zdravý subjekt	Pacient	Zdravý subjekt	Pacient
Dĺžka ťahu (cm)	0,96	0,60	0,75	0,53
Šírka ťahu (cm)	0,32	0,18	0,23	0,17
Výška ťahu (cm)	0,47	0,36	0,35	0,27
Čas ťahu (sek)	0,16	0,21	0,20	0,32
Rýchlosť (cm/s)	5,18	3,10	4,86	2,67
tlak pera (0–1024)	783,55	591,77	788,61	603,29

tickejší než medzera v ťahu „na papier“. V oboch úlohách klesá dĺžka ťahu s väčšími požiadavkami na splnenie úlohy. Subjekt musel výrazne viac premýšľať pri písaní adresy. Naopak pri písaní vlastného mena, či už zdravý subjekt alebo pacient mal dlhšie ťahy ako je uvedené v tabuľke 2.1

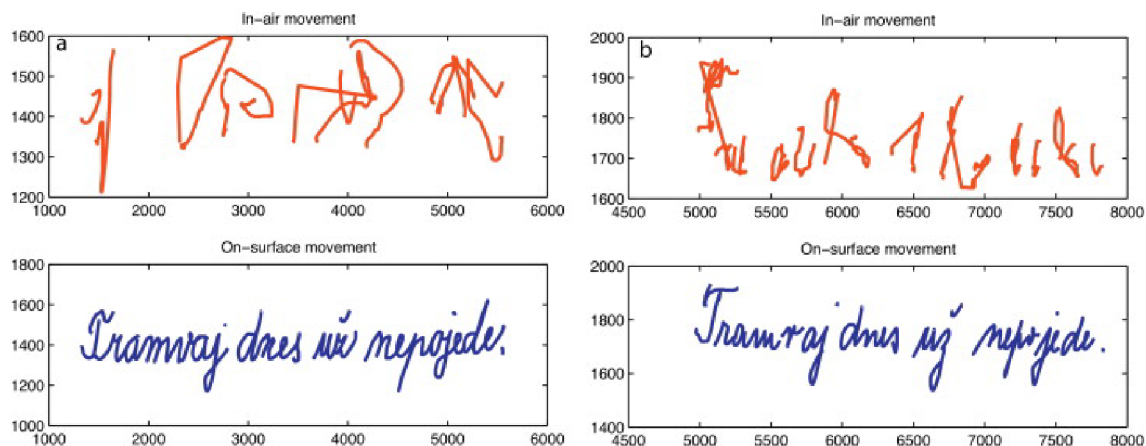
V štúdiu bola vykonaná analýza podľa ktorej bolo 97,5 % účastníkov správne klasifikovaných (100 % zdravých subjektov a 95 % pacientov s Parkinsonovou nemocou). Pre klasifikovanie jednotlivých subjektov boli použité parametre, ktoré najlepšie rozlišujú zdravé osoby od pacientov a to sú dĺžka, šírka a výška ťahu.

V tejto štúdiu bolo teda zistené že je veľmi dôležité sledovať rukopis nie len pri písaní na papier ale aj vo vzduchu. Z výsledkov je jasné, že aj napriek nie úplne veľkej testovacej množine subjektov sa nedajú tieto výsledky zanedbať a je potrebné v budúcnosti počítať s parkinsonickou dysgrafiou pri včasnom odhalení Parkinsonovej nemoci. [17]

Ako už bolo v predošlých štúdiách dokázané dôležitým parametrom pri vyhodnocovaní písma u pacientov s Parkinsonovou nemocou je in-air pohyb, ktorý spočíva v držaní pera nad papierom a teda z fázy od dopísania jedného ťahu, ku začatiu písania ďalšieho. Veľmi málo štúdií sa zaoberalo v minulosti štúdiou písma ako takého u parkinsonikov, no ešte menej štúdií sa zaoberalo in-air pohybom u týchto pacientov. Zvyčajne sa posudzovala reč pacientov [25], [6] a [18], sledovanie chôdze [1], [16] a [8] alebo tras pacienta [5]. Pohyb vo vzduchu bol najčastejšie skúmaný u biometrických aplikácií [19], ale niektoré pilotné dáta naznačovali, že by mohol byť aplikovaný aj pre lekárske diagnostické účely [17]. V štúdiu **Analysis of in-air movement in handwriting: A novel marker for Parkinson's disease** [4] sa začal skúmať podrobnejšie in-air pohyb pri písaní pacientov s Parkinsonovou nemocou.

Táto štúdia bola vykonaná na 37 pacientoch s Parkinsonovou nemocou (19 mužov a 18 žien s priemerným vekom $69,3 \pm 10,9$ rokov a priemernou dobou trvania ochorenia $8,37 \pm 4,8$ roku) a 38 zdravých jedincov (20 mužov a 18 žien), ktorý boli priradený ku pacientom aby zodpovedali ich veku a pohlaviu. Merania prebiehali na I. Neurologickej klinike Fakultnej nemocnice u sv. Anny v Brne. Všetci pacienti boli praváci, každý dosiahol aspoň 10 rokov vzdelania a český jazyk bol ich rodným jazykom. Úlohou každého subjektu bolo napísať vetu v českom jazyku „Tramvaj dnes už nepojede“. Veta bola zapisovaná do šablóny, ktorá malá hornú a dolnú hranicu. Subjekty boli upozornení aby písali vetu v týchto hraniciach avšak nemuseli využiť celý rozsah pri písaní. Šablónu je možné vidieť na obrázku 2.1, kde ku tejto štúdiu bola využitá úloha číslo 9. Ku pozorovaniu a zaznamenávaniu výsledkov bol použitý tablet Wacom, Intuos 4M – medium, sériové číslo: 2DBH016667.

Pri tomto type úlohy bolo možné zaznamenávať in-air pohyb nie len v momente prechodu z jedného slova na druhé ale aj pri prerušení písania jednotlivých slov napríklad z dôvodu písania interpunkcie. Subjekty písali atramentovým perom na



Obr. 2.2: Modrý text je príklad písania textu na povrchu papiera, červené čiary znázorňujú pohyb in-air. V ľavo je pohyb pera detekovaný u zdravého jedinca, v pravo sa jedná o pacienta s Parkinsonovou nemocou. Výsledky štúdie Drotár et al. [4]

papier, ktorý bol položený na tablete, tak aby mali čo najpodobnejšie podmienky bežnému písaniu. Atramentové pero sa chovalo teda prirodzeným spôsobom a subjekty boli požiadané aby napísali vetu v ľubovolnej veľkosti a ľubovolnou rýchlosťou. Uvedené príklady zachyteného signálu pri písaní vety ako zdravého jedinca tak pacienta sú znázornené na obrázku 2.2

V štúdiu boli zaznamenávané kinematické hodnoty písma ako je rýchlosť ťahu, celková rýchlosť písania, zrýchlenie (akcelerácia), počet zmien v rýchlosti (NVC - number of changes in velocity), počet zmien v akcelerácii (NCA - number of changes in acceleration). Čo sa týka časových údajov bol zaznamenávaný čas strávený vo vzduchu, čas strávený na povrchu a pomer týchto veličín. Úplný rozpis funkcií je uvedený v tabuľke 2.2

Zaznamenané hodnoty bolo treba štatisticky skúmať, ku čomu boli použité prostriedky ako aritmetický priemer, geometrický priemer, momenty, špičatnosť, rozsah, median, štandardná odchylka a ďalšie.

Dáta boli analyzované pomocou Mann-Whitney U testu medzi skupinou zdravých subjektov a pacientov s Parkinsonovou nemocou. Hladina významnosti bola nastavená na $p=0,05$. Prvky, ktoré týmto testom neprešli boli odstránené a neboli použité na ďalšie spracovanie. V štúdiu bol použitý učiaci algoritmus SVM [28, 7] s radiálnym jadra (RBF). SVM minimalizuje chybu klasifikácie [22]. Bol použitý z dôvodu, že vykazoval dobrú výkonnosť predikcie v podobných problémoch ako boli riešené v tejto štúdiu [25] a všeobecne fungoval dobre v rôznych biomedicínskych aplikáciách [15, 21].

V priemere bol pomer času strávený vo vzduchu ku času strávenému na povrchu 0,77 pre zdravých jedincov a 0,75 pre pacientov. Funkcie s najväčším významom pre

Tab. 2.2: Opis funkcií analyzovaných pri rukopise. Výsledky štúdie Drotár et al. [4]

vlastnosť	popis
rýchlosť ťahu	trajektória bola rozdelená na jednotlivé ťahy
rýchlosť	trajektória počas písania rozdelená na jednotlivé ťahy
velocity	rýchlosť zmeny pozície pera s časom
akcelerácia	zmena rýchlosti pera s časom
švih	zmena zrýchlenia s časom
horizontálna rýchlosť	rýchlosť písania vo vodorovnom smere
vertikálna rýchlosť	rýchlosť písania v zvislom smere
NVC	priemerný počet lokálnych extrémov rýchlosti
NCA	priemerný počet lokálnych extrémov zrýchlenia
relatívne NCV	NVC vzhľadom na dĺžku písania
relatívne NCA	NCA v pomere k dobe trvania písania
čas in-air pohybu	čas strávený vo vzduchu počas písania
čas písania na povrchu	čas strávený na povrchu počas písania
in-air / na povrchu	pomer času stráveného vo vzduchu ku času na povrchu

diagnostiku zoradené podľa absolútnej hodnoty korelačného koeficientu sú: rozsah švihu vo vzduchu, rozsah in-air akcelerácie a minimá zrýchlenia vo vzduchu. Klasifikácia s použitím funkcie založenej na pohybe in-air odhalila s presnosťou $84,43 \pm 2,88$ %. Presnosť klasifikácie pri použití len pohybu na povrchu bola nižšia a to $78,16 \pm 1,96$ %. Využitie funkcií s oboch častí pohybov zvýšilo presnosť klasifikácie na $85,61 \pm 1,72$ %. Toto zvýšenie nebolo tak markantné ako sa predpokladalo ale aj napriek tomu sa podarilo dokázať, že in-air pohyb má vplyv pri písme pacientov s Parkinsonovou nemocou.

Ďalšou veľmi zaujímavou štúdiou, ktorá sa venovala vyhodnocovaniu písma u parkinsonikov je štúdia **Handwriting Rehabilitation in Parkinson Disease: A Pilot Study** [30]. V tejto štúdií bolo prvotným cieľom skúmať dopady a posúdiť užitočnosť rehabilitácie rukopisu na písmo pacientov s Parkinsonovou nemocou, ktorý mali problém s písaním a s podpisovaním. Na začiatku bolo študovaných 60 pacientov v nemocnici de Clinicas v Buenos Aires. Po prvotných testoch, ktoré vylúčili pacientov s veľmi silným trasom a inými problémami, bolo vybraných 30 pacientov, ktorý podstúpili po dobu 9 týždňov rehabilitácie rukopisu. Skupina pacientov sa zúčastňovala školenia raz do týždňa. Písmo pacientov bolo hodnotené na začiatku a na konci školenia.

Aby bolo možné hodnotiť grafologické znaky písma účastníci boli požiadaní, aby napísali vetu v španielčine: „Respiro el dulce aroma de las flores“. Účastníci

písali vetu svojou dominantnou rukou na list bieleho papiera o veľkosti 40 x 50 cm. Sledované boli nasledujúce hodnoty:

- Veľkosť písmen, meraná ako najväčšia zvislá čiara a dĺžka frázy.
- Zníženie veľkosti písmen počas písania. Merala sa výška prvého a posledného „e“ vo vete.
- Smer rukopisu vzhľadom ku horizontále.
- Povrchová plocha rukopisu. Vypočítaná plocha štvoruholníku opísaná rukopisom pacienta
- Sila tlačenia pera na papier sa merala pomocou softvéru the Calligraphy 2.7. Tento program rozdeľuje silu od 1 (minimálna) po 7 (maximálna), kde 4 je považovaná za normálnu silu.
- Rýchlosť (počet písmen napísaných za minútu).

Tab. 2.3: Vlastnosti rukopisu pacienta. Výsledky štúdie Ziliotto et al. [30]

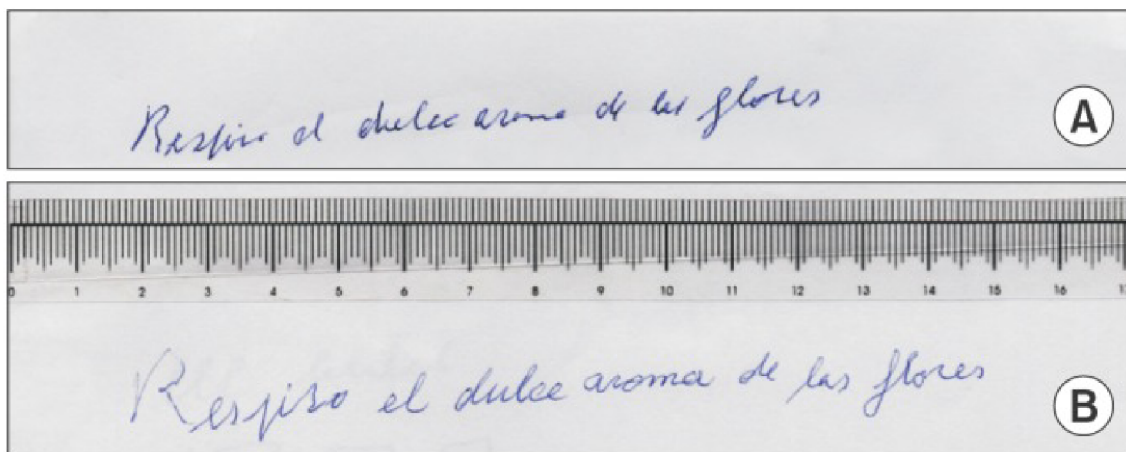
vlastnosti rukopisu	rehabilitácia rukopisu u pacienta	
	áno	nie
výška písma (mm)	12 ± 5.1	13 ± 4.9
šírka písma (cm)	13 ± 2.8	13.8 ± 2.7
veľkosť prvého znaku e (mm)	3.7 ± 1.2	3.8 ± 1.2
veľkosť posledného znaku e (mm)	3.5 ± 1.4	3.6 ± 1.4
rýchlosť (počet znakov za minútu)	83 ± 28.1	68.9 ± 28
stúpanie písma	27 (90%)	27 (90%)
klesanie písma	3 (10%)	3 (10%)

Grafológovia vykonávali rehabilitáciu rukopisu. Každé sedenie trvalo 90 minút. Účelom bolo aby pacient bol schopný písať menej automatickým spôsobom. Pacientom boli poskytnuté vizuálne podnety ako písanie s farebnými atramentami, ďalej boli vyzývaní aby robili veľké ťahy, a mnoho ďalších cvikov.

Po 9 týždňoch sa porovnávalo písmo pacientov, ktorý podstúpili rehabilitáciu rukopisu s 30 pacientmi s Parkinsonovou nemocou, ktorý nepodstúpili žiadne rehabilitácie. Výsledky sú možné vidieť v tabuľke 2.3.

Na obrázku 2.3 je možné vidieť zmenu u písma pacientov, ktorý podstúpili rehabilitáciu rukopisu. V hornej časti je písmo pacienta pred podstúpením rehabilitácie a v dolnej časti je možné sledovať pokrok pri 9 týždňovej rehabilitácii písma.

V tejto štúdii boli sledované podobné vlastnosti písma ako u predchádzajúcich štúdií. Bolo dokázané, že tréningom sa dá kvalita písma zlepšiť avšak znaky parkinsonického písma stále ostávajú. Konkrétne z tejto štúdie sa dá pozorovať že písmo u pacientov s Parkinsonovou nemocou sa neustále počas písania znižuje.



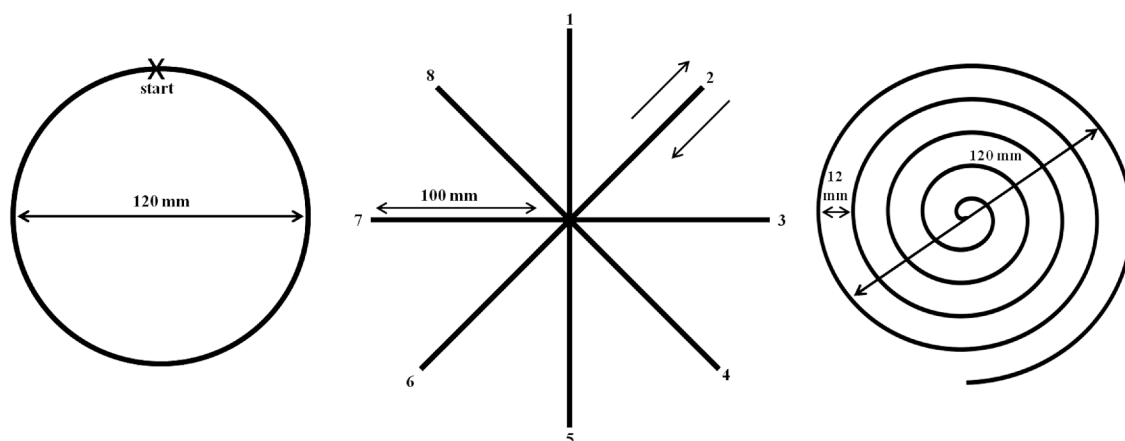
Obr. 2.3: Text v poli A napísal pacient pred rehabilitáciou rukopisu. Text v poli B je napísaný tým istým pacientom po rehabilitácii rukopisu. Výsledky štúdie Ziliotto et al. [30]

Ďalšou štúdiou, ktorá taktiež ako predchodzie skúmala písmo u parkinsonikov je štúdia **Standardized Handwriting to Assess Bradykinesia, Micrographia and Tremor in Parkinson's Disease** [20]. Cieľom štúdie bolo zistiť, či rukopis pacienta je závislý na niektorých symptómoch Parkinsonovej nemoci. Štúdia sa zamerala na dva motorické príznaky Parkinsonovej nemoci a to bradykinéza a mikrografia. Táto štúdia bola pilotná a preto nebola skúmaná na veľkom počte pacientov.

Desať pacientov s Parkinsonovou nemocou (v priemernom veku 69 rokov, rozpätie 63 až 81,6 rokov) a desať pohlavím a vekom viazaných zdravých jedincov (priemerný vek 68,1) sa zúčastnili tejto štúdie. Vzhľadom k tomu, že pacienti mali udržať pero po dobu 30 minút a vykonávať rôzne monitorované úlohy, boli vybraní pacienti so skorým štádiom ochorenia Parkinsonovej nemoci. Pacienti noc pred testom vysadili lieky na Parkinsonovu nemoc.

Účastníci sedeli v pohodlnej pozícii vhodnej pre písanie. Pre zaznamenanie písma bol použitý digitálny tablet WACOM Intuos 2. Pozícia pera bola zaznamenávaná pomocou softwaru MovAlyzeR so vzorkovacou frekvenciou 100 Hz. Každý účastník vyplňal 5 úloh v rovnakom poradí. Prvou úlohou bolo desaťkrát za sebou obkresliť kružnicu v smere hodinových ručičiek. Druhou úlohou bolo kreslenie hviezdy, čo bolo cvičenie v ktorom sa nachádzali 4 úsečky ktoré navzájom zvierali uhol 45 stupňov. Subjekty museli od stredu kresliť nepretržite do všetkých smerov, čo teda znamená kreslenie do ôsmich smerov v poradí tam a späť do centrálného bodu. V ďalšej úlohe subjekty obkresľovali špirálu opäť v smere hodinových ručičiek z vnútra von. Každý účastník nakreslil špirálu desaťkrát za sebou. Posledné dve úlohy spočívali v tom, že pacienti písali konkrétnu frázu 10 krát za sebou. Texty boli zvolené tak aby symboly

a slová boli napísané opakovane a texty boli nezmyselné v jednom prípade a zmyselné v druhom. Prvá časť spočívala v písaní slova „elelelel“, v druhej časti zas „way too much bright, shrill sun“ v Holandčine. Pri obkresľovaní geometrických tvarov bola šablóna položená na tablete. Ukážku šablóny je možné vidieť na obrázku 2.4



Obr. 2.4: Prvé 3 úlohy zo štúdie [20]. 1. obkresľovanie kruhu, 2. obkresľovanie hviezdice, 3. obkresľovanie špirály

Analýza prebiehala pomocou Matlabu 7.4.0 (R2007a). Aby bolo možné posúdiť bradykinézu, boli definované funkcie týkajúce sa rýchlosti pohybu. Medián času, rýchlosti a zrýchlenia bol vypočítaný pre všetky úlohy. V úlohe kde mali subjekty za úlohu napísať slovo „elelelel“ bola skúmaná výška písma, teda mikrografia. Dĺžka a výška vety sa významne nelíšili medzi pacientmi a zdravými jedincami. Avšak šírka písma „e“ bola výrazne menšia u parkinsonikov ako u zdravých jedincov. Výška písmena „e“ a výšky a šírky písmena „l“ boli síce menšie u parkinsonikov ale po viacnásobnom porovnávaní (priemerovaní hodnôt zo všetkých desiatich pokusov) neboli výsledky dostatočne relevantné.

Všetci účastníci dokončili každú z písacích a kresliacich úloh. Priemerná dĺžka ochorenia pacientov s Parkinsonovou nemocou bola 4,4 roku. Funkcie, ktoré posudzovali bradykinézu (priemerná rýchlosť, priemerné zrýchlenie, priemerná rýchlosť úlohy „elelelel“) sa významne líšili medzi pacientmi a zdravými jedincami. Zvyšné funkcie tiež ukázali veľké rozdiely medzi týmito dvoma skupinami, avšak pri viacnásobnom porovnávaní došlo ku väčšej odchýlke. Pri meraní dĺžky priemernej doby ťahu jednej linky pri hviezdicovej úlohe nebola nájdená významná interakcia.

V tejto štúdii bolo dokázané, že rukopis môže poskytnúť kvantitatívny spôsob na preskúmanie bradykinézy a mikrografie u parkinsonikov. Mnohé z týchto meraní by dokázali rozlíšiť zdravého jedinca od pacienta s Parkinsonovou nemocou.

3 METODY PARAMETRIZÁCIE DIGITALIZOVANÉHO PÍSMÁ

Ako už bolo spomenuté, mnoho štúdií sa zaoberalo skúmaním písma u pacientov s Parkinsonovou nemocou. Parametre písma sa dajú rozdeliť podľa typu do dvoch základných kategórii. Sú to parametre statické (veľkosť písma, šírka, výška, orientácia) a parametre kinematické (rýchlosť, zrýchlenie, švih). Osobitým parametrom je čas, kde sa dá merať celkový čas potrebný na vykonanie určitej úlohy. Všetky tieto pohyby je možné ešte rozdeliť podľa toho či sa jedná o pohyb s perom pri písaní (dotyku pera s papierom) alebo sa jedná o in-air pohyb (pohyb nad tabletom vykonávaný medzi jednotlivými ťahmi).

Jedným zo základných parametrov je veľkosť písma. Tento parameter je veľmi dôležitý u parkinsonikov nakoľko z množstva štúdií bolo dokázané, že parkinsonici znižujú veľkosť písma pri písaní. Preto parameter výška písma je dobré sledovať v čase, kde by malo byť dobre pozorovateľná zmena výšky písma. Takisto orientácia písma, čo je parameter sklonu textu od vodorovnej linky.

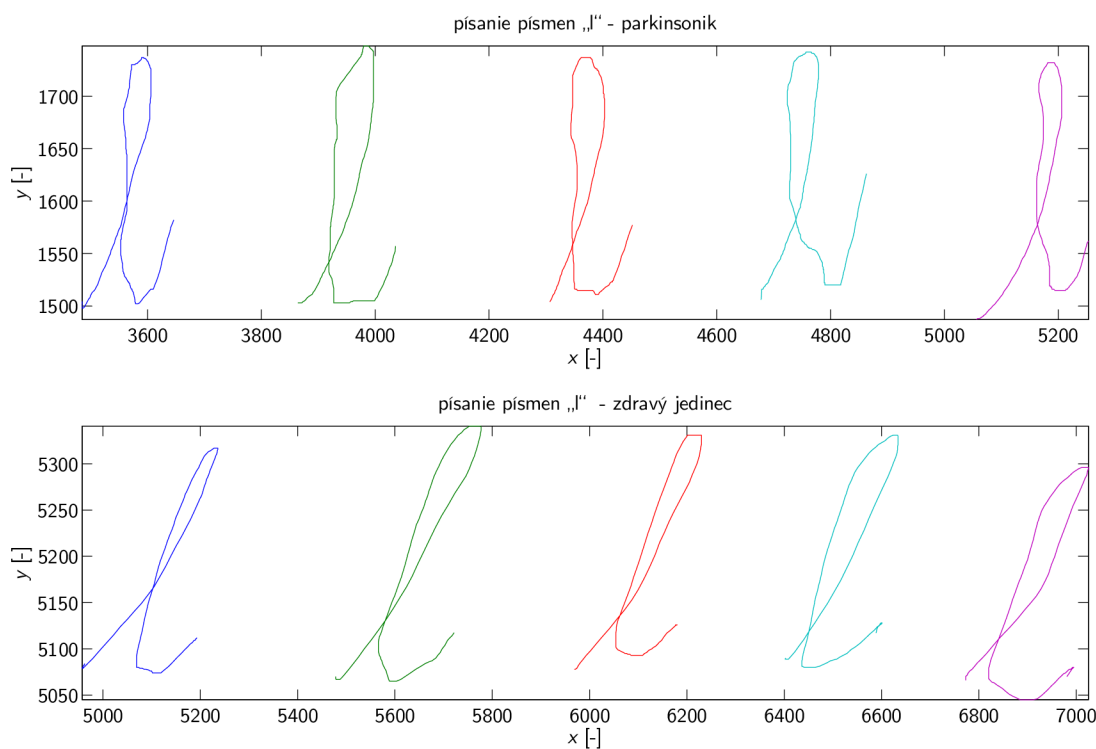
V poslednej dobe veľmi zaujímavými parametrami sú kinematické parametre, kde sa skúmajú dynamické vlastnosti písma. Napríklad parameter rýchlosti písma je možné sledovať a to rýchlosť vo vodorovnom smere, rýchlosť v zvislom smere ako aj globálnu rýchlosť. Ďalej je možné sledovať zrýchlenie, čo je vlastne derivácia rýchlosti závislá na čase, a švih, čo je derivácia zrýchlenia závislá na čase. Takisto aj tieto parametre je možné sledovať vo vodorovnom, vertikálnom smere ale aj globálne. Ďalej ako bolo dokázané v spomenutých štúdiách je dôležité sledovať aj pohyb nad tabletom. Napríklad u parkinsonikov je možné sledovať, že strávia dlhší čas in-air pohybom ako zdraví ľudia, alebo viac krát prerušia písanie, teda pri písaní vety je možné pozorovať viac in-air pohybov ako u zdravých jedincov. Všetky tieto parametre je potrebné teda rozdeliť na pohyb na tablete, pohyb nad tabletom a taktiež celkový pohyb. Všetky základné parametre písma sú uvedené v tabuľke 3.1.

Tab. 3.1: Tabuľka základných parametrov písma

Parametre	pohyb na povrchu / vo vzduchu / celkový		
statické	šírka	výška	orientácia
kinematické	rýchlosť	zrýchlenie	švih
globálne	celková dĺžka	čas trvania	

3.1 Rýchlosť písma

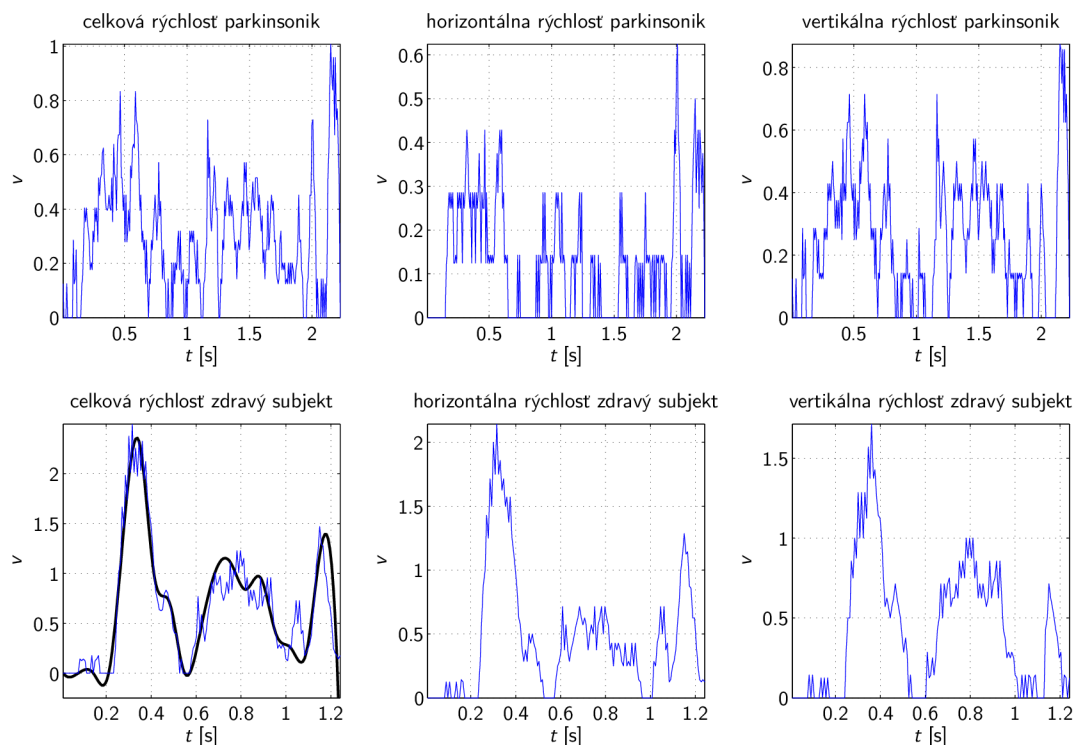
U parkinsonikov dokáže tento parameter byť veľmi nápomocný nakoľko stuhnuté svaly a tremor spôsobuje u pacientov veľké množstvo zmien ako aj smeru pohybu tak samozrejme aj rýchlosti. Parameter rýchlosť písma ako už bolo spomenuté je možné rozdeliť do troch rovín a to vertikálna rýchlosť, horizontálna rýchlosť a globálna rýchlosť. Vertikálna rýchlosť odpovedá zmene dráhy vo vertikálnom smere, teda ak je písmo zaznamenávané na tablet tak je to zmena pozície v ypsilónovom smere za jednotku času. Obdobne horizontálna rýchlosť znamená zmenu pozície na xovej osi za jednotku času. Globálna rýchlosť je vlastne reálna rýchlosť písma, čo znamená že je to celková dĺžka ťahu za jednotku času. Ako vhodný príklad môže byť použité cvičenie, kde subjekt mal za úlohu napísať 5 krát za sebou písmeno „l“. Na obrázku 3.1 je znázornené písmo zdravého jedinca v porovnaní s parkinsonikom. Pri hlbšej analýze písma „l“ z pohľadu rýchlosti je možné rozdeliť pohyb na viacej častí ako je znázornené na obrázku 3.1



Obr. 3.1: Zaznamenanie písma „l“ u zdravého jedinca a u parkinsonika. Dáta použité z databázy PaHaW 5

1. Začiatok písania začína prípravou na ťah a rýchlym zrýchlením.
2. Nasleduje brzdenie až postupné zastavenie v hornej časti písmena „l“.

3. Ďalej prichádza opätovné zrýchlenie na maximálnu rýchlosť, ktorá je dosiahnutá niekde v strede linky smerujúcej z hora dole.
4. Od stredu linky dochádza ku opätovnému brzdeniu až zastaveniu písania na krátky okamih v dolnej časti kde dochádza ku zmene smeru písania.
5. Ku poslednému zrýchleniu dochádza pri ukončovaní písma „l“ a to pri ťahu zo spodnej časti hore až nakoniec dochádza opäť ku spomaleniu a neskoršiemu zastaveniu a ukončeniu ťahu.



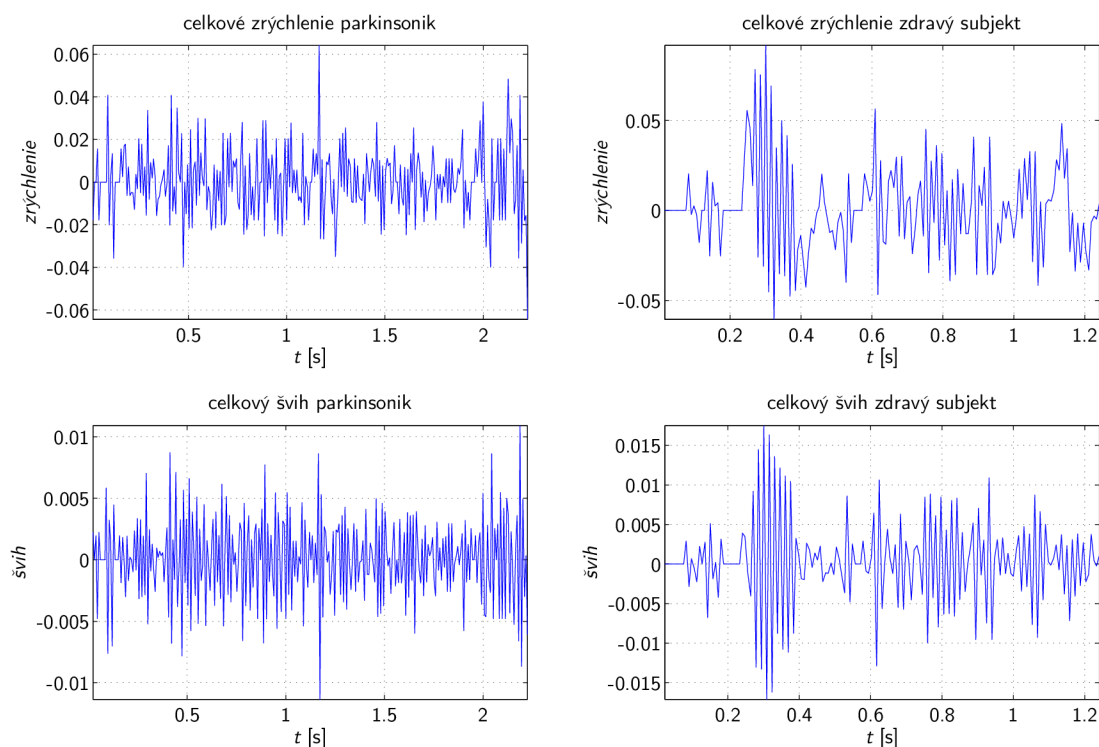
Obr. 3.2: Okamžitá rýchlosť pri písaní „l“ u zdravého jedinca a u parkinsonika. Dáta použité z databázy PaHaW 5

Z popisu ťahu je zrejmé, že u zdravého jedinca, ktorý píše písmeno „l“ plynule, by sa mali nachádzať v grafe globálnej rýchlosti, zachytenej z tabletu, presne 3 lokálne maximá a 2 lokálne minimá. Obrázok 3.2 vykresľuje všetky 3 typy rýchlostí v poradí z ľava doprava globálna rýchlosť, horizontálna rýchlosť a vertikálna aktuálna rýchlosť. Horné 3 grafy znázorňujú rýchlosť u pacienta s Parkinsonovou nemocou a spodné 3 grafy ukazujú okamžitú rýchlosť u zdravého jedinca. Pri porovnaní grafov je možné okamžite sledovať rozdiel v počte zmien rýchlosti, kde u parkinsonika vplyvom trasy a stuhnutia svalov dochádza k oveľa častejšej zmene rýchlostí. Zatiaľčo u zdravého jedinca je možné celkom pekne pozorovať prednedávanom spomenuté 3 lokálne maximá a 2 lokálne minimá.

Už na prvý pohľad je zrejmé, že parameter rýchlostí bude nápomocný v skúmaní rozdielov medzi zdravým subjektom a pacientom s Parkinsonskou nemocou.

3.2 Zrýchlenie a švih

Ďalšími parametrami, ktoré vychádzajú z parametru rýchlosti písma, sú zrýchlenie a švih. Zrýchlenie, respektíve spomalenie rýchlosti písma, je taktiež pri písaní písmena „l“ parameter, ktorý by mohol napomôcť rozlíšiť písmo zdravého človeka od parkinsonika. Na začiatku ťahu dochádza ku zrýchleniu a potom pri vrchnej časti písmena „l“ opäť ku spomaľovaniu. Toto je možné pozorovať aj v grafe zrýchlenia, ktorý je znázornený na obrázku 3.3. V okolí času 0,3s je možné pozorovať v grafe zdravého jedinca nárast zrýchlenia a neskôr spomalenie. V ďalšej časti grafu už toho však voľným okom nie je možné veľmi dobre pozorovať tieto zmeny, nakoľko zrýchlenie je vlastne derivácia rýchlosti podľa času a preto dochádza ku zvýšenému zašumeniu. V porovnaní s grafom zrýchlenia u parkinsonika je možné vidieť, že pacient s Parkinsonovou nemocou nerobil plynulé ťahy pri ktorých by dochádzalo ku plynulejšiemu nárastu zrýchlenia a neskôr ku spomaľovaniu.



Obr. 3.3: Okamžité zrýchlenie a švih pri písaní „l“ u zdravého jedinca a u parkinsonika. Dáta použité z databázy PaHaW 5

Švih je rovnako ako zrýchlenie kinematickým parametrom písma. Jedná sa opäť o deriváciu, v tomto prípade je to zmena zrýchlenia za jednotku času. Tým že je to ďalšia derivácia času dochádza ešte ku väčšiemu zašumeniu a z grafu na obrázku 3.3 je možné voľným okom pozorovať ešte menej dôležitých údajov ako z grafu zrýchlenia. Je možné teda vidieť, že u grafu parkinsonika došlo ešte k výraznejšiemu zašumeniu ako u zrýchlenia, avšak v grafe písma zdravého človeka je možné stále veľmi dobre pozorovať švih na začiatku písmena „l“.

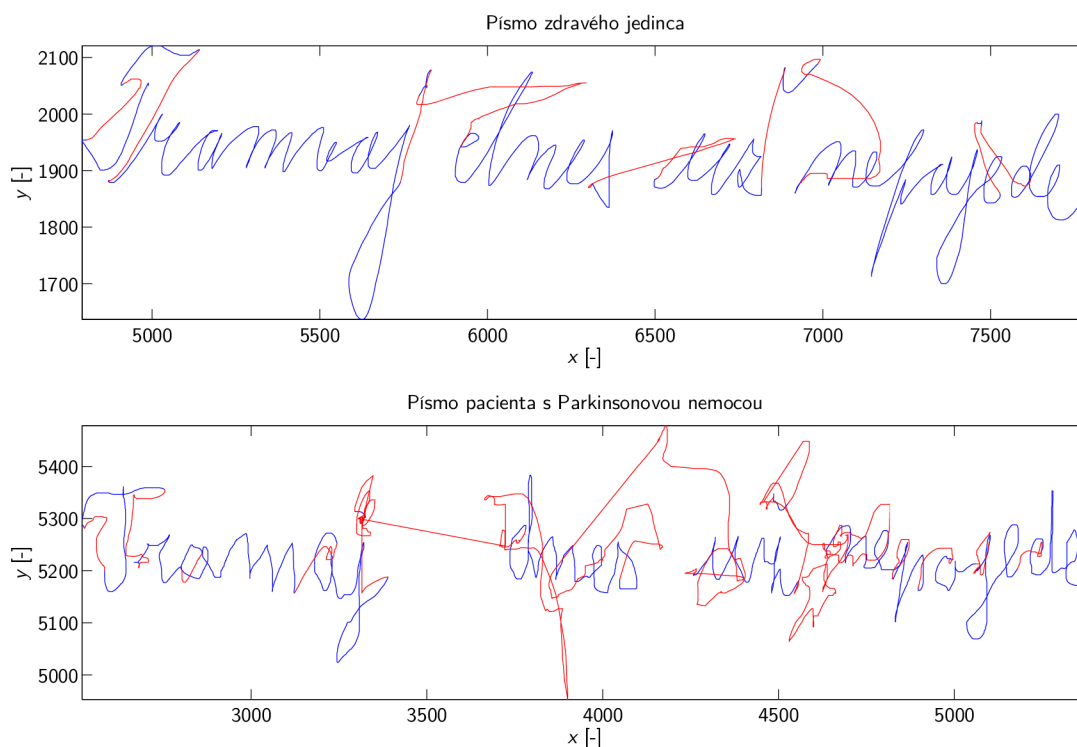
Nakoľko je patrné, že z grafov parametru zrýchlenia a švihu je menej čitateľných hodnôt a viac šumu ako v grafe rýchlosti, tieto parametre pri hlbšom skúmaní, extrakcií vysokoúrovňových parametrov a použití matematického modelu, by mohli slúžiť ako klasifikátory v automatizovanom systéme.

3.3 Výška, dĺžka, čas, in-air pohyb

Statické parametre písma sa asi najlepšie určujú z úlohy, kde respondenti museli napísať vetu „Tramvaj dnes už nepojede“. Náhodne boli vybrané dve písma, jedno písmo pacienta s Parkinsonovou nemocou a druhé písmo zdravého jedinca, ktoré budú navzájom porovnávané. U tohoto typu úlohy sa dajú skúmať parametre ako výška písma, celková dĺžka písma, čas vykonávania tejto úlohy. Ďalej je možné skúmať výšku písma v jednotlivých fázach písania. Záznam týchto písiem z tabletu je vykreslený na obrázku 3.4.

Na obrázku 3.4 sú teda znázornené dva typy písiem. Vo vrchnej časti sa jedná o písmo zdravého jedinca, v spodnej časti sa zas jedná, ako je možné vidieť už voľným okom, o písmo pacienta s Parkinsonovou nemocou. Modrou farbou je vykreslený pohyb pera pri písaní, teda moment, keď sa pero dotýkalo podložky, naopak červenou farbou je zas vykreslený pohyb pera nad papierom, teda moment medzi jednotlivými ťahmi, takzvaný in-air pohyb. Zdravý subjekt, ktorého písmo je zaznamenané na obrázku má 78 rokov, je muž a jeho dominantnou rukou je pravá ruka. U pacienta s parkinsonovou nemocou sa zas jedná o ženu, ktorá má tiež 78 rokov, jej dominantnou rukou je taktiež pravá ruka a dĺžka Parkinsonovej nemoci je zaznamenaná na 19 rokov. Tieto dva subjekty boli náhodne vybrané z databázy PaHaW, ktorá je popisovaná v kapitole 5

Prvým základným parametrom, ktorý je jednoducho spočítateľný je dĺžka vety. Je vypočítaná ako rozdiel horizontálnych súradníc prvého a posledného bodu. Ďalším parametrom, užitočným pri určovaní Parkinsonovej choroby by mohol byť parameter výšky písma. Všetky parametre sú zaznamenané v tabuľke 3.2, kde je dobre vidieť porovnanie hodnôt ako u parkinsonika tak u zdravého jedinca. U parametru výšky písma bola zaznamenaná celková výška písma, teda rozdiel najvyššieho bodu a naj-



Obr. 3.4: Písmo zdravého jedinca a parkinsonika. Modrá farba znázorňuje písmo subjektov, červená farba znázorňuje pohyb pera nad papierom. Dáta použité z databázy PaHaW 5

nižšieho zaznamenaného bodu písma. Ďalej bola nameraná hodnota výšky písma u slova „uz“. Ďalším dôležitým parametrom je dĺžka písania celej úlohy. Nakoľko parkinsonici sa pri písaní musia viac sústrediť a potrebujú na vykonanie tej istej úlohy viac času. Táto prognóza bola potvrdená pri porovnaní celkových časových dĺžok u oboch písom, viď. tabuľku 3.2.

Tab. 3.2: Parametre písma z obrázku 3.4

statické parametre písma	zdravý jedinec	pacient
dĺžka vety	2829	2460
celková výška	484	359
výška slabiky „uz“	109	114
celkový čas [s]	15,78	43,4

Z tabuľky je okrem spomínaného rozdielu v čase možné vidieť aj rozdiely vo výškach písma. Diagnóza na základe tohoto parametru nie je úplne presná a nedá sa z neho určiť problém parkinsonickej mikrografie, a to problém so zmenšovaním

sa písma, nakoľko už z obrázku je vidieť, že zdravý jedinec využíva oveľa väčší švih pod linajku, hlavne u písmena „j“ v slove „Tramvaj“. Tento fakt veľmi skresluje výsledky. Ďalším parametrom, ktorý je v tabuľke je parameter dĺžky, kde je možné pozorovať, že zdravý subjekt písal vetu na dlhšom priestore ako parkinsonik. Toto môže odpovedať mikrografii, kde parkinsonici všeobecne píšu menším písmom a viac sa sústreďujú na udržanie trasy.

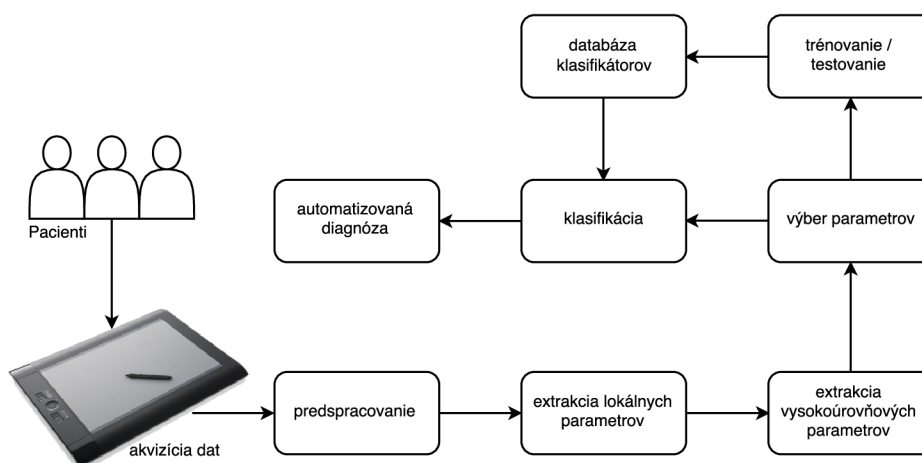
Pri tejto úlohe sa však dá veľmi dobre pozorovať aj rozdiel medzi in-air pohybom oboch subjektov. Kým zdravý jedinec robí aj nad papierom plynulé pohyby, parkinsonik, tým že sa pripravuje na ďalší ťah, má tieto pohyby ešte viac roztrasené ako písmo. Preto je dôležité sledovať aj pohyb nad papierom a skúmať jeho dynamické vlastnosti. Okrem viditeľného roztrasenia pohybu nad papierom je možné sledovať aj dĺžku tohoto pohybu. Je patrné, že parkinsonik strávil viac času pri in-air pohybe ako zdravý jedinec. Posledným zaujímavým parametrom je počet jednotlivých in-air pohybov. Zatiaľčo zdravý jedinec urobil 9 pohybov nad papierom, parkinsonik, pri písaní tej istej úlohy urobil až 13 jednotlivých pohybov. Presné hodnoty o písme nad papierom sa nachádzajú v tabuľke 3.3.

Tab. 3.3: Porovnanie pohybu pera nad papierom

in-air pohyb	zdravý jedinec	pacient s Parkinsonovou nemocou
dĺžka pohybu	3752.7	9115.6
počet jednotlivých pohybov	9	13

4 SYSTÉM PARAMETRIZÁCIE PARKINSONICKEJ DYSGRAFIE

Nakolko už mnohé štúdie zistili spojitosť medzi písmom a Parkinsonovou chorobou, je vhodné vytvoriť systém, ktorý by dokázal posúdiť z čo najväčšou pravdepodobnosťou či sa jedná o písmo parkinsonika alebo zdravého jedinca. Ak by systém dokázal s dostatočnou presnosťou vyhodnocovať všetky druhy písma subjektov a zakategorizovať ich, veľmi by to pomohlo doktorom pri diagnostike nemoci. Taktiež by mohli skúmať ako rýchlo nemoc postupuje, či sa zhoršuje alebo naopak zlepšuje. Ide vlastne o systém, ktorý funguje na princípe, že pacient za dohľadu lekára zaznamená svoje písmo na tablet. Tým sa spracuje písmo do elektronickej podoby. Ďalej sa vy-extrahujú parametre písma a tie najvhodnejšie sa vyberú a porovnajú s klasifikátormi, podľa ktorých sa zaradí subjekt buď medzi zdravých jedincov alebo pacientov. Ukážka takéhoto systému je znázornená pomocou blokovej schémy na obrázku 4.1



Obr. 4.1: Blokové schéma znázorňujúce automatizovaný systém parametrizácie parkinsonickej dysgrafie

Pre vytvorenie automatizovaného systému je potrebné najprv mať čo najkvalitnejšiu a najväčšiu databázu písiem. Tá musí obsahovať písma ako pacientov tak aj zdravých jedincov, aby bolo možné navzájom tieto písma porovnávať a vytvoriť klasifikátory. Na začiatku pacient za prítomnosti lekára vyplní určitý protokol napríklad taký ako je na obrázku 2.1. Pacient protokol vyplní bez predchodzieho tréningu alebo možnosti skúsiť si vyplniť protokol nanečisto, tým by mohol výrazne ovplyvniť výsledky. Aby boli zaručené čo najkvalitnejšie podmienky, subjekt vyplní protokol

klasickým atramentovým perom na papierový protokol, ktorý je položený na elektronickom tablete. Ten zaznamenáva údaje ako sú súradnice pera, či už pri dotyku alebo pri držaní pera nad displejom tabletu. Ďalej zaznamenáva časovú známku, tlak pera, či sa jedná o záznam vytvorený na tablete alebo pero bolo vo vzduchu, sklon pera, a v niektorých prípadoch je možné odoberať aj iné parametre. To všetko závisí na možnostiach tabletu.

Akonáhle tablet zaznamená písmo je možné ho začať spracovávať. V bloku predspracovanie, dochádza ku upraveniu si dát na jednotlivé segmenty. Rozselektovaniu si záznamu na jednotlivé slová, písmená a iné dôležité údaje, tak aby bolo možné s nimi ďalej pracovať. V bloku extrakcie lokálnych parametrov dochádza ku výpočtu parametrov popisujúcich tvar jednotlivých ťahov, ako napríklad šírku, výšku dĺžku ťahu. Ďalej to môžu byť parametre popisujúce dynamiku písma (rýchlosť, zrýchlenie, švih), tlak na hrot, azimut, sklon pera. A v neposlednej rade aj parametre popisujúce pohyb nad papierom, teda in-air pohyb.

V bloku extrakcie vysokoúrovňových parametrov sa pracuje so štatistikami ako napríklad momentami, percentilmi, smerodatnými odchýlkami, a podobnými parametrami umožňujúcimi lepšie spracovanie. Počítajú sa z lokálnych parametrov. Sú vhodnejšie pre nasledujúcu analýzu. Dochádza ku transformácii vektorov, či matíc na skalárne hodnoty, ktoré môžu neskôr tvoriť klasifikátory.

Ďalej dochádza ku výberu parametrov, ktoré by boli vhodné na tréning a testovanie systému. U parkinsonikov by to mohli byť parametre ako napríklad rýchlosť písma, výška písma (mikrografia), a mnoho ďalších, ktoré by dobre odlišovali pacientov od zdravých jedincov.

Akonáhle prebehne dobrý výber parametrov môže dôjsť ku tréningu a ku následnému testovaniu, kde po testoch dochádza k uloženiu modelu do databázy klasifikátorov.

V tomto momente je systém pripravený rozlišovať písmo parkinsonikov a zdravých ľudí. Teda ako je znázornené na obrázku 4.1, písmo sa zachytí pomocou tabletu, prejde predspracovaním a extrakciou parametrov a vyberú sa vhodné parametre na porovnanie. Tieto parametre sa v bloku klasifikácia porovnávajú s klasifikátormi z databázy. Pomocou tohto porovnania je možné vyhodnotiť či sa jedná o pacienta s Parkinsonovou nemocou alebo o zdravého jedinca.

Tento systém parametrizácie parkinsonickej disgrafie, nakoľko je plne automatizovaný, by mohol veľmi napomôcť lekárom či už pri zisťovaní nemoci alebo pri pozorovaní jej progresie.

5 PAHAW DATABÁZA

Z predchodzej kapitoly je patrné, že aby bolo možné automatizovaný systém začať vytvárať, hľadať tie najlepšie parametre na natréovanie, vymýšľať algoritmy, je potrebné mať dostatočne dobrú databázu písíem. Čím je táto databáza kvalitnejšia, tým k presnejšiemu a kvalitnejšiemu natréovaniu neskoršieho automatizovaného systému môže dôjsť. Čím kvalitnejšie neznamená len čím viac i keď je to takisto dôležitým údajom. Čím väčší počet testovaných subjektov sa zúčastní na štúdiu, ktorej sa robí databáza písíem, tým presnejšia táto databáza bude. Pri väčšom počte sa dajú jednoduchšie vylúčiť z databázy písma, ktoré nespĺňajú určité parametre, sú ovplyvnené vonkajšími vplyvmi, teda došlo ku nadmernej odchýlke pri konkrétnych parametroch. Taktiež vplýva na kvalitu databáze to, na akom komplexnom protokole bol vykonávaný záznam písma subjektov. Čím viac rôznorodých úloh, zameraných na rozličné parametre, tým je možné skúmať väčšie množstvo parametrov. Ďalej je dôležité ako boli písma zaznamenávané. V ideálnom prípade sa písmo zaznamenáva priamo na papier, ktorý je položený na tablete. V tomto prípade subjekt nepocituje zmenu v písaní a teda píše prirodzene atramentovým perom, ktoré zanecháva stopu na papieri. Posledným údajom, ktorý charakterizuje kvalitnú databázu je označenie databázy pomocnými údajmi. U pacientov s Parkinsonovou nemocou sa jedná o údaje ako pohlavie, vek, dĺžka nemoci, lieky, ktoré užíva, a iné.

V tejto práci bude využitá ku vytvoreniu automatizovaného systému databáza písíem PaHaW. Databáza bola vytvorená z písma 37 pacientov s Parkinsonovou nemocou (19 mužov a 18 žien s priemerným vekom $69,3 \pm 10,9$ rokov a priemernou dobou trvania ochorenia $8,37 \pm 4,8$ roku) a 38 zdravých jedincov (20 mužov a 18 žien), ktorí boli priradení ku pacientom aby zodpovedali ich veku a pohlaviu. Dáta boli odoberané na I. Neurologickej klinike Fakultnej nemocnice u sv. Anny v Brne. Všetci boli praváci, každý dosiahol aspoň 10 rokov vzdelania a ich rodným jazykom bol český jazyk. Všetky tieto údaje sú zaznamenané v značkovacom súbore spolu s údajom o dĺžke parkinsonovej nemoci u pacientov. Ku zaznamenávaniu signálu bol použitý tablet Wacom, Intuos 4M – medium, sériové číslo: 2DBH016667. Výhodou tabletu je ako už bolo spomenuté, že je možné písať na papier klasickým atramentovým perom, ktorý je položený na tablete.

Pacienti mali za úlohu vyplniť protokol, ktorý je znázornený na obr. 2.1. Vyšetrenie prebiehalo pod dohľadom lekárov bez predošlého nácviku. Úlohy v protokole sú poskladané tak aby sa dalo odpozorovať a skúmať čo najviac parametrov. Napríklad v úlohe 3–5, kde bolo zaznamenávané písanie písmen a slabík, boli zamerané na meranie rýchlosti a akcelerácie písania. V Úlohách 5–8 sa sledoval počet prerušení pri písaní jedného slova. V úlohe 9 sa dá veľmi dobre sledovať hlavne pohyb nad tabletom.

6 PARAMETRIZÁCIA PARKINSONICKEJ DISGRAFIE

Ako už bolo spomenuté, ku parametrizácii parkinsonickej disgrafie je použitá Pa-HaW databáza, ktorá obsahuje písmo parkinsonikov (37), ako aj písmo zdravých jedincov (38). Písmo týchto subjektov je zachytené v digitálnej podobe pomocou tabletu Wacom, Intuos 4M – medium, ktorý zaznamenáva v každom okamžiku 7 parametrov.

1. Hodnotu x-ovej súradnice
2. Hodnotu y-ovej súradnice
3. Časovú známku
4. Hodnotu či sa jedná o pohyb na papieri alebo nad papierom
5. Tlak pera
6. Sklon pera
7. Azimut pera

Subjekty boli požiadané o vyplnenie protokolu, ktorý je znázornený na obrázku 2.1. Pod dohľadom lekárov vyplnili 9 úloh, ktoré boli zaznamenané do digitálnej podoby. Zachytený signál z tabletu je potrebné ďalej upraviť aby bolo možné vhodne pracovať s parametrami. U niektorých úloh je potrebné písmo rozdeliť na jednotlivé slová, poprípade rozselektovať na pohyb na papieri respektíve pohyb pera vo vzduchu.

V rozselektovanom signále je možné skúmať parametre písma, ktoré sa dajú rozdeliť do nasledujúcich skupín podľa typu parametra:

1. Priestorové
2. Časové
3. Kinematické
4. Dynamické

Ako priestorové parametre boli využité výška, šírka, dĺžka písma. V kategórii časové parametre bol použitý parameter celkového času trvania jednotlivého pohybu. Z kinematických parametrov boli zvolené parametre rýchlosť, zrýchlenie, a švih písma. A nakoniec tlak, azimut a sklon pera sú parametre tvoriace skupinu dynamických parametrov.

Tieto hodnoty potom prechádzajú extrakciou vysokoúrovňových parametrov, kde pomocou štatistických metód dochádza ku transformácii vektorov na skalárne hodnoty. Sú vhodnejšie pre analýzu. V práci bolo použitých 23 štatistických metód, ktoré z každého výsledného vektoru spravili 23 skalárnych hodnôt. Boli použité napríklad metódy ako stredná, maximálna, minimálna hodnota, modus a medián, stredná geometrická a stredná harmonická hodnota, rozsah, relatívny rozsah a mnoho ďal-

ších.

6.1 Evaulačné metriky binárnej klasifikácie

Aby bolo možné klasifikátori trénovať a následne otestovať ich úspešnosť je potrebné vybrať vhodné evaluačné metriky. Tieto metriky znázorňujú s akou presnosťou boli určené testované hodnoty. Pokiaľ sa jedná len o rozdelenie písma medzi parkinsonikov a zdravých jedincov, jedná sa o binárnu klasifikáciu. Pri určovaní progresie onemocnenia u parkinsonických pacientov sa však už nebude jednať o binárnu klasifikáciu a preto tieto metriky nebudú môcť byť použité.

Ako vhodné evaluačné metriky binárnej klasifikácie boli zvolené:

- Senzitivita
- Špecificivita
- Presnosť (accuracy)
- Matthewov korelačný koeficient (Matthews correlation coefficient)

Senzitivita a **špecificita** úzko súvisia. U binárnej klasifikácie sú to najdôležitejšie metriky ktoré určujú, z akou pravdepodobnosťou bol správne určený pacient, respektíve z akou pravdepodobnosťou bol správne učený zdravý jedinec.

Aby bolo možné tieto metriky použiť, je potrebné poznať nasledujúce parametre:

- True positive (TP) - počet skutočne pozitívnych vzorkov
- True negative (TN) - počet skutočne negatívnych vzorkov
- False positive (FP) - počet falošne pozitívnych vzorkov
- False negative (FN) - počet falošne negatívnych vzorkov

Počet skutočne pozitívnych vzorkov je ten, ktoré systém označí ako pozitívne a skutočne sú pozitívne. Počet skutočne negatívnych vzorkov je ten, ktoré systém označí ako negatívne a v skutočnosti sú negatívne. Počet falošne pozitívnych vzorkov je ten, ktoré systém označí ako pozitívne a skutočne sú negatívne. A nakoniec počet falošne negatívnych vzorkov je ten, ktoré systém označí ako negatívne a skutočne sú pozitívne.

Senzitivita je teda schopnosť správne rozpoznať pacientov, ktorí naozaj majú chorobu. Čím vyššia je senzitivita, tým menej je falošne negatívnych výsledkov. V prípade parkinsonikov teda senzitivita je podiel osôb, ktoré boli testované s tými ktoré vyšli v teste ako správne označení parkinsonici. [11] Matematicky je to možné vyjadriť ako:

$$SEN = \frac{TP}{TP + FN} = \frac{TP}{\text{počet všetkých zdravých osôb}}$$

Špecificita je naopak schopnosť správne rozpoznať zdravého jedinca, ktorý je naozaj zdravý. Čím vyššia je špecificita, tým menej je falošne pozitívnych nálezov.

V prípade parkinsonikov teda špecificita je podiel osôb, ktoré boli testované s tými ktoré vyšli v teste ako správne označení zdravý jedinci.[11] Matematicky je to možné vyjadriť ako:

$$SPE = \frac{TN}{TN + FP} = \frac{TN}{\text{počet všetkých chorých osôb}}$$

Ďalšou nemenej dôležitou evaluačnou metrikou binárnej klasifikácie je **Presnosť** (accuracy). Tá určuje pomer presne určených osôb (či už parkinsonických pacientov alebo zdravých jedincov) ku počtu všetkých testovaných osôb. Čím vyššia je teda hodnota presnosti, tým väčší počet osôb bol správne identifikovaných. [11] Matematicky je to možné vyjadriť ako:

$$ACC = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} = \frac{TP + TN}{\text{počet všetkých testovaných osôb}}$$

Poslednou evaluačnou metrikou binárnej klasifikácie, ktorá bola využitá je MCC (Matthews correlation coefficient). Určuje mieru kvality binárnej klasifikácie. Je všeobecne považovaný za dobre vyvážený a táto metrika môže byť použitá aj v prípade, že klasifikačné triedy sú dosť rozdielnych veľkostí. Je v podstate koeficient korelácie medzi pozorovanými a predpokladanými hodnotami, vracia hodnotu medzi -1 až +1. Koeficient +1 predstavuje dokonalú predikciu, 0 znázorňuje predikciu, ktorá nebola lepšia ako náhodný predpoklad a -1 označuje celkový nesúhlas medzi predikovanými hodnotami a pozorovanými. [11] Matematicky je možné vyjadriť MCC ako:

$$MCC = \frac{TP \cdot TN - FP \cdot FN}{\sqrt{(TP + FP)(TP + FN)(TN + FP)(TN + FN)}}$$

6.2 Metriky odhadu progresie nemoci

V prípade, že je potrebné určiť progresiu nemoci sa už nejedná o binárnu klasifikáciu, nakoľko stupňov nemoci je viac ako len dva. V tejto práci bola vybraná stupnica hodnotenia parkinsonovej nemoci **UPDRS V**. Je to jedna z najpoužívanějších škál používaných pri klinických štúdiách parkinsonovej nemoci. Táto škála má 7 stupňov ako je možné sledovať v tabuľke. 6.1. Pri takejto klasifikácii je najvhodnejšie použiť metrika ako **MAE**, **MSE** a **EER**.

Stredná absolútna odchýlka (MAE) určuje priemer rozdielov medzi predikovanou a pozorovanou hodnotou UPDRS V. Matematicky je možné vyjadriť MAE takto:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n}$$

,kde n je počet subjektov, ktorí sa zúčastnili testu, Y_i sú pozorované hodnoty UPDRS V a X_i sú predikované hodnoty UPDRS V.

Tab. 6.1: Škála UPDRS V

stupeň	UPDRS V
1	Iba jednostranné zapojenie
1.5	Jednostranné a axiálne zapojenie
2	Obojstranné postihnutie bez narušenia rovnováhy
2.5	Mierne bilaterálne ochorenie
3	Mierne až stredne ťažké bilaterálne ochorenie
4	Závažné postihnutia; stále schopný chodiť alebo stáť bez cudzej pomoci
5	Vozičkar alebo pripútaný na lôžko

Stredná kvadratická odchýlka (MSE) určuje priemer rozdielov druhých mocnín medzi predikovanou a pozorovanou hodnotou UPDRS V. Matematický je možné vyjadriť MSE takto:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}$$

,kde n je počet subjektov, ktorí sa zúčastnili testu, Y_i sú pozorované hodnoty UPDRS V a X_i sú predikované hodnoty UPDRS V.

Estimation Error (EER) určuje chybu v percentách. Matematický je možné vyjadriť EER takto:

$$EER = \frac{MAE}{n} \cdot 100\%$$

,kde n počet stupňov UPDRS V.

6.3 Parametre písma

Ako už bolo spomenuté v predošlej kapitole, je vhodné rozdeliť parametre do štyroch skupín. **Priestorové**, **časové**, **kinematické** a **dynamické**. Každá skupina parametrov vplyva na rozdiel medzi parkinsonickým písmom a písmom zdravého jedinca inak, a preto boli skúmané osobitne, aby bolo možné pozorovať, ktoré parametre majú najväčšiu váhu pre minimalizáciu chyby. Na koniec každej úlohy boli ešte tieto parametre skúmané spoločne pre dosiahnutie čo najkvalitnejších výsledkov.

6.3.1 Priestorové parametre

Tieto parametre je možné taktiež nazývať statickými parametrami. Priestorové parametre určujú rozloženie písma v priestore. Sú to napríklad **výška**, **šírka** a **dĺžka** písma. Ako už bolo spomenuté v kapitole 3.3, tieto parametre by mali dokázať oddeliť zdravého jedinca od parkinsonika. Napríklad písmo parkinsonika je roztrasené a teda mal by prejsť väčšiu vzdialenosť ako písmo zdravého jedinca.

Počítanie **šírky**, respektíve **výšky** zachyteného signálu písma je v celku jednoduché. Stačí spočítať rozdiel medzi maximálnou a minimálnou hodnotou X-ovej súradnice u šírky, respektíve rozdiel Y-ových súradníc u výšky písma.

Počítanie **dĺžky** písma je trochu zložitejšie. Je potrebné použiť Pytagorovu vetu. Dĺžku je možné spočítať ako sumu dielčích dĺžok jednotlivých zachytených bodov. Ukážka výpočtu dĺžky písma vyzerá takto:

$$Dĺžka = \sum_{i=2}^n \sqrt{(X_i - X_{i-1})^2 + (Y_i - Y_{i-1})^2}$$

, kde X_i je X-ová súradnica písma v čase a Y_i je Y-ová súradnica v čase.

6.3.2 Časové parametre

Ako už z názvu vyplýva, tieto parametre sa zaoberajú časovou známku zaznamenaného písma. Pre účely tejto práce bol ako jediný parameter určený **celkový čas** písania jednotlivej úlohy. Ten sa dá vypočítať podobne jednoducho ako v predošlom prípade pri počítaní výšky respektíve šírky písma. Celkový čas písania je teda rozdiel prvej a poslednej hodnoty časovej známky, teda rozdiel času ukončenia úlohy a času začatia úlohy.

6.3.3 Kinematické parametre

Do tejto skupiny parametrov patrí hlavne **rýchlosť**, **zrýchlenie**, respektíve **švih**. Všetky tieto parametre by mali celkom dobre oddeliť parkinsonikov od zdravých jedincov, nakoľko pri roztrášenom písme parkinsonika, je väčší počet zmien rýchlostí, respektíve zrýchlení ako u zdravého jedinca.

Rýchlosť sa počíta už zo známeho parametra dĺžky písma, ktorý sa podelí časom. Zrýchlenie sa počíta jednoducho z rýchlosti tak, že zrýchlenie je derivácia rýchlosti. A nakoniec švih je deriváciou zrýchlenia.

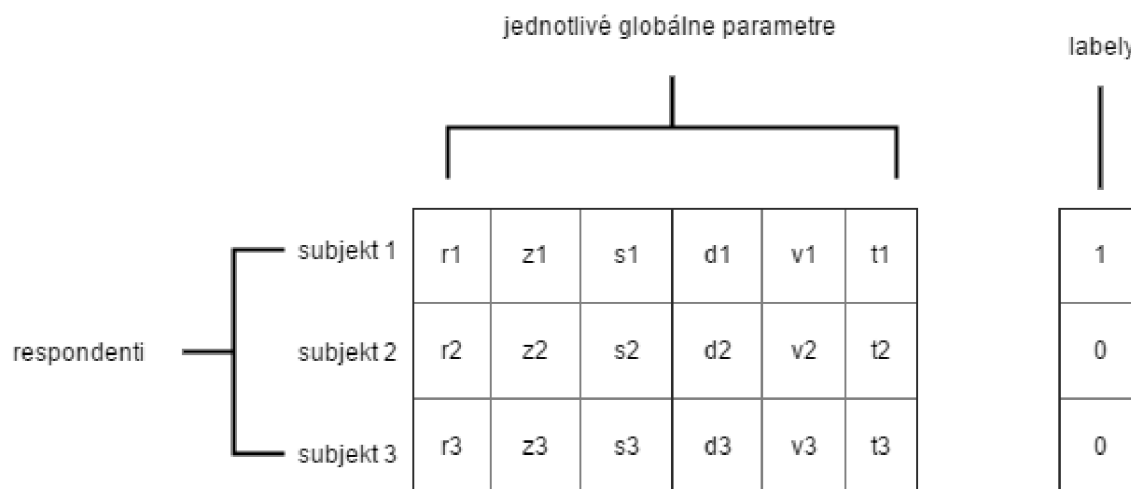
6.3.4 Dynamické parametre

Medzi dynamické parametre sa radí **tlak** pera na papier, **sklon** pera a **azimut**. Tieto parametre boli použité, nakoľko ich umožňuje merať tablet, ale neočakávali sa pri týchto parametroch výrazne úspešné výsledky.

U parametra tlak vzniká problém, že sa dá merať len pri pohybe na papieri a teda nie je ho možné samozrejme použiť pri in-air pohybe. Zatiaľčo sklon a azimut sa dá merať aj pri pohybe, kedy sa nedotýka pero papiera.

7 BINÁRNA KLASIFIKÁCIA PARKINSONICKEJ DISGRAFIE

Ku diagnóze parkinsonovej nemoci sa teda používa binárna klasifikácia. Aby bolo možné využiť binárnu klasifikáciu je potrebné mať maticu parametrov, kde v stĺpcoch budú jednotlivé parametre a v riadkoch budú jednotliví respondenti testu. Ďalej je potrebné mať stĺpcový vektor labelov, ktorý je naplnený číslami 1 a 0. Tieto čísla sú priradené jednotlivým riadkom podľa toho, či je respondent zdravý jedinec (0) alebo parkinsonik (1), tak ako je to znázornené na obrázku 7.1



Obr. 7.1: Ukážka matice parametrov a labelu naplneného binárnymi hodnotami zdravý jedinec(0), parkinsonik(1)

Na obrázku sú znázornené stĺpce matice ako jednotlivé parametre (rýchlosť, zrýchlenie, švih, dĺžka, výška, tlak). V reálnom meraní je týchto parametrov omnoho viac. Ako už bolo spomenuté v tejto práci bolo použitých 23 štatistických metód. Preto každý tento parameter ako napríklad rýchlosť bude mať 23 stĺpcov so skalárnymi hodnotami ako napríklad maximálna rýchlosť, minimálna, priemerná, ... Na obrázku 7.1 je taktiež ukážka stĺpcového vektora znázorňujúceho označenie jednotlivých respondentov testu. V tomto prípade prvý jednotlivec bol označený ako parkinsonik. Druhý a tretí subjekt sú označení ako zdraví jedinci.

Trénovanie a následné testovanie týchto parametrov je veľmi časovo náročné. V praxi sa používajú stovky až tisíce parametrov aby bolo možné dosiahnuť čo najkvalitnejšie výsledky. Nakoľko nie každý parameter dokáže rozdeliť parkinsonika od zdravého jedinca rovnako dobre, preto je vhodné použiť selektívnu metódu, ktorá usporiada tieto parametre od najrelevantnejšieho po najmenej relevantný. Pre potreby tejto práce bola použitá metóda **mRMR** (minimálna redundancia maximálna

relevantnosť). Táto metóda zoradí, respektíve preukladá, vektory parametrov v matici do takého poradia, že v lavo budú najviac podstatné stĺpce parametrov a čoraz vyššie číslo stĺpca v matici bude niesť parameter, ktorý bude menej podstatný (bude mať menšiu schopnosť odlíšiť parkinsonika od zdravého jedinca).

Trénovanie a následné testovanie systému prebieha nasledujúcim spôsobom:

1. Vyberie sa prvý stĺpec matice (nesie najrelevantnejší parameter, ktorý by mal mať najvyššiu rozpoznávaciu hodnotu) a následne sa pomocou tohoto parametra natrénuje a otestuje systém. V kapitole 6.1 boli vypísané evaluačné metriky binárnej klasifikácie. To o aký kvalitný parameter ide určuje teda najlepšie metrika MCC. Toto trénovanie prebieha opakovane, nakoľko pri trénovaní dochádza ku nežiadúcim odchýlkám je potrebné toto meranie zopakovať viac krát a ku následným hodnotám metrík pristupovať ako ku priemernej hodnote zo všetkých meraní. Priemerná hodnota MCC metriky sa potom uloží do pamäti a prechádza sa na druhý krok.
2. V druhom kroku sa vyberú prvé dva stĺpce matice (dva najrelevantnejšie parametre) a systém sa natrénuje a otestuje pomocou nich. Výsledná metrika MCC sa porovná z MCC z predošlého bodu a pokiaľ sa úspešnosť zvýši pokračuje sa opäť ďalej tak, že sa v každom ďalšom kroku bude systém trénovať a testovať na o jednom väčšom počte parametrov. Pokiaľ nebude splnená podmienka, že aktuálna metrika MCC je väčšia ako tá v predošlom kroku, prejde sa na tretí bod.
3. V predchodzom prípade bolo dosiahnuté lokálneho maxima MCC, teda po pridaní ďalšieho parametra sa nezdvihla hodnota metriky a preto je možné predpokladať, že bolo dosiahnuté najväčšej úspešnosti práve s týmito parametrami. Môže sa jednať však len o lokálne maximum, to znamená že po pridaní niekoľko ďalších parametrov začne opäť hodnota MCC rásť. Aby sa predišlo zaseknutiu na lokálnom maxime a bolo možné dosiahnuť globálne maximum a teda nájsť najlepšiu skladbu parametrov pri ktorej bude maximálne možné rozpoznať, či sa jedná o pacienta alebo zdravého jedinca, používa sa takzvané kľzavé okno. Toto okno bolo v práci nastavené na hodnotu 75. To znamená, že sa pridávajú parametre aj po čase, keď sa už metrika MCC nezvyšuje. A pokiaľ sa metrika nezvýši ani po pridaní 75 ďalších parametrov, cyklus sa zastaví a posledná najvyššia hodnota sa začne považovať za globálne maximum MCC.

Skladba parametrov, pri ktorej bolo vypočítané globálne maximum metriky MCC sa teda berie ako najlepšia, najkvalitnejšia a pri tejto skladbe sa okrem metriky MCC vypočítajú aj ostatné metriky z kapitoly 6.1. Okrem metriky Senzitivita, Špecificivita, ACC a MCC sa vypočítajú aj ich odchýlky aby bolo možné určiť s akou presnosťou systém funguje.

7.1 Výsledky tréovania a testovania

Postup tréovania a testovania bol popísaný v predošlej kapitole. Z každej skladby parametrov, ktoré boli určené na tréovanie respektíve testovanie, vznikne skupina 4 výsledných hodnôt (sensitivita, špecificita, MCC a ACC). Výsledky boli rozdelené do troch základných skupín. Či sa jedná o **pohyb pera na papieri** (on-surface) alebo je to výsledok z **pohybu pera nad papierom** (in-air). Tretia skupina výsledkov je zložená z parametrov oboch týchto skupín, teda **celkového pohybu pera** ako na papieri tak aj nad papierom.

V každej z týchto 3 základných skupín prebehlo tréovanie na 5 rozličných skupinách parametrov. V skupinách boli použité parametre:

1. len priestorové
2. len časové
3. len kinematické
4. len dynamické
5. všetky predošlé parametre dokopy

7.1.1 Pohyb pera na papieri

Výsledky tréovania pomocou parametrov, ktoré boli vyberané len v prípade keď sa pero dotýkalo papiera a teda dochádzalo ku písaniu sa nachádzajú v tabuľkách A.1, A.2, A.3, A.4 a A.5. Riadky tabuliek znázorňujú jednotlivé úlohy (1-9) z protokolu 2.1 a hodnoty v poslednom riadku sú tréované pomocou parametrov zo všetkých deviatich predošlých úloh. V stĺpcoch sa potom nachádzajú jednotlivé metriky (senzibilita, špecificita, ACC a MCC).

Výsledky v prvej tabuľke A.1 boli natréované pomocou **priestorových parametrov** (šírka, výška, dĺžka) 6.3.1. Ako je z tabuľky možné sledovať, najlepšie výsledky boli dosiahnuté pri druhej úlohe. Jedná sa o úlohu, kde je potrebné nakresliť 5 krát elipsu. V prípade tejto úlohy metrika MCC dosiahla hodnotu $0,585 \pm 0,918$. Parameter MCC je dôležitý pre určenie úspešnosti tréovania, ako moc bolo úspešné tréovanie a následne testovanie zobrazujú metriky $SEN = 0,792 \pm 0,459$, respektíve $SPE = 0,792 \pm 0,459$. Z týchto metrík je možné vidieť, že v oboch prípadoch či už ide o pacientov alebo zdravých jedincov bolo správne detekovaných 79,2 % jedincov. Z tejto tabuľky je ďalej patrné, že pri použití parametrov zo všetkých úloh (posledný riadok), boli dosiahnuté horšie výsledky ako pri použití parametrov len z druhej úlohy. Tento fakt môže byť spôsobený viacerými faktormi.

Za prvé nie vždy úplne najlepšie funguje funkcia mRMR, a teda mohlo dôjsť k nesprávnemu zoradeniu parametrov. Tomuto sa dá predísť nastavením veľkosti plávajúceho okna aby hodnota MCC neuviazla v lokálnom maxime. Avšak aby bolo

trénovanie prijateľne časovo náročné, bola zvolená veľkosť okna na 75 parametrov. Veľkosť matice, v ktorej sa nachádzali parametre zo všetkých úloh má rozmer 53x280. To znamená, že na tréning sa podieľalo 53 jedincov (je to počet jedincov z databázy PaHaW, ktorý mali dokončené všetky úlohy) a bolo použitých 280 parametrov. To znamená, že ak mRMR neurčí z dostatočnou presnosťou poradie parametrov, je možné, že pri plávajúcom okne o veľkosti 75 parametrov môže dôjsť ku zaseknutiu na lokálnom maxime.

Za druhé, nepresnosť v meraní môže byť spôsobená veľkými odchýlkami. Aby hodnoty metrík čo najviac zodpovedali priemernej hodnote je potrebné toto meranie niekoľkokrát zopakovať. V práci dochádzalo ku opakovaniu merania metrík 5 krát. Je možné, že pri vyššom počte opakovaní by sa hodnota MCC u posledného riadka zvýšila minimálne na hodnotu, aká bola nameraná pri druhej úlohe. Opakovanie merania však bolo z dôvodu náročnosti výpočtov stanovené na päť.

V ďalšej tabuľke A.2 dochádzalo ku tréningu pomocou **časových parametrov**, konkrétne pomocou parametra celkový čas písania úlohy 6.3.2. Opäť ako je možné sledovať z tabuľky, najlepšie výsledky boli dosiahnuté pri druhej úlohe. V prípade tejto úlohy sa u každého subjektu pozoroval čas kreslenia každej elipsy a následne z týchto 5 časových hodnôt sa pomocou štatistických metód vytvorilo 23 skalárnych parametrov (počet štatistických metód v práci bol 23). Hodnoty metrík ktoré boli pri časových parametroch dosiahnuté sú: $MCC = 0,480 \pm 0,909$, $SEN = 0,740 \pm 0,454$, $SPE = 0,740 \pm 0,454$. Z metrík je teda možné sledovať, že presnosť správneho detekovania subjektu sa znížila, oproti úspešnosti pri tréningu pomocou priestorových parametrov, na hodnotu 74%. Je teda patrné, že pre detekciu parkinsonika je lepšie použiť priestorové parametra.

V prípade tréningu pomocou časových parametrov je však patrné, že pri použití parametrov zo všetkých úloh (posledný riadok) sa zvýšila presnosť na 76,6%. To pravdepodobne znamená, že vyhľadávanie najlepšej skladby parametrov neuviazlo v lokálnom extréme.

V tretej tabuľke A.3 dochádzalo ku tréningu pomocou **kinematických parametrov** 6.3.3. Z tabuľky je zrejmé, že žiadna z deviatich úloh nebola extrémne úspešná pre túto skladbu parametrov, avšak pri spojení všetkých parametrov zo všetkých úloh (posledný riadok) boli dosiahnuté celkom dobré výsledky. Pri metrike $MCC = 0,489 \pm 0,823$ boli subjekty správne detekované v 74,5% prípadoch.

V štvrtej tabuľke A.4 dochádzalo ku tréningu pomocou **dynamických parametrov** 6.3.4. Opäť je možné sledovať, že pomocou týchto parametrov nebolo dosiahnutých takých dobrých výsledkov, ako pri použití priestorových parametrov. Opäť boli dosiahnuté najlepšie výsledky pri spojení parametrov zo všetkých úloh. Pri metrike $MCC = 0,419 \pm 1,085$ boli subjekty správne detekované v 70,9% prípadoch.

V poslednej tabuľke A.5 boli pre tréning použité **všetky predošlé para-**

metre (priestorové, časové, kinematické aj dynamické). V tomto prípade je opäť vysoko pravdepodobné, že meranie sa zaseklo v lokálnom maxime, nakoľko ako bolo už spomenuté plávacie okno bolo nastavené na 75 parametrov a celkový počet parametrov, pomocou ktorých dochádzalo ku testovaniu bol až 2916. V tomto prípade mohlo dôjsť k jednoduchému zaseknutiu na lokálnom maxime. Aj napriek tomu pri použití všetkých možných parametrov zo všetkých deviatich úloh boli dosiahnuté výsledky pri $MCC = 0,580 \pm 0,913$ s presnosťou 79 %.

7.1.2 Pohyb pera vo vzduchu

Výsledky v tejto kategórii pochádzajú z parametrov, ktoré boli vybrané len z in-air ťahu, teda z momentu, kedy sa pero nedotýkalo papiera. Tabuľky A.6, A.7, A.8, A.9 a A.10 znázorňujú jednotlivé výsledky pri použití parametrov len z určitej kategórie. Riadky opäť znázorňujú jednotlivé úlohy. Ako je možné z tabuliek pozorovať, pri meraní ťahu vo vzduchu museli byť vynechané úlohy číslo 1, 2 a 8. V týchto úlohách prioritne nedochádzalo ku pohybu pera nad papierom a preto boli vylúčené z testovania. V stĺpcoch sa nachádzajú opäť metriky ako už bolo napísané v predošlej kapitole. V týchto meraniach sa predpokladali výraznejšie odchýlky medzi zdravými jedincami a parkinsonikmi, nakoľko parkinsonik sa pri písaní sústreďuje na pohyb pera, aby bolo písmo čo najčitateľnejšie, zatiaľčo pri pohybe pera medzi jednotlivými ťahmi premýšľala nad ďalším ťahom, a preto by mali byť tieto pohyby dlhšie v porovnaní so zdravými jedincami.

V tabuľke A.6 sa teda nachádzajú výsledky z merania, pri ktorom boli použité len **priestorové parametre**. Merala sa teda celková výška a šírka pohybu vo vzduchu ako aj celková dĺžka tohoto ohybu. Najúspešnejšie a teda najväčšia presnosť bola dosiahnutá pri použití parametrov zo všetkých meraných úloh. V tomto prípade bolo dosiahnuté správne detekovanie subjektu pri 70,1 % prípadoch. Pri tejto presnosti bola nameraná metrika $MCC = 0,403 \pm 0,597$. Na úspešnosť tohoto výsledku mali najväčší vplyv parametre z úlohy číslo 4, kde dochádzalo ku správnej detekcii subjektov v 66,8 % prípadov.

V ďalšom meraní boli použité len **časové parametre**. Pre potreby tejto práce bol zvolený parameter celkového času vykonávania pohybu vo vzduchu pri jednotlivých úlohách. Výsledky sú znázornené v tabuľke A.7. Najlepšia detekcia či už zdravých jedincov alebo parkinsonikov, bola dosiahnutá pri úlohe 9. V tejto úlohe mali respondenti za úlohu napísať celú vetu. A nakoľko parkinsonici, často potrebovali prestávku v písaní aj počas písania jednotlivého slova, urobili väčšie množstvo pohybu vo vzduchu ako zdravý jedinec a teda aj strávili týmto pohybom viacej času. Pri úlohe číslo 9 bola teda dosiahnutá správna detekcia s presnosťou 61,3 %. V tomto prípade bola presnosť opäť vyššia pri úlohe číslo 9 ako pri použití všetkých paramet-

rov zo všetkých úloh. Jednou z príčin opäť môže byť nepresné vybratie parametrov pomocou metódy mRMR ako aj uviaznutie merania v lokálnom maxime pri veľkom počte parametrov.

Pri použití len **kinematických parametrov**, ako je rýchlosť, zrýchlenie a švih, boli najlepšie výsledky dosiahnuté pri tréovaní pomocou parametrov zo všetkých úloh. V tomto prípade bola dosiahnutá správna detekcia s presnosťou 68,5 %, ako je možné sledovať z tabuľky A.8. Na tomto výsledku sa podielali parametre zo všetkých úloh, nakoľko výsledky jednotlivých úloh sú veľmi podobné. Pre dosiahnutie výsledku 68,5 % bolo použitých 121 parametrov.

V ďalšom meraní boli použité len **dynamické parametre**. V tejto práci boli vybrané parametre azimut a sklon pera. Parameter tlak nemohol byť použitý nakoľko pero sa nachádzalo vo vzduchu. Výsledky z tohoto merania sa nachádzajú v tabuľke A.9. Opäť boli najlepšie výsledky dosiahnuté pri použití parametrov zo všetkých úloh. Detekcia bola zaznamenaná s presnosťou 78,3 % a bolo použitých 30 parametrov.

V poslednej tabuľke A.10 boli použité **všetky parametre**. Priestorové, časové, dynamické ako aj kinematické. Opäť boli najvyššie výsledky dosiahnuté pri použití parametrov zo všetkých úloh. V tomto prípade bolo testovanie úspešné v 70,9 % prípadoch. Táto úspešnosť je nižšia ako pri použití len dynamických parametrov avšak v tomto prípade to môže byť spôsobené uviaznutím merania v lokálnom maxime, nakoľko pre tréovanie bolo použitých 121 parametrov z celkového počtu 1800.

Pri všetkých meraniach pohybu pera vo vzduchu bolo použitých 58 respondentov z databázy PaHaW, ktorí korektne vyplnili všetky potrebné úlohy.

7.1.3 Celkový pohyb pera

V tejto kapitole budú skúmané výsledky, ktoré vznikli pomocou tréovania parametrov ako aj z pohybu pera na papieri tak aj z pohybu pera vo vzduchu. Z programátorského hľadiska k tomu dochádzalo zlúčením všetkých parametrov zo sekcie 7.1.1 s parametrami zo sekcie 7.1.2. Vznikla jedná matica kde v stĺpcoch boli všetky parametre a v riadkoch boli respondenti, ktorí mali korektne vyplnené všetky úlohy pre merania ako pohybu vo vzduchu tak aj pohybu pera na papieri. Táto matica potom pomocou metódy mRMR zoradila všetky parametre podľa ich váhy.

V tabuľke A.11 sú zobrazené výsledky, ktoré vznikli pomocou tréovania **priestorových parametrov**. Najlepšie výsledky boli dosiahnuté pri použití parametrov zo všetkých úloh a to s presnosťou správne detekcie 75,4 %. Matthew korelačný koeficient dosiahol v tomto prípade hodnotu $0,508 \pm 0,841$ a bolo použitých 12 parametrov.

V ďalšej tabuľke A.12 boli pre trénovanie použité len **parametre časové**. Opäť boli spojené časové parametre z pohybu vo vzduchu s parametrami ťahu pera na papieri. Najlepšie výsledky boli dosiahnuté pri použití parametrov zo všetkých úloh, kde $MCC = 0,505 \pm 0,505$ a presnosť správnej detekcie sa pohybovala na hodnote 75,3 %.

Pri použití len **kinematických parametrov** z oboch skupín pohybu boli dosiahnuté výsledky aké sú znázornené v tabuľke A.13. Opäť pri použití parametrov zo všetkých úloh boli dosiahnuté najlepšie výsledky a to $MCC = 0,512 \pm 0,512$ a presnosť určenia správnej detekcie bola 75,6 %. Najväčší pozitívny vplyv na tento výsledok mali parametre z úlohy 9, kde bolo potrebné nepísať vetu. Pri použití len týchto parametrov boli dosiahnuté presnosti detekcie 70,2 %. Pre dosiahnutie správnej detekcie na úrovni 75,6 % bolo potrebných 7 parametrov.

V tabuľke A.14 sú zobrazené výsledky pri použití len **dynamických parametrov** nameraných ako aj pri pohybe pera na papieri tak aj pri pohybe pera vo vzduchu. Najlepšie výsledky s presnosťou správnej detekcie boli zistené pomocou parametrov zo všetkých úloh s hodnotou $MCC = 0,427 \pm 0,760$, $SEN = SPE = 0,713 \pm 0,380$. Pri týchto výsledkoch bolo použitých 3 parametrov.

V poslednej tabuľke A.15 boli použité **všetky možné parametre** a výsledky aj napriek tomu neprekročili hranicu 80 %. Pri použití všetkých parametrov boli zaznamenané výsledky správnej detekcie s presnosťou 78,2 %. Z najväčšou pravdepodobnosť došlo ku nesprávneému určaniu poradia parametrov pomocou metódy mRMR a následnému uviaznutiu v lokálnom maxime, nakoľko pri použití menšieho množstva tých istých parametrov bolo v tabuľke A.1 dosiahnutej vyššej presnosti. V tomto prípade pri použití všetkých parametrov sa výsledná hodnota trénovala na 9 parametroch z celkového počtu 4716 parametrov.

8 ODHAD PROGRESIE ONEMOCNENIA

V tejto kapitole budú diskutované výsledky určovania progresie onemocnenia. Nakoľko pri sledovaní progresie onemocnenia je viac možných stupňov ako dva, nie je možné použiť binárnu klasifikáciu. Opäť ako v predošlej kapitole je potrebné si pre tréovanie a následne testovanie pripraviť maticu parametrov, kde v stĺpcoch sa budú nachádzať jednotlivé parametre a riadky budú znázorňovať jednotlivých respondentov, tak ako je to možné sledovať na obrázku 7.1. S dvomi podstatnými rozdielmi. Samozrejme respondenti budú vybraní len pacienti s Parkinsonovou nemocou, aby bolo možné sledovať progresiu onemocnenia. Druhý podstatnejší rozdiel je ten, že stĺpcový vektor, ktorý sa pri binárnej klasifikácii plnil 1 a 0, teraz je potrebné naplniť hodnotami stupňa onemocnenia jednotlivých pacientov. Nakoľko v práci bola zvolená stupnica UPDRS V, v stĺpcový vektor sa naplní hodnotami od 1 po 5.

Pre lepšiu prácu s parametrami bolo opäť, ako v prípade binárnej klasifikácie, použitých 23 štatistických metód. Aj v prípade určovania progresie onemocnenia bola použitá selektívna metóda **mRMR**, ktorá usporiadala parametre od najrelevantnejšieho po najmenej relevantný. Tréovanie a potom následne testovanie systému prebieha rovnakým spôsobom ako je to popísané v kapitole 7 u binárnej klasifikácie s jediným rozdielom, že systém sa neladí pomocou metriky MCC ale u progresie onemocnenia sa systém ladí pomocou metriky EER (Estimation Error). Metrika EER sa teda berie ako najpresnejšia a vodiaca metrika pri určení presnosti systému na sledovanie progresie onemocnenia. Okrem tejto metriky v práci bola vypočítaná ešte metrika MAE a MSE tak ako je ukázané v kapitole 6.2.

8.1 Výsledky tréovania a testovania

Výsledky tréovania a testovania systému na určovanie progresie onemocnenia boli rozdelené do rovnakých skupín ako u binárnej klasifikácie. Opäť boli výsledky rozdelené do troch skupín. V prvej bol skúmaný pohyb pri ktorom bolo pero v kontakte s papierom, v druhej skupine sa jednalo o pohyb pera vo vzduchu a v tretej skupine išlo o celkový pohyb pera. Opäť každá z týchto kategórií parametrov bola tréovaná na rozličných skupinách parametrov (priestorové, časové, kinematické, dynamické a všetky predošle parametre dokopy). Jediný rozdiel oproti binárnej klasifikácii je v jednotlivých metrikách, ktoré sa zobrazujú vo výsledných tabuľkách. V tomto prípade teda výslednými metrikami budú **MAE**, **MSE** a **EER**.

8.1.1 Pohyb pera na papieri

Výsledky meraní systému pomocou parametrov z pohybu, kedy bolo pero v kontakte s papierom sa nachádzajú v tabuľkách B.1, B.2, B.3, B.4 a B.5. Tieto výsledky budú skúmané hlavne podľa parametra EER. Táto metrika určuje z akou chybou bol správne určený stupeň onemocnenia pacienta.

V tabuľke B.1 boli použité **priestorové parametre**. Pri použití tejto skladby parametrov bola najmenšia chyba určenia stupňa onemocnenia u prvej úlohy a to $EER = 0,179 \pm 0,248$. Pri použití všetkých parametrov bola dosiahnutá chyba 24,9 %. Tento problém mohol nastať ako už bolo spomenuté zlou selektáciou mRMR metódy a následným uviaznutím v lokálnom maxime. Pri zisťovaní progresie onemocnenia bolo nastavené plávajúce okno na hodnotu 100. V prípade priestorových parametrov zo všetkých úloh bol počet parametrov 291. Pre výsledky merania bolo použitých prvých 209 parametrov.

V ďalšej tabuľke B.2 boli použité len **časové parametre**. Z tabuľky je zrejmé, že najmenšia chyba bola dosiahnutá pri použití parametrov zo piatej úlohy ($EER = 0,186 \pm 0,189$). Opäť je chyba o niečo vyššia pri použití všetkých parametrov a to 22,9 %.

Pri použití len **kinematických parametrov** boli najlepšie výsledky dosiahnuté pri použití parametrov z piatej úlohy B.3. Celková dosiahnutá chyba bola 17,1 %.

V prípade použitia len **dynamických parametrov** bola najmešia chyba zaznamenaná pri použití parametrov zo všetkých úloh ($EER = 0,217 \pm 0,217$). Výsledky tréovania a testovania pomocou dynamických parametrov sa nachádzajú v tabuľke B.4.

V poslednej tabuľke B.5 boli pre tréovanie a testovanie systému použité **všetky predošlé parametre**. Najlepšie výsledky boli dosiahnuté pri použití parametrov zo všetkých deviatich úloh a to $EER = 0,197 \pm 0,272$. Chyba pod 20 % je prijateľná a bola zameraná pri použití celkovo 15 najrelevantnejších parametrov. Celkový počet parametrov, ktoré sa museli zoradiť pomocou metódy mRMR bol 2916.

8.1.2 Pohyb pera vo vzduchu

Výsledky tréovania systému pomocou parametrov, kedy bolo pero vo vzduchu a teda hrot pera sa nedotýkal papiera, sa nachádzajú v tabuľkách B.6, B.7, B.8, B.9 a B.10. Opäť v týchto tabuľkách bude porovnávaná metrika EER.

Pri použití **priestorových parametrov**, bola dosiahnutá chyba $EER = 0,185 \pm 0,232$ B.6. Táto najmenšia chyba bola nameraná pri použití priestorových parametrov z úlohy 4. Ako je možné sledovať chyba je menšia ako pri použití priestorových parametrov pri skúmaní pohybu pera na papieri. To znamená, že aj in-air pohyb má veľkú váhu pri skúmaní progresie parkinsonovej nemoci.

V ďalšej tabuľke B.7 bol systém testovaný pomocou **časových parametrov**. Pomocou týchto parametrov bola nameraná ešte menšia chyba ako v predošlej tabuľke. Najmenšia chyba bola zaznamenaná v úlohe 9 a to $EER = 0,156 \pm 0,157$. Chyba pod 16 % je veľmi dobrým výsledkom a opäť to potvrdzuje dôležitosť skúmania pohybu pera nad papierom.

V prípade, keď boli na tréningové použitie len **kinematické parametre** bola najnižšia chyba zaznamenaná pri úlohe číslo 3, ako je možné sledovať z tabuľky B.8. Hodnota metriky $EER = 0,223 \pm 0,337$ ukazuje, že kinematické parametre nemajú až tak dôležitý vplyv na skúmanie in-air pohybu ako napríklad časové, či priestorové.

Poslednou skupinou parametrov sú **dynamické parametre**. Výsledky tréningovania podľa týchto parametrov sú zobrazené v tabuľke B.9. Najlepšie výsledky boli dosiahnuté pri úlohe číslo 9 a to 21,2 % ($EER = 0,212 \pm 0,235$).

V nasledujúcej tabuľke B.10 sa nachádzajú výsledky z merania pomocou **všetkých skupín parametrov**. Najlepší výsledok bol opäť dosiahnutý pri úlohe číslo 9 a to $EER = 0,217 \pm 0,328$. Pre dosiahnutie tohoto výsledku boli použité len prvé dva najrelevantnejšie parametre.

8.1.3 Celkový pohyb pera

V posledných piatich tabuľkách B.11, B.12, B.13, B.14 a B.15, sú zobrazené výsledky získané pomocou parametrov nameraných ako aj pri pohybe pera nad papierom tak aj pri pohybe pera na papieri. Pri správnom fungovaní metódy mRMR a v prípade, že meranie neuviazne v lokálnom maxime, by mali byť chyby v týchto tabuľkách nižšie ako v predošlých.

V prvej tabuľke, kde boli skúmané pri celkovom pohybe pera **priestorové parametre** B.11, boli dosiahnuté najlepšie výsledky pri úlohe číslo 4. Nameraná chyba bola $EER = 0,206 \pm 0,189$.

Pri použití len **časových parametrov** bola najnižšia chyba dosiahnutá pri úlohe číslo 9, ako je možné pozorovať z tabuľky B.12. V tomto prípade sa potvrdilo, že spojením merania pohybu na papieri s pohybom keď je pero vo vzduchu, sú výsledky ešte lepšie a chyba sa nepatrne zmenšila ($EER = 0,152 \pm 0,140$).

V tabuľke B.13 sú výsledky, ktoré boli namerané pri použití len **kinematických parametrov**. Najlepšie výsledky a najnižšia chyba bola nameraná pri použití parametrov zo všetkých úloh a to $EER = 0,196 \pm 0,288$.

V tabuľke B.14 sú zobrazené výsledky namerané len pomocou dynamických parametrov. Najnižšia chyba bola zaznamenaná opäť pri použití parametrov zo všetkých úloh ($EER = 0,214 \pm 0,183$).

V poslednej tabuľke B.15 sú použité pre tréningové použitie **všetky možné parametre**. Celkový počet parametrov bol teda 4716 a pre získanie čo najlepšieho výsledku bolo

potrebné využiť prvých 32 najrelevantnejších parametrov. Najlepší výsledok v tomto prípade bola zaznamenaný pri úlohe číslo 5 a to $EER = 0,193 \pm 0,207$.

9 ZÁVER

V práci sa rieši problematika parkinsonickej dysgrafie. Na začiatku je poukázané prečo práve parkinsonická dysgrafia je dôležitá pri skúmaní Parkinsonovej nemoci a je opísaných pár štúdií, ktoré potvrdzujú túto ideu.

Prvým cieľom práce bolo poukázať na dôležitosť skúmania parametrov parkinsonickej dysgrafie, čo sa podarilo ukázať v niekoľkých článkoch, ktoré skúmali parkinsonickú dysgrafiú a dokázali, že určité parametre majú dostatočne veľký vplyv na určovanie Parkinsonovej nemoci z písma pacientov.

Ďalším cieľom bolo nájsť parametre, ktoré by mohli odlíšiť zdravého jedinca od pacienta. V práci boli vybrané 4 kategórie parametrov. Priestorové (šírka, výška, dĺžka), časové (celkový čas ťahu), kinematické (rýchlosť, zrýchlenie, švih) a dynamické (tlak, sklon, azimut). Pomocou týchto parametrov bolo skúmané, či jednotlivé písma patria parkinsonikovi alebo zdravému jedincovi. Ďalej boli tieto parametre skúmané v troch rovinách. V prvej sa parametre skúmali len pri pohybe pera na papieri, v ďalšom prípade šlo o pohyb pera nad papierom a v poslednom prípade boli parametre skúmané pre celkový pohyb.

Hlavným cieľom práce bolo navrhnúť a vytvoriť systém parametrizácie parkinsonickej dysgrafie. V práci bol vytvorený systém, ktorý dokáže zakategorizovať písmo, či sa jedná o parkinsonika alebo zdravého jedinca. Tento systém dokáže taktiež odhadnúť progresiu onemocnenia podľa škály UPDRS V.

Výsledkom práce je teda 30 tabuliek, kde sa nachádzajú jednotlivé výsledky úspešnosti natrénovania a otestovania systému, pomocou jednotlivých kategórií parametrov, ako aj pre určitý pohyb pera. Pri binárnej klasifikácii parkinsonovej nemoci bol zaznamenaný, pri tréovaní systému pomocou priestorových parametrov, najlepší výsledok. Parkinsonici, ako aj zdravý jedinca boli správne zakategorizovaní v 79,2 % prípadoch. Naopak pri určovaní progresie onemocnenia boli najlepšie výsledky zaznamenané pomocou časových parametrov pri skúmaní celkového pohybu pera. V tomto prípade bola chyba určenia progresie onemocnenia na úrovni 15,2 %. Výrazne sa na tom podieľal aj in-air pohyb, nakoľko pri skúmaní len pohybu pera nad papierom a použitím časových parametrov bola dosiahnutá chyba určenia progresie 15,6 %.

Práca by sa dala rozšíriť použitím viacerých selektívnych metód ako je mRMR. Pri skúmaní inej metódy by mohli byť dosiahnuté lepšie výsledky. Ďalej by sa pri meraní dalo použiť viac parametrov, ktoré by rozlíšili zdravého jedinca od pacienta. Obzvlášť pri skupine časových parametrov by sa dal skúmať každý ťah samostatne. V neposlednom rade by lepším výsledkom pomohla väčšia databáza písom, ktorá by presnejšie zachytávala rozdiely medzi parkinsonikmi a zdravými jedincami.

LITERATÚRA

- [1] BACHLIN, M.; PLOTNIK, M.; ROGGEN, D.; MAIDAN, I.; HAUSDORFF, J.M; GILADI, N.; TROSTER, G.; RŮŽIČKA, E. *Wearable Assistant for Parkinson's Disease Patients With the Freezing of Gait Symptom*. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2010, č. 14, s. 436-446, ISSN 1089-7771.
- [2] BROEDER, S.; NACKAERTS, E.; NIEUWBOER, A.; SMITS-ENGELSMAN, B.C.M.; SWINNEN, S.P.; HEREMANS, E. *The effects of dual tasking on handwriting in patients with Parkinson's disease*. Neuroscience, 2014, č. 263, s. 193-202, ISSN 03064522.
- [3] Dr CHAUDHURI, K. R.; HEALY, D. G; Schapira, A. HV. *Non-motor symptoms of Parkinson's disease: diagnosis and management* The Lancet Neurology, 2006, č. 5, s. 235–245
- [4] DROTÁR, P.; MEKYSKA, J.; REKTOROVÁ, I.; et al. *Analysis of in-air movement in handwriting: A novel marker for Parkinson's disease* Computer Methods and Programs in Biomedicine. IEEE, 2014, č. 117, s. 405-411. ISSN 01692607.
- [5] GEMAN, O.; COSTIN, H.; VERHAGEN, L.; et al. *Automatic Assessing of Tremor Severity Using Nonlinear Dynamics, Artificial Neural Networks and Neuro-Fuzzy Classifier*. Advances in Electrical and Computer Engineering. IEEE, 2014, č. 14, s. 133-138. ISSN 1582-7445.
- [6] HARIHARAN, M.; POLAT, K.; SINDHU, R.; SPIELMAN, J.; RAMIG, L.O. *New hybrid intelligent system for accurate detection of Parkinson's disease*. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2014, č. 113, s. 904-913. ISSN 01692607.
- [7] HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R.; FRIEDMAN, J. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction* Springer, New York, 2009, 2. edícia
- [8] JOVANOVIĆ, E.; WANG, E.; VERHAGEN, L.; et al. *DeFOG — A real time system for detection and unfreezing of gait of Parkinson's patients*. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2009, č. 110, s. 5151-5154, ISSN 01692607.

- [9] KIM, Eun-Joo; LEE, B. H.; PARK, K. Ch.; LEE, W. J; Duk L. NA. *Micrographia on free writing versus copying tasks in idiopathic Parkinson's disease*. Parkinsonism. 2005, č. 11, s. 57-63, ISSN 13538020.
- [10] LETANNEUX, A.; DANNA, J.; VELAY, J.-L.; VIALLET, F; *From micrographia to Parkinson's disease dysgraphia*. *Mov Disord*. 2014 Dostupné z URL: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mds.25990/full>>.
- [11] LI, A.; XUE, Y.; et al. *Prediction of N-acetylation on internal lysines implemented in Bayesian Discriminant Method*
- [12] MASAROVÁ, L.; DROTÁR, P.; MEKYSKA, J.; SMÉKAL, Z.; REKTOROVÁ, I. *Hodnocení písma u pacientu s Parkinsonovou nemocí*. Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie, 2014, roč. 2014, č. 4, s. 456-462. ISSN: 1210- 7859.
- [13] MCLENNAN, JE.; NAKANO, K; TYLER, HR; SCHWAB, RS *Micrographia in Parkinson's disease*. Journal of the Neurological Sciences, 1972, č.15, s. 141–152
- [14] MOUSTAFA, A. A.; CHAKRAVARTHY, S.; PHILLIPS, J. R.; GUPTA, A.; KERI, S.; POLNER, B.; JAHANSHAHI, M. *Motor symptoms in Parkinson's disease : a unified framework*. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 2016, č. 68, s. 727–740
- [15] PIROOZANIA, M.; YANG, J. Y.; YANG, M. Q.; et al. *A comparative study of different machine learning methods on microarray gene expression data* BMC Genomics. IEEE, 2008, č. 9, s. 13. ISSN 1471-2164.
- [16] RIPOLITI, E.; TZALLAS, A. T.; TSIPOURAS, M. G.; et al. *Automatic detection of freezing of gait events in patients with Parkinson's disease*. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2013, č 110, s. 12-26, ISSN 01692607.
- [17] ROSENBLUM, S.; SAMUEL, M.; ZLOTNIK, S; et al. *Handwriting as an objective tool for Parkinson's disease diagnosis* 2013, č. 260, s. 2357-2361, ISSN 0340-5354.
- [18] RUSZ, J.; ČMEJLA, R.; RŮŽIČKOVÁ, H.; KLEMPÍŘ, J.; MAJEROVÁ, V.; PICMAUSOVÁ, J.; ROTH, J.; RŮŽIČKA, E. *Acoustic assessment of voice and speech disorders in Parkinson's disease through quick vocal test* Movement Disorders, 2011, č. 26, s. 1951-1952, ISSN 08853185.
- [19] SESA-NOGUERAS, E.; FAUNDEZ-ZANUY, M.; MEKYSKA, J. *An information analysis of in-air and on-surface trajectories in online handwriting* Cognitive Computation, 2012, č. 4, s. 195-205, ISSN 1866-9956.

- [20] SMITS, E. J.; TOLONEN, A. J.; CLUITMANS, L.; et al. *Standardized Handwriting to Assess Bradykinesia, Micrographia and Tremor in Parkinson's Disease* PLoS ONE. IEEE, 2014, č. 9, ISSN 1932-6203.
- [21] SUN, T.; WANG, J.; LI, X.; et al. *Comparative evaluation of support vector machines for computer aided diagnosis of lung cancer in CT based on a multi-dimensional data set* Computer Methods and Programs in Biomedicine. IEEE, 2013, č. 111, s. 519-524. ISSN 01692607.
- [22] SUYKENS, J. A. K.; VANDEWALLE, J. *Least squares support vector machine classifiers* Neural Process. Lett., 1999, s. 293–300
- [23] TEULINGS, H.; STELMACH, G. E. *Control of stroke size, peak acceleration, and stroke duration in Parkinsonian handwriting.* Human Movement Science. 1991, č. 10, s. 315-334, ISSN 01679457.
- [24] THOMASSEN, AJWM; Van GALEN GP; KEUSS, PJG. *Motor aspects of handwriting: Approaches to movement in graphic behavior.* Amsterdam: North Holland; 1984.
- [25] TSANAS, A.; LITTLE, M. A.; MCSHARRY, P. E.; SPIELMAN, J.; RAMIG, L. O. *Novel Speech Signal Processing Algorithms for High-Accuracy Classification of Parkinson's Disease* IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2012, č. 59, s. 1264-1271. ISSN 0018-9294.
- [26] VAN GEMMERT; AREND, W.A.; TEULINGS, H; STELMACH, G. E. *Parkinsonian patients reduce their stroke size with increased processing demands.* Brain and Cognition. 2001, č. 47, s. 504-512, ISSN 02782626.
- [27] VAN GEMMERT; AREND, W.A.; TEULINGS, H; STELMACH, G. E. *The influence of mental and motor load on handwriting movements in Parkinsonian patients.* Acta Psychologica. 1998, č. 100, s. 161-175, ISSN 00016918.
- [28] VAPNIK, V. *Statistical Learning Theory* John Willey & Sons, London, 1998, 1. edicia
- [29] WILSON, SK.; EDIN, M.D. *On some disorder of motility and of muscle tone with special reference to the corpus.* The Lancet, 1925, č. 206, s. 268-276
- [30] ZILIOOTTO, A.; , CERSOSIMO, M. G.; MICHELI, F. E.; et al. *Handwriting Rehabilitation in Parkinson Disease: A Pilot Study.* Annals of Rehabilitation Medicine. IEEE, 2015, č. 39, s. 586-, ISSN 2234-0645.

ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

ACC	Matthewov korelačný koeficient
EER	estimation error
in-air	pohyb pera vo vzduchu, pohyb medzi dvomi ťahmi
MAE	stredná absolútna chyba
MCC	Matthewov korelačný koeficient
mRMR	minimálna redundancia maximálna relevantnosť
MSE	stredná kvadratická chyba
PaHaW	databáza písíem parkinsoníkov a zdravých jedíncov zaznamenaná elektrónickým tabletom
SEN	sensitivita
SPE	špecificita
UPDRSV	stupnica hodnotenia parkinsonovej nemoci

ZOZNAM PRÍLOH

A	Tabuľky výsledkov binárnej klasifikácie	57
B	Tabuľky výsledkov odhadov progresie onemocnenia	63
C	Obsah priloženého CD	69

A TABULKY VÝSLEDKOV BINÁRNEJ KLASIFIKÁCIE

Tab. A.1: Pero na papieri, priestorové parametre: výška, šírka, dĺžka

č. úlohy	SEN	SPE	ACC	MCC
1	0,532 ± 0,390	0,532 ± 0,390	0,532 ± 0,390	0,065 ± 0,779
2	0,792 ± 0,459	0,792 ± 0,459	0,792 ± 0,459	0,585 ± 0,918
3	0,645 ± 0,502	0,645 ± 0,502	0,645 ± 0,502	0,290 ± 1,004
4	0,597 ± 0,260	0,597 ± 0,260	0,597 ± 0,260	0,194 ± 0,520
5	0,572 ± 0,447	0,572 ± 0,447	0,572 ± 0,447	0,144 ± 0,894
6	0,576 ± 0,424	0,576 ± 0,424	0,576 ± 0,424	0,151 ± 0,849
7	0,587 ± 0,301	0,587 ± 0,301	0,587 ± 0,301	0,174 ± 0,603
8	0,531 ± 0,245	0,531 ± 0,245	0,531 ± 0,245	0,061 ± 0,490
9	0,599 ± 0,313	0,599 ± 0,313	0,599 ± 0,313	0,197 ± 0,626
Všetky	0,758 ± 0,258	0,758 ± 0,258	0,758 ± 0,258	0,516 ± 0,516

Tab. A.2: Pero na papieri, časové parametre: celkový čas pohybu

č. úlohy	SEN	SPE	ACC	MCC
1	0,561 ± 0,296	0,561 ± 0,296	0,561 ± 0,296	0,122 ± 0,592
2	0,740 ± 0,454	0,740 ± 0,454	0,740 ± 0,454	0,480 ± 0,909
3	0,566 ± 0,424	0,566 ± 0,424	0,566 ± 0,424	0,133 ± 0,847
4	0,608 ± 0,483	0,608 ± 0,483	0,608 ± 0,483	0,216 ± 0,966
5	0,585 ± 0,335	0,585 ± 0,335	0,585 ± 0,335	0,169 ± 0,669
6	0,565 ± 0,292	0,565 ± 0,292	0,565 ± 0,292	0,131 ± 0,584
7	0,585 ± 0,299	0,585 ± 0,299	0,585 ± 0,299	0,169 ± 0,598
8	0,573 ± 0,287	0,573 ± 0,287	0,573 ± 0,287	0,146 ± 0,574
9	0,485 ± 0,360	0,485 ± 0,360	0,485 ± 0,360	-0,029 ± 0,721
Všetky	0,766 ± 0,433	0,766 ± 0,433	0,766 ± 0,433	0,532 ± 0,865

Tab. A.3: Pero na papieri, kinematické parametre: rýchlosť, zrýchlenie, švih

č. úlohy	SEN	SPE	ACC	MCC
1	0,619 ± 0,381	0,619 ± 0,381	0,619 ± 0,381	0,237 ± 0,763
2	0,685 ± 0,352	0,685 ± 0,352	0,685 ± 0,352	0,370 ± 0,704
3	0,651 ± 0,365	0,651 ± 0,365	0,651 ± 0,365	0,302 ± 0,731
4	0,640 ± 0,390	0,640 ± 0,390	0,640 ± 0,390	0,281 ± 0,781
5	0,583 ± 0,297	0,583 ± 0,297	0,583 ± 0,297	0,166 ± 0,594
6	0,547 ± 0,404	0,547 ± 0,404	0,547 ± 0,404	0,094 ± 0,808
7	0,634 ± 0,366	0,634 ± 0,366	0,634 ± 0,366	0,268 ± 0,732
8	0,555 ± 0,445	0,555 ± 0,445	0,555 ± 0,445	0,110 ± 0,890
9	0,643 ± 0,357	0,643 ± 0,357	0,643 ± 0,357	0,286 ± 0,714
Všetky	0,745 ± 0,411	0,745 ± 0,411	0,745 ± 0,411	0,489 ± 0,823

Tab. A.4: Pero na papieri, dynamické parametre: tlak, sklon, azimut

č. úlohy	SEN	SPE	ACC	MCC
1	0,544 ± 0,456	0,544 ± 0,456	0,544 ± 0,456	0,089 ± 0,911
2	0,638 ± 0,362	0,638 ± 0,362	0,638 ± 0,362	0,276 ± 0,724
3	0,546 ± 0,454	0,546 ± 0,454	0,546 ± 0,454	0,091 ± 0,909
4	0,581 ± 0,438	0,581 ± 0,438	0,581 ± 0,438	0,161 ± 0,876
5	0,610 ± 0,325	0,610 ± 0,325	0,610 ± 0,325	0,221 ± 0,649
6	0,589 ± 0,411	0,589 ± 0,411	0,589 ± 0,411	0,178 ± 0,822
7	0,601 ± 0,351	0,601 ± 0,351	0,601 ± 0,351	0,201 ± 0,701
8	0,579 ± 0,421	0,579 ± 0,421	0,579 ± 0,421	0,159 ± 0,841
9	0,563 ± 0,313	0,563 ± 0,313	0,563 ± 0,313	0,126 ± 0,626
Všetky	0,709 ± 0,543	0,709 ± 0,543	0,709 ± 0,543	0,419 ± 1,085

Tab. A.5: Pero na papieri, všetky parametre: priestorové, časové, kinematické, dynamické

č. úlohy	SEN	SPE	ACC	MCC
1	0,565 ± 0,292	0,565 ± 0,292	0,565 ± 0,292	0,130 ± 0,585
2	0,701 ± 0,415	0,701 ± 0,415	0,701 ± 0,415	0,402 ± 0,830
3	0,625 ± 0,375	0,625 ± 0,375	0,625 ± 0,375	0,250 ± 0,750
4	0,662 ± 0,376	0,662 ± 0,376	0,662 ± 0,376	0,324 ± 0,752
5	0,680 ± 0,320	0,680 ± 0,320	0,680 ± 0,320	0,361 ± 0,639
6	0,589 ± 0,411	0,589 ± 0,411	0,589 ± 0,411	0,179 ± 0,821
7	0,629 ± 0,371	0,629 ± 0,371	0,629 ± 0,371	0,258 ± 0,742
8	0,584 ± 0,459	0,584 ± 0,459	0,584 ± 0,459	0,169 ± 0,919
9	0,623 ± 0,498	0,623 ± 0,498	0,623 ± 0,498	0,246 ± 0,996
Všetky	0,790 ± 0,457	0,790 ± 0,457	0,790 ± 0,457	0,580 ± 0,913

Tab. A.6: Pero nad papierom, priestorové parametre: výška, šírka, dĺžka

č. úlohy	SEN	SPE	ACC	MCC
3	0,623 ± 0,248	0,623 ± 0,248	0,623 ± 0,248	0,245 ± 0,495
4	0,668 ± 0,382	0,668 ± 0,382	0,668 ± 0,382	0,336 ± 0,764
5	0,531 ± 0,469	0,531 ± 0,469	0,531 ± 0,469	0,063 ± 0,937
6	0,517 ± 0,340	0,517 ± 0,340	0,517 ± 0,340	0,034 ± 0,680
7	0,565 ± 0,315	0,565 ± 0,315	0,565 ± 0,315	0,130 ± 0,630
9	0,598 ± 0,402	0,598 ± 0,402	0,598 ± 0,402	0,196 ± 0,804
Všetky	0,701 ± 0,299	0,701 ± 0,299	0,701 ± 0,299	0,403 ± 0,597

Tab. A.7: Pero nad papierom, časové parametre: celkový čas pohybu

č. úlohy	SEN	SPE	ACC	MCC
3	0,520 ± 0,395	0,520 ± 0,395	0,520 ± 0,395	0,041 ± 0,791
4	0,460 ± 0,317	0,460 ± 0,317	0,460 ± 0,317	-0,081 ± 0,634
5	0,543 ± 0,293	0,543 ± 0,293	0,543 ± 0,293	0,086 ± 0,586
6	0,486 ± 0,236	0,486 ± 0,236	0,486 ± 0,236	-0,029 ± 0,471
7	0,530 ± 0,405	0,530 ± 0,405	0,530 ± 0,405	0,061 ± 0,811
9	0,613 ± 0,327	0,613 ± 0,327	0,613 ± 0,327	0,226 ± 0,654
Všetky	0,610 ± 0,443	0,610 ± 0,443	0,610 ± 0,443	0,220 ± 0,887

Tab. A.8: Pero nad papierom, kinematické parametre: rýchlosť, zrýchlenie, švih

č. úlohy	SEN	SPE	ACC	MCC
3	0,603 ± 0,317	0,603 ± 0,317	0,603 ± 0,317	0,206 ± 0,634
4	0,567 ± 0,317	0,567 ± 0,317	0,567 ± 0,317	0,134 ± 0,634
5	0,643 ± 0,358	0,643 ± 0,358	0,643 ± 0,358	0,285 ± 0,715
6	0,616 ± 0,366	0,616 ± 0,366	0,616 ± 0,366	0,233 ± 0,733
7	0,582 ± 0,332	0,582 ± 0,332	0,582 ± 0,332	0,164 ± 0,664
9	0,597 ± 0,403	0,597 ± 0,403	0,597 ± 0,403	0,194 ± 0,806
Všetky	0,685 ± 0,352	0,685 ± 0,352	0,685 ± 0,352	0,371 ± 0,704

Tab. A.9: Pero nad papierom, dynamické parametre: tlak, sklon, azimut

č. úlohy	SEN	SPE	ACC	MCC
3	0,513 ± 0,488	0,513 ± 0,488	0,513 ± 0,488	0,025 ± 0,975
4	0,581 ± 0,439	0,581 ± 0,439	0,581 ± 0,439	0,163 ± 0,877
5	0,584 ± 0,416	0,584 ± 0,416	0,584 ± 0,416	0,168 ± 0,832
6	0,566 ± 0,566	0,566 ± 0,566	0,566 ± 0,566	0,133 ± 1,133
7	0,600 ± 0,400	0,600 ± 0,400	0,600 ± 0,400	0,199 ± 0,801
9	0,559 ± 0,441	0,559 ± 0,441	0,559 ± 0,441	0,118 ± 0,882
Všetky	0,783 ± 0,450	0,783 ± 0,450	0,783 ± 0,450	0,567 ± 0,900

Tab. A.10: Pero nad papierom, všetky parametre: priestorové, časové, kinematické, dynamické

č. úlohy	SEN	SPE	ACC	MCC
3	0,657 ± 0,282	0,657 ± 0,282	0,657 ± 0,282	0,314 ± 0,564
4	0,655 ± 0,512	0,655 ± 0,512	0,655 ± 0,512	0,310 ± 1,024
5	0,608 ± 0,465	0,608 ± 0,465	0,608 ± 0,465	0,216 ± 0,930
6	0,578 ± 0,293	0,578 ± 0,293	0,578 ± 0,293	0,156 ± 0,585
7	0,600 ± 0,314	0,600 ± 0,314	0,600 ± 0,314	0,199 ± 0,628
9	0,670 ± 0,384	0,670 ± 0,384	0,670 ± 0,384	0,340 ± 0,769
Všetky	0,709 ± 0,542	0,709 ± 0,542	0,709 ± 0,542	0,417 ± 1,084

Tab. A.11: Celkový pohyb pera, priestorové parametre: výška, šírka, dĺžka

č. úlohy	SEN	SPE	ACC	MCC
3	0,640 ± 0,360	0,640 ± 0,360	0,640 ± 0,360	0,279 ± 0,721
4	0,655 ± 0,369	0,655 ± 0,369	0,655 ± 0,369	0,310 ± 0,739
5	0,553 ± 0,322	0,553 ± 0,322	0,553 ± 0,322	0,106 ± 0,644
6	0,601 ± 0,316	0,601 ± 0,316	0,601 ± 0,316	0,203 ± 0,631
7	0,552 ± 0,198	0,552 ± 0,198	0,552 ± 0,198	0,104 ± 0,396
9	0,578 ± 0,328	0,578 ± 0,328	0,578 ± 0,328	0,156 ± 0,656
Všetky	0,754 ± 0,421	0,754 ± 0,421	0,754 ± 0,421	0,508 ± 0,841

Tab. A.12: Celkový pohyb pera, časové parametre: celkový čas pohybu

č. úlohy	SEN	SPE	ACC	MCC
3	0,546 ± 0,311	0,546 ± 0,311	0,546 ± 0,311	0,091 ± 0,623
4	0,572 ± 0,322	0,572 ± 0,322	0,572 ± 0,322	0,144 ± 0,644
5	0,561 ± 0,311	0,561 ± 0,311	0,561 ± 0,311	0,121 ± 0,621
6	0,573 ± 0,287	0,573 ± 0,287	0,573 ± 0,287	0,146 ± 0,574
7	0,611 ± 0,389	0,611 ± 0,389	0,611 ± 0,389	0,223 ± 0,777
9	0,587 ± 0,444	0,587 ± 0,444	0,587 ± 0,444	0,174 ± 0,887
Všetky	0,753 ± 0,253	0,753 ± 0,253	0,753 ± 0,253	0,505 ± 0,505

Tab. A.13: Celkový pohyb pera, kinematické parametre: rýchlosť, zrýchlenie, švih

č. úlohy	SEN	SPE	ACC	MCC
3	0,611 ± 0,468	0,611 ± 0,468	0,611 ± 0,468	0,222 ± 0,936
4	0,623 ± 0,373	0,623 ± 0,373	0,623 ± 0,373	0,245 ± 0,745
5	0,603 ± 0,318	0,603 ± 0,318	0,603 ± 0,318	0,206 ± 0,635
6	0,653 ± 0,348	0,653 ± 0,348	0,653 ± 0,348	0,305 ± 0,695
7	0,636 ± 0,351	0,636 ± 0,351	0,636 ± 0,351	0,273 ± 0,701
9	0,702 ± 0,452	0,702 ± 0,452	0,702 ± 0,452	0,404 ± 0,904
Všetky	0,756 ± 0,256	0,756 ± 0,256	0,756 ± 0,256	0,512 ± 0,512

Tab. A.14: Celkový pohyb pera, dynamické parametre: tlak, sklon, azimut

č. úlohy	SEN	SPE	ACC	MCC
3	0,537 ± 0,320	0,537 ± 0,320	0,537 ± 0,320	0,074 ± 0,640
4	0,584 ± 0,416	0,584 ± 0,416	0,584 ± 0,416	0,167 ± 0,833
5	0,600 ± 0,458	0,600 ± 0,458	0,600 ± 0,458	0,201 ± 0,915
6	0,569 ± 0,319	0,569 ± 0,319	0,569 ± 0,319	0,139 ± 0,639
7	0,578 ± 0,578	0,578 ± 0,578	0,578 ± 0,578	0,156 ± 1,156
9	0,574 ± 0,449	0,574 ± 0,449	0,574 ± 0,449	0,148 ± 0,898
Všetky	0,713 ± 0,380	0,713 ± 0,380	0,713 ± 0,380	0,427 ± 0,760

Tab. A.15: Celkový pohyb pera, všetky parametre: priestorové, časové, kinematické, dynamické

č. úlohy	SEN	SPE	ACC	MCC
3	0,634 ± 0,366	0,634 ± 0,366	0,634 ± 0,366	0,267 ± 0,733
4	0,677 ± 0,552	0,677 ± 0,552	0,677 ± 0,552	0,354 ± 1,104
5	0,737 ± 0,362	0,737 ± 0,362	0,737 ± 0,362	0,474 ± 0,724
6	0,663 ± 0,377	0,663 ± 0,377	0,663 ± 0,377	0,326 ± 0,754
7	0,633 ± 0,508	0,633 ± 0,508	0,633 ± 0,508	0,266 ± 1,016
9	0,641 ± 0,359	0,641 ± 0,359	0,641 ± 0,359	0,281 ± 0,719
Všetky	0,782 ± 0,449	0,782 ± 0,449	0,782 ± 0,449	0,564 ± 0,897

B TABULKY VÝSLEDKOV ODHADOV PROG-RESIE ONEMOCNENIA

Tab. B.1: Pero na papieri, priestorové parametre: výška, šírka, dĺžka

č. úlohy	MAE	MSE	EER
1	0,716 ± 0,993	1,007 ± 3,454	0,179 ± 0,248
2	0,893 ± 1,274	1,190 ± 3,634	0,223 ± 0,318
3	1,050 ± 1,116	1,855 ± 3,229	0,263 ± 0,279
4	0,875 ± 1,097	1,365 ± 3,392	0,219 ± 0,274
5	0,974 ± 1,121	1,588 ± 3,378	0,244 ± 0,280
6	1,041 ± 0,804	1,835 ± 2,208	0,260 ± 0,201
7	0,853 ± 1,230	1,202 ± 3,420	0,213 ± 0,308
8	0,900 ± 1,084	1,322 ± 3,148	0,225 ± 0,271
9	0,931 ± 0,846	1,313 ± 2,812	0,233 ± 0,212
Všetky	0,997 ± 0,684	1,268 ± 1,954	0,249 ± 0,171

Tab. B.2: Pero na papieri, časové parametre: celkový čas pohybu

č. úlohy	MAE	MSE	EER
1	0,755 ± 1,328	1,078 ± 4,277	0,189 ± 0,332
2	0,846 ± 0,710	1,153 ± 2,180	0,211 ± 0,177
3	0,951 ± 1,299	1,663 ± 4,560	0,238 ± 0,325
4	0,869 ± 1,589	1,371 ± 5,141	0,217 ± 0,397
5	0,745 ± 0,755	0,901 ± 1,785	0,186 ± 0,189
6	0,827 ± 1,021	1,177 ± 3,315	0,207 ± 0,255
7	0,798 ± 1,202	1,143 ± 4,412	0,199 ± 0,301
8	0,690 ± 0,575	0,882 ± 2,052	0,173 ± 0,144
9	0,780 ± 1,345	1,315 ± 3,694	0,195 ± 0,336
Všetky	0,916 ± 1,334	1,465 ± 3,889	0,229 ± 0,334

Tab. B.3: Pero na papieri, kinematické parametre: rýchlosť, zrýchlenie, švih

č. úlohy	MAE	MSE	EER
1	0,935 ± 2,065	1,901 ± 7,099	0,234 ± 0,516
2	1,123 ± 0,790	1,835 ± 2,249	0,281 ± 0,197
3	0,878 ± 1,100	1,479 ± 4,451	0,219 ± 0,275
4	0,921 ± 1,204	1,491 ± 4,790	0,230 ± 0,301
5	0,684 ± 1,150	1,122 ± 4,628	0,171 ± 0,287
6	1,000 ± 1,162	1,701 ± 4,104	0,250 ± 0,291
7	1,106 ± 0,751	2,047 ± 3,982	0,276 ± 0,188
8	1,072 ± 0,970	1,830 ± 3,009	0,268 ± 0,243
9	1,075 ± 1,300	1,700 ± 4,112	0,269 ± 0,325
Všetky	0,797 ± 1,070	1,049 ± 3,405	0,199 ± 0,267

Tab. B.4: Pero na papieri, dynamické parametre: tlak, sklon, azimut

č. úlohy	MAE	MSE	EER
1	0,868 ± 1,299	1,328 ± 4,673	0,217 ± 0,325
2	1,008 ± 0,925	1,441 ± 1,851	0,252 ± 0,231
3	0,885 ± 1,115	1,435 ± 4,565	0,221 ± 0,279
4	0,973 ± 0,770	1,595 ± 3,247	0,243 ± 0,192
5	0,923 ± 0,869	1,286 ± 2,677	0,231 ± 0,217
6	0,978 ± 1,119	1,718 ± 3,732	0,245 ± 0,280
7	1,010 ± 1,240	1,722 ± 4,403	0,252 ± 0,310
8	0,930 ± 1,445	1,745 ± 6,593	0,233 ± 0,361
9	1,090 ± 1,004	1,997 ± 3,076	0,272 ± 0,251
Všetky	0,866 ± 0,866	1,151 ± 1,467	0,217 ± 0,217

Tab. B.5: Pero na papieri, všetky parametre: priestorové, časové, kinematické, dynamické

č. úlohy	MAE	MSE	EER
1	0,819 ± 1,403	1,6373 ± 4,776	0,205 ± 0,351
2	1,049 ± 0,859	1,552 ± 2,120	0,262 ± 0,215
3	0,942 ± 0,850	1,687 ± 3,486	0,235 ± 0,212
4	0,968 ± 1,056	1,719 ± 4,536	0,242 ± 0,264
5	0,844 ± 0,844	1,221 ± 1,221	0,211 ± 0,211
6	1,044 ± 1,289	1,700 ± 4,134	0,261 ± 0,322
7	1,078 ± 2,172	1,937 ± 8,813	0,269 ± 0,543
8	0,979 ± 0,978	1,541 ± 4,067	0,245 ± 0,244
9	1,086 ± 0,878	1,773 ± 2,681	0,271 ± 0,219
Všetky	0,789 ± 1,086	1,094 ± 2,437	0,197 ± 0,272

Tab. B.6: Pero nad papierom, priestorové parametre: výška, šírka, dĺžka

č. úlohy	MAE	MSE	EER
3	0,907 ± 0,718	1,245 ± 2,231	0,227 ± 0,180
4	0,739 ± 0,927	0,954 ± 1,837	0,185 ± 0,232
5	0,822 ± 1,196	0,981 ± 4,324	0,206 ± 0,299
6	0,835 ± 0,915	1,101 ± 2,705	0,209 ± 0,229
7	0,979 ± 1,354	1,466 ± 3,978	0,245 ± 0,339
9	0,872 ± 0,746	1,215 ± 4,279	0,218 ± 0,186
Všetky	0,967 ± 1,158	1,436 ± 3,845	0,242 ± 0,290

Tab. B.7: Pero nad papierom, časové parametre: celkový čas pohybu

č. úlohy	MAE	MSE	EER
3	0,632 ± 0,868	0,721 ± 2,115	0,158 ± 0,217
4	0,664 ± 1,105	0,802 ± 2,599	0,166 ± 0,276
5	0,706 ± 0,606	0,795 ± 1,040	0,177 ± 0,152
6	0,830 ± 0,685	1,141 ± 2,114	0,208 ± 0,171
7	0,766 ± 0,805	0,953 ± 2,710	0,192 ± 0,201
9	0,622 ± 0,628	0,605 ± 0,999	0,156 ± 0,157
Všetky	0,731 ± 0,623	0,732 ± 1,199	0,183 ± 0,156

Tab. B.8: Pero nad papierom, kinematické parametre: rýchlosť, zrýchlenie, švih

č. úlohy	MAE	MSE	EER
3	0,892 ± 1,347	1,391 ± 4,517	0,223 ± 0,337
4	1,147 ± 0,853	2,251 ± 3,093	0,287 ± 0,213
5	1,066 ± 0,934	1,714 ± 4,106	0,266 ± 0,234
6	1,068 ± 0,734	1,784 ± 2,837	0,267 ± 0,184
7	1,065 ± 1,185	2,057 ± 3,373	0,266 ± 0,296
9	1,028 ± 1,172	1,634 ± 4,486	0,257 ± 0,293
Všetky	0,959 ± 0,959	1,300 ± 2,783	0,240 ± 0,240

Tab. B.9: Pero nad papierom, dynamické parametre: tlak, sklon, azimut

č. úlohy	MAE	MSE	EER
3	1,057 ± 0,759	1,700 ± 2,317	0,264 ± 0,190
4	0,890 ± 1,166	1,273 ± 4,281	0,223 ± 0,291
5	0,912 ± 0,921	1,401 ± 3,015	0,228 ± 0,230
6	1,041 ± 1,126	1,850 ± 4,470	0,260 ± 0,281
7	0,854 ± 1,091	1,283 ± 3,727	0,213 ± 0,273
9	0,848 ± 0,939	1,353 ± 4,212	0,212 ± 0,235
Všetky	0,918 ± 1,132	1,460 ± 3,322	0,230 ± 0,283

Tab. B.10: Pero nad papierom, všetky parametre: priestorové, časové, kinematické, dynamické

č. úlohy	MAE	MSE	EER
3	0,987 ± 0,911	1,571 ± 3,256	0,247 ± 0,228
4	0,929 ± 1,238	1,439 ± 4,422	0,232 ± 0,309
5	0,966 ± 1,225	1,350 ± 3,520	0,241 ± 0,306
6	1,060 ± 1,096	1,798 ± 4,221	0,265 ± 0,274
7	1,025 ± 1,242	1,798 ± 4,618	0,256 ± 0,310
9	0,870 ± 1,311	1,523 ± 5,290	0,217 ± 0,328
Všetky	1,008 ± 1,008	1,485 ± 2,181	0,252 ± 0,252

Tab. B.11: Celkový pohyb pera, priestorové parametre: výška, šírka, dĺžka

č. úlohy	MAE	MSE	EER
3	0,877 ± 1,290	1,280 ± 3,803	0,219 ± 0,322
4	0,825 ± 0,758	1,044 ± 1,610	0,206 ± 0,189
5	0,839 ± 0,943	1,094 ± 3,122	0,210 ± 0,236
6	0,947 ± 0,909	1,441 ± 2,458	0,237 ± 0,227
7	0,997 ± 0,669	1,486 ± 2,528	0,249 ± 0,167
9	0,899 ± 0,830	1,242 ± 2,703	0,225 ± 0,208
Všetky	0,958 ± 0,958	1,350 ± 2,331	0,240 ± 0,240

Tab. B.12: Celkový pohyb pera, časové parametre: celkový čas pohybu

č. úlohy	MAE	MSE	EER
3	0,801 ± 0,810	1,176 ± 2,026	0,200 ± 0,202
4	0,808 ± 1,192	1,058 ± 4,109	0,202 ± 0,298
5	0,791 ± 0,792	0,962 ± 1,903	0,198 ± 0,198
6	0,939 ± 1,160	1,464 ± 4,039	0,235 ± 0,290
7	0,760 ± 0,844	0,956 ± 1,983	0,190 ± 0,211
9	0,610 ± 0,560	0,651 ± 2,023	0,152 ± 0,140
Všetky	0,932 ± 1,443	1,459 ± 4,572	0,233 ± 0,361

Tab. B.13: Celkový pohyb pera, kinematické parametre: rýchlosť, zrýchlenie, švih

č. úlohy	MAE	MSE	EER
3	0,931 ± 1,169	1,696 ± 3,764	0,233 ± 0,292
4	1,004 ± 1,830	1,821 ± 6,429	0,251 ± 0,457
5	0,810 ± 0,721	1,126 ± 3,534	0,202 ± 0,180
6	1,040 ± 0,942	1,815 ± 3,990	0,260 ± 0,236
7	1,031 ± 0,912	2,059 ± 3,171	0,258 ± 0,228
9	1,048 ± 0,827	1,596 ± 3,051	0,262 ± 0,207
Všetky	0,784 ± 1,153	1,053 ± 3,830	0,196 ± 0,288

Tab. B.14: Celkový pohyb pera, dynamické parametre: tlak, sklon, azimut

č. úlohy	MAE	MSE	EER
3	0,959 ± 1,041	1,563 ± 2,687	0,240 ± 0,260
4	0,915 ± 0,682	1,437 ± 1,913	0,229 ± 0,171
5	1,025 ± 1,017	1,476 ± 2,946	0,256 ± 0,254
6	1,080 ± 1,253	1,911 ± 4,422	0,270 ± 0,313
7	0,862 ± 1,169	1,154 ± 4,131	0,215 ± 0,292
9	0,968 ± 0,866	1,603 ± 4,147	0,242 ± 0,216
Všetky	0,857 ± 0,734	1,128 ± 1,688	0,214 ± 0,183

Tab. B.15: Celkový pohyb pera, všetky parametre: priestorové, časové, kinematické, dynamické

č. úlohy	MAE	MSE	EER
3	0,984 ± 0,891	1,726 ± 2,776	0,246 ± 0,223
4	0,823 ± 0,795	1,110 ± 1,670	0,206 ± 0,199
5	0,770 ± 0,830	0,993 ± 1,587	0,193 ± 0,207
6	1,087 ± 0,975	1,978 ± 4,188	0,272 ± 0,244
7	1,062 ± 1,062	2,032 ± 4,155	0,266 ± 0,266
9	0,887 ± 1,558	1,205 ± 4,943	0,222 ± 0,389
Všetky	0,819 ± 1,181	1,083 ± 2,917	0,205 ± 0,295

C OBSAH PRILOŽENÉHO CD

Na priloženom CD sa nachádzajú súbory z príponou .m ako aj uložené jednotlivé matice s parametrami pre jednotlivé úlohy (.mat).

Základne delenie súborov je podľa predpony (P_). Všetky súbory s touto koncovkou sú určené na tréningovanie progresie onemocnenia. Súbory bez prípony sú určené na tréningovanie binárnej klasifikácie parkinsonikov. V súboroch *Uloha1_data_label.m* až *Uloha9_data_label.m* sa nachádzajú funkcie pre vytvorenie parametrov pre binárnu klasifikáciu. Z vektorových parametrov sa pomocou štatistických metód v súbore *statistiky.m* vytvoria skalárne hodnoty, ktoré sa postupne ukladajú ako matice do súborov. Súbor *disc_5_data_kinematic.mat* nesie v sebe kinematické parametre z piatej úlohy pri pohybe pera na papieri. Naopak súbor *disc_6_in_data_spatial.mat* obsahuje všetky priestorové parametre zo šiestej úlohy ale len pri pohybe pera nad papierom (*_in_* v názve znázorňuje, že sa jedná o in-air pohyb). Matice s pohybom pera vo vzduchu sú generované pomocou súborov *Uloha1_in_data_label.m* až *Uloha9_in_data_label.m*.

Jednotlivé matice sú načítané do súborov *Uloha1.m* až *Uloha10.m*. Z týchto súborov sa volajú funkcie matlabu *hlavny1.m* resp. *hlavny2.m* pre určenie progresie onemocnenia *hlavny2.m*, kde dochádza ku zoradeniu matice pomocou metódy mRMR a následnému tréningovaniu parametrov. Výpočet jednotlivých metrík sa nachádza v súboroch *score_acc.m*, *score_mcc.m*, *score_mae.m*, *score_mse.m*, *score_spe.m*, *score_sen.m*, a *score_err.m*. V súboroch *Uloha1.m* až *Uloha10.m* dochádza ešte ku ukladaniu týchto metrík do excelovej tabuľky, ktorá sa nachádza v súbore *table1.xlsx*

Analógovo potom sú tvorené matice a súbory z názvami, ktoré majú predponu *P_*. Všetky tieto súbory sú určené pre tréningovanie systému pre zisťovanie progresie onemocnenia.

Táto práca bola testovaná v prostredí Matlab R2014a