



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

KONSTRUKCE PERA SE SKRYTÝMI SENZORY

PEN DESIGN WITH HIDDEN SENSORS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

JAKUB SENČÁK

Ing. MARTIN SAKIN

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce



Student: **Senčák Jakub**
Program: Informační technologie
Název: **Konstrukce pera se skrytými senzory**
Pen Design with Hidden Sensors
Kategorie: Vestavěné systémy

Zadání:

1. Nastudujte problematiku týkající se snímání a rozpoznávání behaviorálních (dynamických) charakteristik podpisu a písma.
2. Vyhledejte a seznamte se se senzory vhodné pro snímání těchto behaviorálních charakteristik.
3. Navrhněte pero osazené senzory pro snímání behaviorálních charakteristik podpisu a písma s ukládáním dat na paměťovou kartu nebo s bezdrátovým odesláním na jiné zařízení.
4. Navržené řešení prakticky realizujte a otestujte.
5. Diskutujte získané výsledky, reálné využití a další možnosti rozšíření.

Literatura:

- E. P. EerNisse, C. E. Land and J. B. Snelling, "Piezoelectric sensor pen for dynamic signature verification," 1977 International Electron Devices Meeting, Washington, DC, USA, 1977, pp. 473-476.
- Shimizu, H., Kiyono, S., Motoki, T., & Gao, W., "An electrical pen for signature verification using a two-dimensional optical angle sensor", Sensors and Actuators A: Physical Volume 111, Issues 2-3, 15 March 2004, Pages 216-221.

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Body 1 až 3.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování práce viz <https://www.fit.vut.cz/study/theses/>

Vedoucí práce: **Sakin Martin, Ing.**
Vedoucí ústavu: Hanáček Petr, doc. Dr. Ing.
Datum zadání: 1. listopadu 2019
Datum odevzdání: 28. května 2020
Datum schválení: 31. října 2019

Abstrakt

V tejto práci sme sa venovali dynamickým vlastnostiam písma a spôsobom ich záznamu na rôzne typy zariadení. Cieľom práce bolo navrhnúť zariadenie schopné zaznamenať tieto vlastnosti a uložiť ich pre ďalšie spracovanie. Motiváciou na vznik tejto práce bolo overiť nakoľko je možné s dnes voľne dostupnou technológiou vytvoriť zariadenie schopné zaznamenávať dynamické vlastnosti písma a následne ich využiť na falšovanie podpisov. Výsledky tejto práce poskytnú čitateľovi potrebný teoretický základ a postup na vytvorenie takého zariadenia.

Abstract

In this work we have dealt with dynamic properties of handwriting text, the ways of recording it on different types of devices. The aim of this project was to design a device to capture these properties and saving them for further processing. The motivation for this work was to verify whether it is possible to make a device capable of recording dynamic font properties and then use them for falsifying signatures. The results of this work will provide the reader with necessary theoretical basics and steps to create such device.

Klíčové slová

konštrukcia pera, falšovanie podpisu, dynamické vlastnosti písma, biometria

Keywords

pen construction, signature forgery, dynamic signature verification, biometrics

Citácia

SENČÁK, Jakub. *Konstrukce pera se skrytými senzory*. Brno, 2020. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Martin Sakin,

Konstrukce pera se skrytými senzory

Prehlásenie

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Martina Sakina. Uvedl jsem všechny literární prameny, publikace a další zdroje, ze kterých jsem čerpal.

.....

Jakub Senčák

7. júna 2020

Podakovanie

Ďakujem svojmu vedúcemu Martinovi Sakinovi, za jeho prístup a ochotu pri vedení tejto práce. Ďakujem aj Václavovi Šimkovi za ochotu a pomoc pri tlačení 3D modelu pera.

Obsah

1	Úvod	2
2	Vlastnosti písania	3
2.1	Biometria	3
2.2	Vlastnosti písma	4
2.3	Rozpoznávanie písma a podpisu	5
2.3.1	Statické rozpoznávanie	5
2.3.2	Dynamické rozpoznávanie	5
2.4	Existujúce technológie	8
2.4.1	Výskumné riešenia	8
2.4.2	Komerčné riešenia	11
3	Návrh riešenia	14
3.1	Stanovenie vlastností	14
3.2	Výber komponent	15
3.3	Komunikácia s perifériami	17
3.3.1	Rozhranie SPI - Serial Peripheral Interface	17
3.3.2	Rozhranie I ² C - Inter-Integrated Communication	18
3.4	Návrh pera	19
3.4.1	Obal pera	20
3.4.2	Uchytenie tlakových senzorov	21
4	Realizácia riešenia	24
4.1	Zapojenie súčiastok	24
4.2	Experimenty	26
4.2.1	Testovanie súčiastok	26
4.2.2	Problémy	26
4.3	Vyhodnotenie výsledkov	26
5	Záver	29
	Literatúra	30

Kapitola 1

Úvod

Historické texty nám ukazujú, že človek mal vždy tendenciu si informácie ukladať - zapisovať - či sa jednalo o písanie na steny v jaskyniach, papyrusové zvytky alebo tlačene knihy. V priebehu času sa vyvíjali materiály aj technológia, ktorou tieto informácie zapisujeme. Hoci už sme v 21. storočí a pomaly každý z nás vlastní nejaké smart zariadenie stále využívame pero a papier na poznámky, písanie poštovej korešpondencie a aj ako spôsob našej identifikácie - podpisovanie. Podpis stále hraje neodmysliteľnú úlohu pri dávaní súhlasu s úradnými dokumentami, autorstvom dokumentov a overovaní identity osôb. Práve pre jeho používanie v úradných dokumentoch sa častokrát stáva terčom falšovania.

Cieľom tejto práce bolo vytvoriť zariadenie schopné zaznamenávať dynamické vlastnosti písma pomocou senzorov ukrytých vo vnútri pera. Pero by sa malo dať následne použiť na záznam dynamických vlastností písma a rekonštrukciu podpisu. Pero sme navrhli a vytlačili na 3D tlačiarňi. Elektronika je postavená na platforme Arduino Nano, pričom detekuje pohyb pomocou akcelerometra a gyroskopu a prítlak pomocou tlakových senzorov a všetky informácie ukladáme na microSD kartu.

Práca sa skladá z štyroch kapitol. V kapitole 2 sa venujeme biometrickým základom potrebným na pochopenie problematiky písania, podpisu a následného zberu a spracovaniu dát. Ukazujeme a rozoberáme funkčnosť existujúcich riešení pri dizajne pier použitých na výskumné účely ako aj na profesionálne použitie. Kapitola 3 sa venuje stanoveniu základných vlastností, ktoré sme si vybrali na vytvorenie pera. Výber jednotlivých komponent a princípy komunikácie periférnych zariadení s platformou Arduino Nano. Nakoniec sa kapitola 4 zaoberá realizáciou riešenia, 3D tlačou a testovaním nami vytvoreného pera so skrytými senzormi.

Kapitola 2

Vlastnosti písania

V tejto časti si najprv vysvetlíme pojem biometria, popíšeme rôzne typy písma, následne vysvetlíme rozdiel medzi verifikáciou a identifikáciou pri písaní. Zhrnieme čo sme zistili z výskumov v tejto oblasti a popíšeme existujúce hardvérové riešenia.

2.1 Biometria

Biometria v informačných technológiách je automatizované rozpoznávanie ľudských jedincov na základe ich charakteristických *anatomických rysov* (napr. tvár, otláčok prstu, dúhovka, sietnica) a *behaviorálnych rysov* (napr. chôdza, dynamické vlastnosti podpisu).

Biometriu používame hlavne z dôvodov zvýšenia bezpečnosti, zvyšuje pohodlie (otlačok prsta na smartfóne) a odradzuje útočníkov od podvodov. Na druhej strane nezachováva súkromie, je vcelku zložitú získať dáta do databáz a náročné vyhodnocovať a porovnávať vzorky. Pri spracovávaní signálov vznikajú problémy so segmentáciou, zašumenými vstupmi, výkonnosťou celého systému (rýchlosť, chybovosť, náklady), otázok spracovania osobných údajov a ďalšie.

Biometrický systém sa skladá z dvoch základných častí [9]:

- Registračný modul
- Verifikačný/identifikačný modul

Registračný modul má na vstupe biometrický senzor, ktorým do systému získa biometrické dáta, ktoré sa analyzujú, spracovávajú a extrahujú biometrické rysy. Biometrické rysy sa následne uložia do databázy. Verifikačný modul vykonáva tú istú činnosť až na ukladenie dát do databázy. Po získaní biometrických rysov však vykoná porovnanie s príslušným vzorkom z databázy a následne vyhodnotí zhodu alebo nezhodu. Záleží tiež na úlohe, na ktorú tento modul používame - verifikáciu (autentizáciu) alebo identifikáciu osoby.

Biometrické systémy rozdeľujeme z pohľadu overovaných vlastností na *unimodálne* a *multimodálne* biometrické systémy. Unimodálne sa zameriavajú len na jednu biometrickú vlastnosť, čo znižuje ich finančnú náročnosť, hoci majú problémy so spoľahlivosťou. Multimodálne systémy na druhej strane využívajú buď viacerých znakov tej istej biometrickej vlastnosti (napr. statické a dynamické vlastnosti podpisu, viď. podkapitola 2.3.1) alebo viacero rozličných biometrických vlastností (napr. rozpoznávanie tváre a otláčku prsta v smartfóne).

Biometrické vlastnosti delíme na dva typy *anatomicke* a *behaviorálne*. Pri anatomických vlastnostiach sa jedná sa o tie fyzické rysy (nazývané aj *statické*), ktoré odpovedajú

konkrétnej biometrickej vlastnosti (otlačok prstu) a sú pevne dané - vždy prítomné, ťažko odstrániteľné vlastnosti ľudského tela. Typickými anatomickými vlastnosťami sú otlačok prsta, ľudská tvár, dúhovka a sietnica oka, geometria ruky, dlaň, dentálny obraz, DNA. Na druhej strane dynamické vlastnosti sú spojené s nejakou akciou užívateľa, založenej na pohybe, napr. pohyb pri podpise. Behaviorálne vlastnosti sú hlas, mimika a pohyby pier, podpis, dynamika stisnutia kláves, chôdza[9].

Charakteristiky biometrických vlastností:

- *univerzalita* - každá osoba má danú biometrickú vlastnosť
- *jedinečnosť* - žiadne dve osoby nesmú mať rovnakú biometrickú vlastnosť
- *konštantnosť* - biometrická vlastnosť sa časom nemení
- *získateľnosť* - je možné ju zmerať
- *výkonnosť* - ak sa biometrická vlastnosť zmení, môže to spôsobovať systému výkonové problémy
- *akceptácia* - ochota ľudí nasnímať biometrickú vlastnosť
- *odolnosť proti falšovaniu* - ako náročné je vytvoriť falzifikát
- *finančné nároky* - náklady na zaobstaranie systému

2.2 Vlastnosti písma

Keď príde dieťa do základnej školy jednou z prvých vecí, ktoré sa tam naučí je čítať a písať. Po prvom ročníku by už deti mali vedieť písať bez problémov a zvyšok štúdia je už len opakovaním naučených motorických zvykov pri písaní poznámok a kreslení. To čo na začiatku trvalo takmer jeden školský rok sa naučiť sa už berie ako samozrejmosť. Všetky zvyky a zlozvyky, ktoré sa deti v tomto období naučia sa s nimi často tiahnu do dospelosti a preto ich je potrebné skoro podchytiť a odstrániť [37].

Klasifikácia písma

Prvé známky o písme pochádzajú z Číny zo 7. tisícročia pred našim letopočtom a boli vyryté do korytnačích pancierov. Ďalším príkladom je Sumerské klinové písmo z oblasti Mezopotámie z asi 4. tisícročia pred našim letopočtom. Aj v dnešnej dobe stále využívame písmo ako spôsob dorozumievania, ukladania a šírenia informácií. V priebehu dejín vzniklo niekoľko typov písem, medzi základné typy patria:

- logografické
- hláskové
- abecedné písma

Medzi logografické písma patria napríklad čínske písmo alebo aj arabské íslice. Jedná sa o písmo, v ktorom každé slovo reprezentuje jeden znak. V hláskovom písme jeden znak reprezentuje jednu slabiku, napr. japonské písmo. Hláskové písma sa typicky vyskytujú v západných krajinách, kde je jazyk odvodený z latinského písma alebo cyriliky [20].

2.3 Rozpoznávanie písma a podpisu

Písmo a podpis patria k bežným formám identifikácie človeka. Najčastejšie sa používa rozpoznávanie podpisu na verifikáciu totožnosti osôb. Z biometrického hľadiska rozpoznávanie písma a podpisu využíva čiastočne statických a čiastočne dynamických vlastností. Pri oboch typoch rozlišujeme dva typy/spôsoby behu analýzy statický a dynamický.

- **Rozpoznávanie písma** - pri rozpoznávaní písma sa snažíme klasifikovať písmená do tried, slov, následne do viet a na najvyššej úrovni rozpoznávanie zmyslu písaného textu [9].
- **Rozpoznávanie podpisu** - použitie písma ako overovací mechanizmus je aj v dnešnej dobe úplne bežné. Formou podpisu, ktorý si každý sám vymyslí a štylizuje podľa vlastných požiadaviek, sa tak overuje identita v bankách alebo úradoch. Pri overovaní podpisu sa zameriavame na jedinečné vlastnosti podpisu a to na globálnej a lokálnej úrovni.

2.3.1 Statické rozpoznávanie

Statické rozpoznávanie písaného textu sa nazýva taktiež aj **offline**. Pri tomto type necháme používateľa napísať niečo na papier a následne ho zdigitalizujeme pomocou fotoaparátu alebo skenera. Na klasifikáciu znakov a na výslednej množine odstrániť tie prvky, v ktorých sa jednotlivé znaky líšia len minimálne. Na redukciu Obrázok sa následne analyzuje a detekujú sa vlastnosti podpisu [26].

2.3.2 Dynamické rozpoznávanie

Písmo sa dá z pohľadu dynamickej analýzy rozdeliť na usporiadanú množinu ťahov (z angl. *stroke*) [28], ktorá sa používa pri rozpoznávaní jednotlivých znakov v slovách. V západných písmach založených na latinskej abecede sú jednotlivé písmená relatívne oddelené a jednotlivé písmená majú len niekoľko málo ťahov, plus interpunkciu. Toto ale neplatí u východných písiem, kde sa v abecedách nachádzajú komplikované znaky, ktoré môžu mať pokojne aj niekoľko desiatok ťahov. Písmená môžu byť taktiež písané rôznym smerom, pričom záleží na regióne a jazyku, napríklad kórejský *hagul* sa môže písať zľava do prava, ale aj zhora dolu [29].

Podpis v spoločnosti zohráva významnú rolu hlavne pri overovaní totožnosti. Podpis sa časom vyvíja, neostáva rovnaký. Ľudia ho postupne obmieňajú, vynechávajú a nahrádzajú niektoré črty podpisu. V rôznych oblastiach sveta sa podpisovanie zásadne odlišuje napríklad v štýle a spôsobe podpisu - niekto len napíše svoje meno, niekto pridáva umelecké prvky. Okrem toho tu zasahuje aj lokalizácia, rozličné písmo, abecedy, fonty, kurzíva, smer písania atď. V európskych zemiach podpis vychádza z mena a je obyčajne písaným písmom, občas s prvkami umenia. V ázijských štátoch podpis pozostáva z niekoľkých znakov, arabské podpisy majú formu kurzívy a nemusia vôbec súvisieť s menom dotyčného človeka. Keďže chceme vytvárať aplikácie, ktoré umožnia multikulturálne použitie musíme vytvoriť naozaj univerzálne riešenie alebo si pomôcť ďalšími dodatočnými informáciami vo forme metadát o podpisujúcom sa človekovi. Tomuto spôsobu sa tiež hovorí „soft-biometrics“. V metadátach sa ukladajú informácie o národnosti, jazyku, veku, o tom akou rukou píše atď. [29]

Dynamické rozpoznávanie alebo aj *online* (online signature verification) využíva špeciálneho zariadenia, ktoré dokáže v reálnom čase zaznamenávať pohyb pera po papieri.

Zariadenia na záznam dynamických vlastností môžu byť rozličné - dotyková plocha ako napríklad displej, aktívny stylus alebo iné špecializované zariadenie poprípade ich kombinácia (tablet so stylusom a podobne), ďalej len pero.

Dynamické systémy majú obvyčajne tri časti:

1. Hardvérový modul - zaznamenáva dáta
2. Uživatelský modul - vytvára rozhranie pre podpis
3. Verifikačný modul - overuje pravosť podpisu. Porovnáva podpis užívateľa s referenčným podpisom v databáze.

Proces rozpoznávania písma zahŕňa štyri procesy [17]:

1. Získavanie dát a predspracovanie vo vstupnom zariadení
2. Extrahovanie znakov písma
3. Klasifikácia znakov
4. Rozhodovanie

Takýto dynamický systém počíta s tabletom a stylusom alebo iným polohovacím zariadením. Hardvérový modul typicky zaznamenáva päť komponent [26], ktoré môžeme považovať za funkcie v čase t (t je časový index vzorkovania):

1. $x(t)$ - x-ová súradnica v čase t
2. $y(t)$ - y-ová súradnica v čase t
3. $p(t)$ - hodnota tlaku na hrot v čase t
4. $uhol(t)$ - uhol medzi podložkou a perom ($0^\circ - 90^\circ$)
5. $azimut(t)$ - rotácia pera nad podložkou ($0^\circ - 359^\circ$)

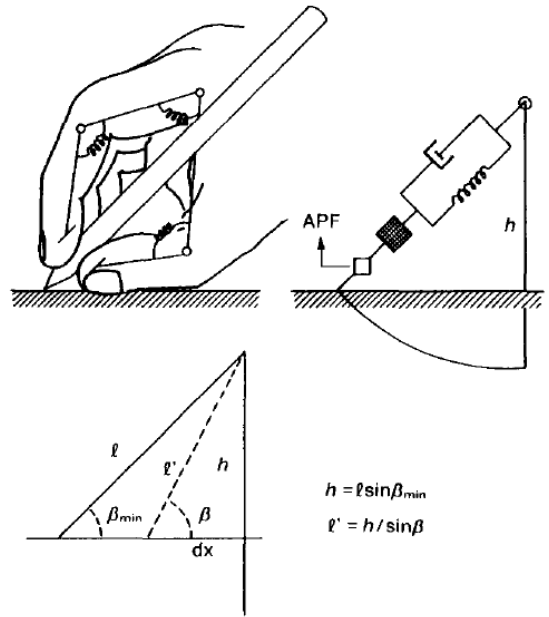
Všetky tieto parametre nám sprístupňujú informácie o tom, čo sa s perom dialo v čase. Tieto dáta sú veľmi hodnotné, keďže vďaka nim vieme identifikovať jednotlivé ťahy pera.

Pozícia

Za normálnych okolností sa pozícia hrotu pera určuje pomocou hrotu, ktorý sa dotýka dotykovej plochy. Hrot po ploche vykonáva trajektóriu, ktorá sa ukladá vo forme dvoch súradníc x a y , ktorých hodnoty sa menia v čase.

Uhol

Uhol sa môže zdať ako veľmi dôležitý parameter pri písaní, no pri doplnení pozície pera o uhol pera sa miera správnosti rozoznania falzifikátu podpisu zlepšila len o 1,5% [21]. Dáta nám teda ukazujú, že tento parameter nie je až taký podstatný. Predpokladáme, že to je spôsobené použitím guľčového pera, ktoré má na hrote guľčiku a teda bod, ktorým sa pero dotýka povrchu je rovnaký alebo sa zmení nepatrne pri privedení uhle s podložkou. Ak by bolo naším cieľom zreprodukovat podpis zo získaných dát, tak by sa informácia o uhle mohla stať hodnotnou a to pri použití 3D tlačiarne alebo robotickej ruky.



Obr. 2.1: Biomechanický model pri písaní perom [30]

Pre vysvetlenie mechanizmu pri písaní prikladáme zjednodušený biomechanický model popisujúci súvislosť medzi rovinného pohybu do osového tlaku na pero. h je pevná výška v kĺbe l je vzdialenosť kĺbu od hrotu pera, l' je stlačená vzdialenosť l po zatlačení na pero, β je uhol pera s podložkou, β_{min} je minimálny uhol pera s podložkou, keď chceme aby sa stále dotýkal hrot podložky, dX je vzdialenosť medzi hrotom pera a normálou prechádzajúcou kĺbom.

Prítlak na podložku

Prítlak vyvíjaný na hrot pera sa môže použiť na verifikáciu podpisu aj na samotný záznam trajektórie pohybu pera [6].

Dynamická analýza

Dynamická analýza vyžaduje rozlišovanie jednotlivých ťahov pri rozpoznávaní napísaných písmen. Preto rozlišujeme čas na čas kedy píšeme a čas kedy je pero nad podložkou, z angl. *on-stroke* a *off-stroke*. Pri verifikovaní podpisu dochádza k analýze dát a stanovení znakov podpisu. Dáta sa môžu deliť na segmenty, napríklad sa detekuje hranica medzi písmenami a tieto vlastnosti sa potom môžu stanoviť pre každé písmeno. Podľa toho tieto znaky delíme do dvoch kategórií na **lokálne** a **globálne** znaky. Medzi typické globálne znaky patrí celkový čas, počet zdvihnutí a položení hrotu na podložku a celková orientácia podpisu. Medzi lokálne znaky patria znaky vyplývajúce z pohybu pera v užšom časovom rozpätí (stanovené pre konkrétne segmenty).

Zoznam znakov získaných z podpisu:

- Celkové trvanie podpisu
- Počet dotykov pera s podložkou

- Pomer času a dotykov pera s podložkou
- Smerové znaky
- Moment-based znaky
- Curvature-based parameters (znaky zahnutia)
- Štatistiky pozície, rýchlosti, akcelerácie, uhlu
- Súvislosť medzi časovými priebehmi funkcií pozície, rýchlosti, akcelerácie, uhlov, prítlaku
- Koeficienty odvodené z Fourierovej transformácie
- Koeficienty odvodené z Vlnkovej transformácie (Wavelet transform)

V publikácii zaoberajúcej sa verifikáciou podpisu pomocou on-line dát [6] bolo navrhnutých 44 rôznych znakov, podľa ktorých vieme verifikovať podpis. Tieto znaky sa porovnávali so znakmi uloženými v databáze, ktoré slúžili ako šablóna pre verifikáciu, vid. 2.2. Z týchto znakov sa vybralo niekoľko, ktoré boli najšpecifickejšie pre daného človeka a mali teda najväčšiu váhu.

2.4 Existujúce technológie

V tejto časti predstavíme príklady výskumných a komerčných riešení. Výskumné riešenia sa vo väčšine prípadoch venovali špecifickým vlastnostiam podpisov a tým sa snažili dokázať relevanciu vybraných parametrov pri verifikácii užívateľov pri podpisovaní alebo pri zaznamenávaní písaného písma. Komerčné riešenia sa zameriavajú na využitie v bežnom živote, napríklad na kreslenie, písanie poznámok, prepojenie s inými zariadeniami.

2.4.1 Výskumné riešenia

Pri výskume dynamických vlastností písma sa výskumníci zamerali väčšinou na konkrétne vlastnosti pri písaní textu - buď na tlak, pohyb alebo sklon - a podľa toho aj vytvárali perá. Z výskumných prác sme zistili, že databázy podpisov a ich falzifikátov obsahujú vo väčšine prípadov dáta zaznamenávané na frekvencii 100 Hz a obsahujú informácie aspoň niektorých znakov, napr. o pozícii, tlaku na hrot, pohyb (rýchlosť, zrýchlenie), orientáciu pera [25][24][18].

Piezoelektrické senzory

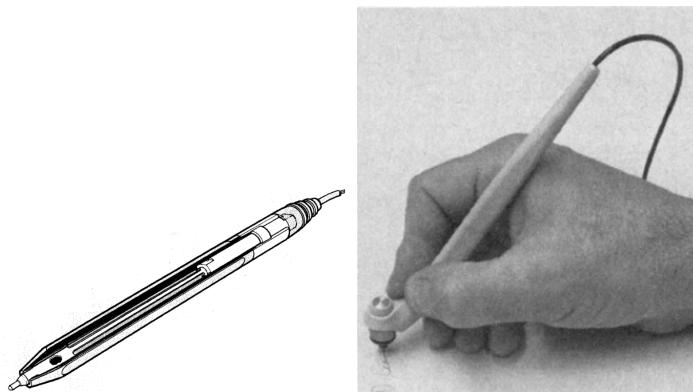
Pri výskume zameranom na tlak pôsobiaci na hrot pri písaní sa používali dva analógové piezoelektrické biomorfne senzory prichytené na tuhu v 90° uhle k sebe navzájom [10], vid. obrázok 2.3. Tento typ senzoru využíva piezoelektrických javov, ktoré vznikajú medzi dvomi kovmi a tým merajú pohyb pera. Iný výskum sa zaoberal identifikáciou pisateľa podľa tlaku, ktorý vyvíja na podložku pri písaní, viac informácií v publikácii zaoberajúcej sa vzťahom medzi tlakom na pero a pohybom celého pera [30]. V tomto výskume bol použitý tenzometer, pasívna elektrotechnická súčiastka, používaná ako senzor k nepriamemu meraniu mechanického napätia na povrchu súčiastky prostredníctvom jej deformácie [11].

TABLE I
THE 44 ORIGINAL FEATURES

FEATURE NUMBER			FEATURE
X	Y	P	
1	11	21	SCALED MEAN
2	12	22	STANDARD DEVIATION
3	13	23	MINIMUM
4	14	24	MAXIMUM
5	15	25	AVERAGE ABSOLUTE
6	16	26	AVERAGE POSITIVE
7	17	27	NUMBER OF POSITIVE SAMPLES
8	18	28	AVERAGE NEGATIVE
9	19	29	NUMBER OF NEGATIVE SAMPLES
10	20	30	NUMBER OF O-CROSSINGS
31	32	33	MAXIMUM MINUS SCALED MEAN
34	35	36	MAXIMUM MINUS MINIMUM
37	38	39	SCALED MEAN MINUS MINIMUM
40			TOTAL TIME
41			NUMBER OF SEGMENTS -1
42			TIME UP
43			NUMBER OF SEGMENTS
44			TIME DOWN

Obr. 2.2: 44 rôznych znakov, ktoré sa môžu vyskytovať v podpise [6]

Trošku novšie riešenie používa tiež tenzometer, v tomto prípade od firmy SRI International, ktorý bol umiestnený v hrote pera a meral zmeny tlaku v troch smeroch [6]. Pero malo hrot kolmo k podložke a trojuholníkový úchop pre lepšiu ergonomiku, vid. obrázok 2.3 vpravo. Viac k dizajnu pera je možné nájsť v tomto článku [7].



Obr. 2.3: Piezoelektrické pero (vľavo) a pero s tenzometrom v hrote (vpravo)

Overovanie podpisu pomocou smart rukavice

V tomto výskume sa používala špeciálna rukavica 5DT Data Glove 14 Ultra¹ od firmy 5DT, ktorá má na sebe 14 senzorov, ktoré merali ohyb každého prsta v každom kĺbe a roztiahnutie prstov od seba [2]. Pre ďalšie informácie odkazujeme na výskumný článok [17].



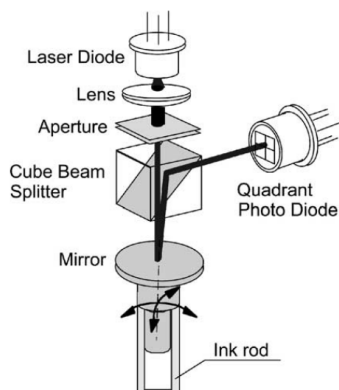
Obr. 2.4: Demonštrácia použitia 5DT rukavice

Dizajn optického pera

Pero v tomto dizajne využívalo dvoch technológií - piezoelektrického senzora na detekciu prítlaku a kvadrantovej fotodiódy [32], z angl. quadrant photo diode, vid' . Na konci pera bol umiestnený laser, ktorý svietil smerom k hrotu tuhy. Na opačnom konci tuhy (opačná

¹<https://5dt.com/5dt-data-glove-ultra/>

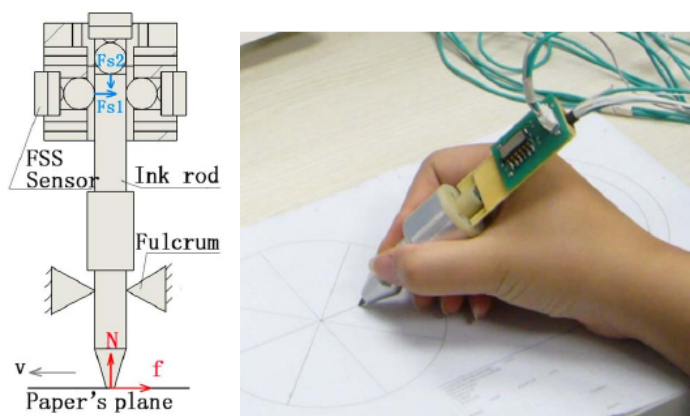
strana od hrotu) bolo umiestnené zrkadlo, ktoré odrážalo laserové lúče naspäť nahor cez rozdeľovač lúčov (z anglického beam splitter) do fotodiódy, viď obrázok 2.5. Pri písaní sa tuha jemne nakláňala a menila tak smer, ktorým sa lúč odrážal od zrkadla, čo následne zaznamenala fotodióda [34].



Obr. 2.5: Pero s optickou detekciou pohybu

Pero s odporovými senzormi

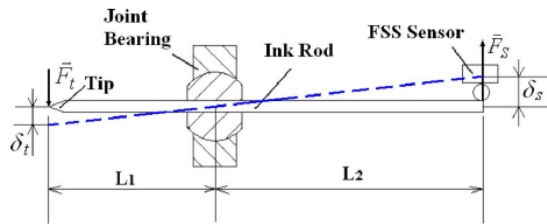
Pero, na obrázku 2.6, malo na opačnom konci tuhy päť senzorov - štyri okolo tuhy a jeden kolmo na tuhu, ktoré merali zmeny tlaku pri pohybe. Tuhu na mieste držala opora, ktorá umožňovala rotáciu tuhy v pere a tým detekciu pohybu. Oporou bolo kĺbové ložisko v prednej časti pera, ktoré pôsobilo ako páka 2.7 a zosilovalo tak pohyb v zadnej časti pera [36].



Obr. 2.6: Vľavo návrh pera, vpravo ukážka hotového diela

2.4.2 Komerčné riešenia

Na trhu sa vyskytuje veľa komerčných riešení, ako môžeme snímať písaný text. Obyčajne sa jedná o zariadenia pre profesionálov, umelcov a dizajnérov, alebo len na záznam poznámok. Niektoré riešenia sú primitívne stylusy, ktoré len sprístupňujú bod dotyku s dotykovou plochou, ďalšie využívajú pohybové senzory vo vnútri pera, iné využívajú špeciálne podložky



Obr. 2.7: Návrh pákového mechanizmu

alebo displeje tabletov. Vo všetkých riešeniach sa výrobcovia snažili ukryť súčiastky pred zrakom užívateľa a neskúsený človek by si ani nevšimol, že má pod prstami drobnú elektroniku. Riešenia, ktoré v nasledujúcej časti uvidíte sme vybrali kvôli rozličnosti použitých technológií a vskutku zaujímavých technických riešení.

Livescribe 3

Livescribe 3 je pero určené na písanie poznámok. Toto pero využíva Bluetooth v4.0 na spojenie s mobilným zariadením, do ktorého následne odosiela dáta o pohybe hrotu po papieri. Systém tieto dáta v reálnom čase prevádza do písaného textu, pričom je možné použiť aj funkciu konvertovania písaného textu do tlačenej podoby pomocou OCR². Na záznam pohybu využíva infračervenú kameru, ktorá sa nachádza na spodnej časti pera pod hrotom tuhy. Okrem písma zaznamenáva aj zvuk a tak písmo dopĺňa ďalší kontext. Veľkosťou je sa jedná o kompaktné zariadenie - 162x14.9 mm a hmotnosťou 34 gramov.



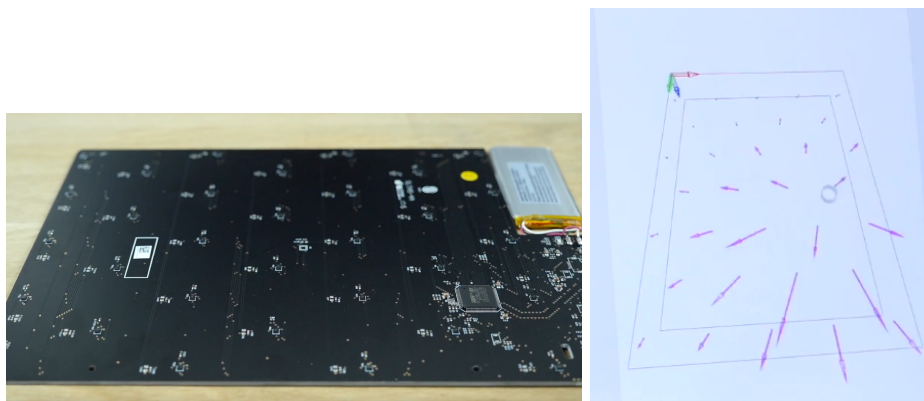
Obr. 2.8: Livescribe 3 teardown [23]

iskn Slate 2+

Slate 2+ od firmy iskn využíva magnetický prstenec a špeciálnu podložku, v ktorej sa nachádza 32 magnetometrov (senzorov na meranie zmien magnetického poľa) ako je to možné vidieť na obrázku 2.9. Podložka komunikuje bezdrôtovo s aplikáciou v mobilnom

²z anglického Optical Character Recognition, česky Optické rozpoznávání znaků

zariadení alebo počítači pomocou Bluetooth LE v5.0 a v reálnom čase tieto dáta zobrazuje. Výsledok je veľmi presný, no vyžaduje presnú kalibráciu. Kalibrácia sa vykonáva tak, že sa na podložke stisne a podrží špeciálne tlačidlo a potom stačí vziať pero/ceruzku s prtencom a priložiť jej hrot kolmo na podložku. Následne stačí pustiť tlačidlo a všetko je nakalibrované. Ak sa kalibrácia nevykoná správne ceruzka nebude presná.



Obr. 2.9: Podložka so senzormi bez krytu (vľavo) a vizualizácia magnetického poľa (vpravo) [16]

Stylus

Stylus sa používa na písanie na dotykové plochy. Aktuálne asi najsofistikovanejším je Apple Pencil, na obrázku 2.10. Radí sa medzi aktívne stylusy [14]. Používa dva trojosé gyroskopy rozmiestnené v rôznych častiach pera. Hrot pera funguje ako tlakový senzor a taktiež ako anténa, ktorá vysiela nízko-frekvenčné (dlhé) vlny a tie sú detekované senzorovou vrstvou pod displejom. Spojenie s iPadom zabezpečuje Bluetooth 4.1 [1]. Intel v roku 2014 predpovedal, že aktívne stylusy nebudú také úspešné ako pasívne z dôvodu vysokej ceny a náročnosti vývoja technológie, no ako môžeme vidieť, táto technológia nakoniec prerazila [13].



Obr. 2.10: Hrot z Apple Pencil (vľavo) a rozobratý stylus (vpravo) [12]

Kapitola 3

Návrh riešenia

Postupne vysvetlíme počiatočné podmienky, ktoré sme si stanovili pri vytváraní nášeho hardvérového riešenia nasledované výberom vhodných komponent, ich oživením a zapojením do výsledného zariadenia.

3.1 Stanovenie vlastností

Pre návrh pera je nevyhnutné stanoviť si aké vlastnosti písma budeme potrebovať zaznamenávať. Z existujúcich technických riešení sme sa rozhodli niektoré vybrať a použiť ich pri návrhu a konštrukcii pera so skrytými senzormi. Ako názov tejto práce napovedá „Konštrukce pera se skrytými senzory“ budeme chcieť vyrobiť pero, ktoré na prvý pohľad bude vyzeráť nenápadne, tak aby si pisateľ nič podozrivé nevšimol.

Pero bude bezdrôtové pričom sa nám naskytajú dve možnosti. Môžeme využiť buď bezdrôtovú komunikáciu medzi perom a iným zariadením, ktoré bude dáta spracovávať alebo budeme tieto informácie ukladať do pamäte priamo v pere a po vykonaní pokusu pero rozobrať a dáta vyčítať z pamäte. Nakoniec sme sa rozhodli, že pero urobíme rozoberateľné a dáta budeme ukladať na pamäťovú kartu. Ako vylepšenie navrhujeme použiť pamäťový modul priamo na PCB doske.

Z dôvodu ušetrenia miesta v zariadení bude najlepšie vytvoriť si vlastný hardware, ktorý bude prepojsť mikrokontrolér so senzormi a zmestí sa do pera. Návrh a vývoj bude prebiehať v niekoľkých iteráciách, v ktorých v každom vytvoríme prototyp a otestujeme ho. Najprv budeme využívať už existujúce vývojové dosky a kity. V neskorších štádiách sa budeme venovať aj návrhu vlastného hardware.

Infračervená kamera je najlepšie riešenie, čo sa týka presnosti bez použitia dodatočných podložiek, no rozhodli sme sa ju nepoužiť, pretože je príliš nápadná na to, aby si ju človek nevšimol a nápadne mení dizajn pera - tuha nie je v strede pera. Nevylučujeme však, že by sa dala schovať na spodnú časť pera pod hrot tuhy, tak aby si to človek nevšimol, no pre tento výskum s ňou nebudeme počítať a prenechávame túto možnosť na ďalší výskum.

Kalibrácia je veľmi dôležitým parametrom keďže chceme aby bolo zariadenie presné, ale nie za cenu náročnej procedúry pri spúšťaní pera. Cieľom bude vybrať súčiastky tak, aby na kalibráciu stačilo minimum času.

Rozhodli sme sa, že pero nesmie vyžadovať žiadnu špeciálnu podložku na záznam pohybu. Toto riešenie by vyžadovalo, aby sa človek podpísal na konkrétnu podložku. Hoci je pravdepodobne možné človeka zmanipulovať na to aby sa podpísal na konkrétnu plochu poprípade vytvoriť plochu povedzme veľkosti stola, rozhodli sme sa neísť touto cestou a po-

kúsime sa vytvoriť riešenie, ktoré nebude potrebovať dodatočný hardware. Podľa týchto vlastností sme sa zamerali na výber vhodných komponent. Cieľové vlastnosti, na ktoré by sme sa chceli zamerať sú:

- presnosť
- minimálna poprípade rýchla kalibrácia
- skrytosť a nenápadnosť
- možnosť písať na akomkoľvek povrchu

3.2 Výber komponent

Arduino Nano

Arduino je platforma, ktorá do značnej miery spopularizovala elektroniku pre neprofesionálov a domácich majstrov. Jeho hlavným prínosom je open-source hardvér a priateľivý UX (user-experience)¹. Má predpripravené rôzne softvérové knižnice a časom sa vytvorila silná komunita ľudí, ktorí používajú ich produkty.

Pero sme postavili na platforme Arduino Nano v3, ktorá má v sebe zabudovaný USB programátor. Vybrali sme túto platformu hlavne kvôli malým rozmerom 18 x 45 milimetrov a hmotnosti len 7g. Na napájanie postačuje USB konektor, ktorý sa používa aj na programovanie mikrokontroléra. Platforma obsahuje mikrokontrolér ATmega328P, postavený na 8-bitovej RISC (Reduced Instruction Set Computer) architektúre AVR, ktorý beží na frekvencii 16MHz. Platforma poskytuje 1 KB EEPROM pamäte a 2 KB internej SRAM pamäte 32 KB programovateľnej FLASH pamäte z toho 2 KB využíva bootloader. Platforma má štyri časovače - dva 8-bitové, jeden 16-bitový a jeden pre RTC s vlastným oscilátorom. Okrem toho má aj pin pre externé prerušenie.

Zariadenie poskytuje aj zdroje pre napájanie periférií 5 V a 3,3 V. Pre pripojenie je možné použiť osem analógových a trinásť digitálnych pinov. Analógové piny A0 až A5 sú určené ako vstupy, ktoré sú pripojené na ADC² s rozlíšením 10 bitov a merajú napätie v rozsahu 0 až 5 V. Porty A4 a A5 môžu fungovať aj na komunikáciu cez rozhranie I²C . Piny A6 a A7 slúžia ako výstupné analógové porty a nie sú pripojené na ADC aj napriek tomu, že to mikrokontrolér podporuje. Mikrokontrolér taktiež podporuje sériovú komunikáciu s periférnymi zariadeniami pomocou SPI, UART a I²C .

Alternatívne by bolo možné využiť aj inú platformu, napríklad Teensy 3.5, založenú na mikrokontroléri K64P144M120SF5RM od firmy Freescale [31] alebo inú platformu z rodiny Arduino, ktorá má mikrokontrolér ARMSTM32F103C8T6 od firmy ST [3]. Ten nám ponúka navyše niekoľkonásobne vyšší výkon, viac pamäte, viac analógových vstupov, väčšie rozlíšenie na ADC prevodníku a aj nižšie napájacie napätie. Mohlo by sa zdať, že nemá teda zmysel používať Arduino Nano, no rozmermi vývojovej platformy nie je vhodný.

Pre naše použitie je nevyhnutné, aby mal mikrokontrolér zabudovaný analógovo digitálny prevodník s dostatočným rozlíšením (aspoň 10-bit) a možnosť pripojenia periférií.

¹Používateľove dojmy z práce s daným produktom

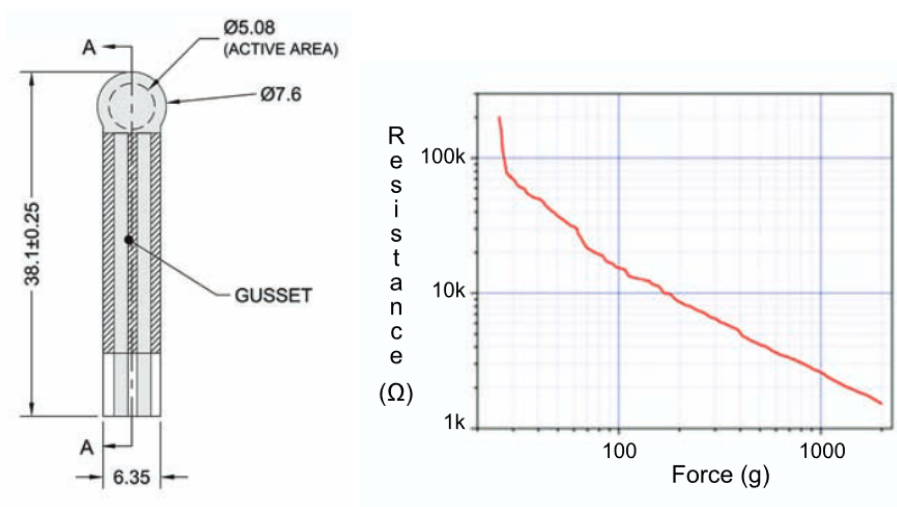
²Analógovo digitálny prevodník

Tlakový senzor

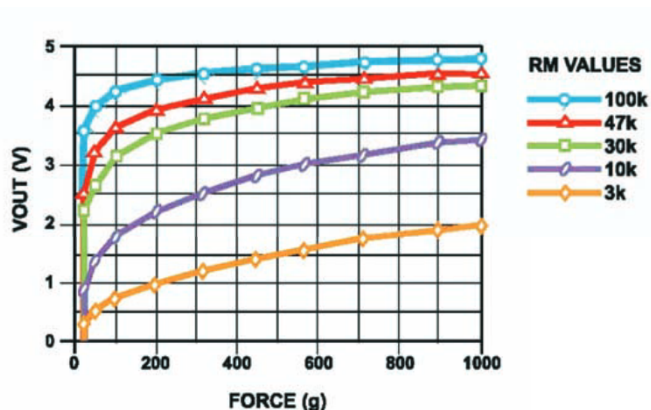
Interlink Electronics FSR® 400 viz obr. 3.1 je malý a lacný tlakový odporový senzor. Bez záťaže sa správa ako nekonečný odpor a s použitím sily na jeho povrch sa jeho odpor znižuje. Citlivosť a maximálna záťaž je nastavená na interakciu s ľuďmi [15]. V kombinácii s $10\text{ k}\Omega$ rezistorom a zapojením na analógový pin dáva najširší interval hodnôt.

$$V_{OUT} = \frac{V_{IN} R_M}{R_M + R_{FSR}}$$

Tento vzorec sa používa na výpočet výstupného napätia V_{OUT} v závislosti od použitého vstupného napätia V_{IN} a použitého odporu R_M a odporu tlakového rezistora R_{FSR} .



Obr. 3.1: Tlakový senzor FSR400 a graf vývoja odporu a sily [15]



Obr. 3.2: Charakteristika elektrického napätia a sily [15]

Akcelerometer a gyroskop

Keďže budeme chcieť zaznamenávať pohyb ako sme vysvetlili v časti zaoberajúcej sa Dynamickými vlastnosťami písma, potrebujeme na to použiť vhodné senzory.

Akcelerometer je zariadenie, ktoré meria zrýchlenie. V jednoduchosti sa skladá z pružinky a závažia. Podľa výchylky od bežnej pozície potom senzor detekuje, do ktorého smeru sa pohybuje. Jeden senzor detekuje len jednu rovinu a teda ak chceme merať pohyb v 3D priestore potrebujeme použiť tri senzory vo vzájomne pravouhlom rozpoložení [4].

Gyroskop je zariadenie merajúce zmenu orientácie telesa v priestore. Spôsob merania záleží od použitej technológie. Napríklad gyroskopy využívajúce optické vlastnosti sú vysoko kvalitné a presné, no sú relatívne veľké a ťažké alebo Mikro Elektro Mechanické Systémy (MEMS) založené na vlastnostiach kremíkových polovodičov, v ktorých kmitá závažie na vysokej frekvencii. Vychýlenie sa meria kapacitne a tak ako aj pri akcelerometri ak chceme merať zmenu polohy v troch osách musíme použiť tri gyroskopy, každý v inej ose [5].

V našom prípade bol vybraný modul GY-521, ktorý kombinuje obidva senzory na jednom čipe - akcelerometer a gyroskop. Akcelerometre typu MEMS trpia zvýšenou hladinou šumu [19], ako som sa aj ja presvedčil. Riešením by mohlo byť použitie dvoch modulov a priemerovanie nameraných hodnôt. Alternatívne by sa mohli použiť senzory DFROBOT SEN0253 [35], na ktorých vyskúšame priemerovanie a rôzne rozmiestnenie na pere.

SD karta

Výber padol na adaptér microSD kariet DFROBOT DFR0229 kvôli jeho veľkosti 20x28 mm a jednoduchému pripojeniu pomocou rozhrania SPI. V prvej iterácii sa nám nezmestil do pera, no na testovacie účely nám bohate postačoval. Keďže pero v druhej iterácii narástlo na priemer ϕ 20 milimetrov, tak sa nám veľkosťou akurát zmestí do pera. Nie je ideálny - vyhovoval by nám skôr menší modul, pretože tento má rovnakú šírku a teda ho plne neschováme.

Ak by sme chceli všetko minimalizovať, vieme zísť s šírkou na 15 mm, čo je šírka slotu na microSD kartu a tento v sebe zahŕňa aj pružinkový mechanizmus na vkladanie a vyberanie kariet. V extrémnom prípade by bolo možné namodelovať a vytlačiť vlastný úchyt na microSD kartu.

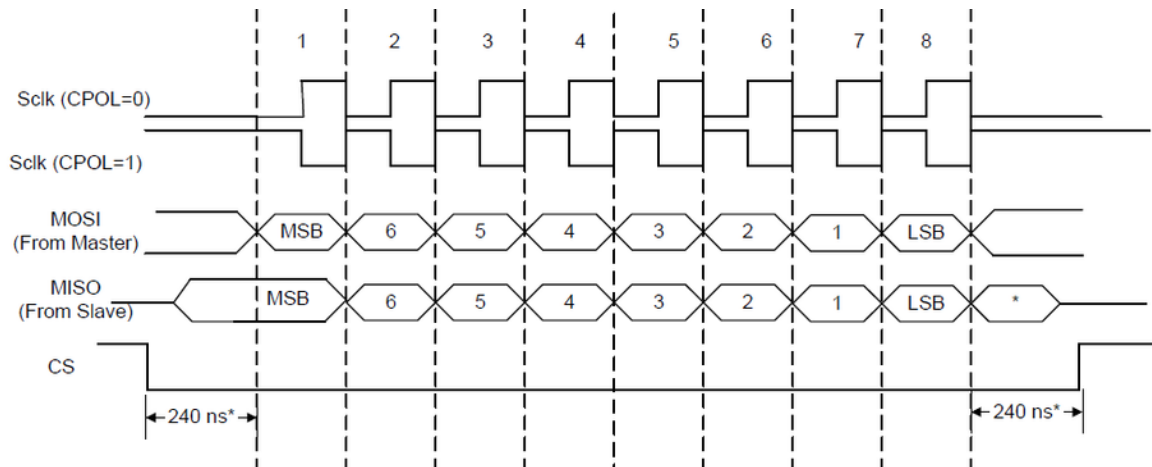
Ako úložisko používame microSD kartu veľkosti 2GB, čo bohate postačuje, pretože podpis trvá len krátky okamih.

3.3 Komunikácia s perifériami

Komunikácia vo všeobecnosti znamená výmenu alebo odovzdávanie informácií, v tejto práci budeme hovoriť o komunikácii periférnych zariadení s mikrokontrolérom. Medzi najpoužívanejšie jednoznačne patria UART, I²C a SPI, ktoré sa veľmi často vyskytujú v populárnych mikrokontroléroch a aj naša platforma Arduino Nano ich obsahuje. V tejto časti popíšeme fungovanie komunikačných rozhraní SPI a I²C, keďže UART nebudeme používať, vynecháme ho.

3.3.1 Rozhranie SPI - Serial Peripheral Interface

Rozhranie SPI patrí medzi hardvérové komunikačné rozhrania, ktoré sa používajú vo vstavaných systémoch. Toto rozhranie umožňuje spojenie len dvoch zariadení alebo spojenie viacerých zariadení cez spoločnú zbernicu. Komunikácia je plne duplexná (full-duplex), čo znamená, že komunikácia prebieha oboma smermi. Zariadenie pripojené na túto zbernicu môže byť jedným z dvoch typov *master* alebo *slave*. Zariadenie typu *master* môže byť v systéme len jedno. Obyčajne je *master* zariadením mikrokontrolér, ktorý potom iniciuje a



Obr. 3.3: Ukážka komunikácie medzi dvoma zariadeniami [8]

riadi komunikáciu, a tiež šíri synchronizačný hodinový signál ostatným zariadeniam. Zariadenie typu *slave* je obvyčajne periférne zariadenie, s ktorým sa master rozhodol komunikovať. Samotná komunikácia prebieha vzájomným vymieňaním dát v rovnakom čase, viď. obrázok 3.3. Na komunikáciu sa používajú 4 vodiče:

- **MISO** - master in slave out - dátový vodič, ktorý zabezpečuje dátový prenos zo zariadenia *slave* do zariadenia *master*.
- **MOSI** - master out slave in - dátový vodič, zabezpečuje opačný prenos ako MISO - teda z *master* do *slave*.
- **SCK** - serial clock - hodinový signál na tomto vodiči generuje zariadenie *master* a *slave* zariadenie ho má ako vstup.
- **SS** - slave select - tento vodič slúži na výber zariadenia, s ktorým chce *master* komunikovať. Je aktívny v logickej nule.

3.3.2 Rozhranie I²C - Inter-Integrated Communication

Rozhranie I²C je synchronne sériové rozhranie komunikujúce protokolom typu master-slave. Komunikácia je typu half-duplex, čo znamená, že zariadenia môžu navzájom komunikovať, ale nie súčasne.

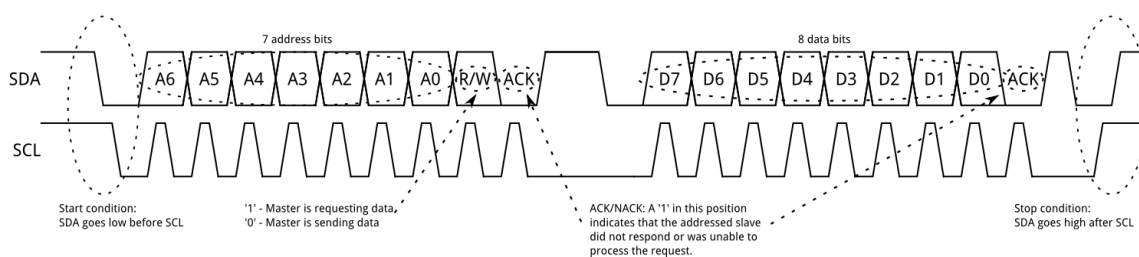
Rozhranie I²C využíva dva vodiče:

- **SCL** - Serial Clock - na vodiči SCL sa šíri hodinový signál, ktorý je vysielaný zariadením *master*
- **SDA** - Serial Data - vodič SDA slúži na dátový prenos

Priebeh komunikácie, obrázok:

1. Komunikáciu zahajuje zariadenie *master* nastavením dátového bitu na vodiči SDA na logickú 0 pri SCL v logickej 1.

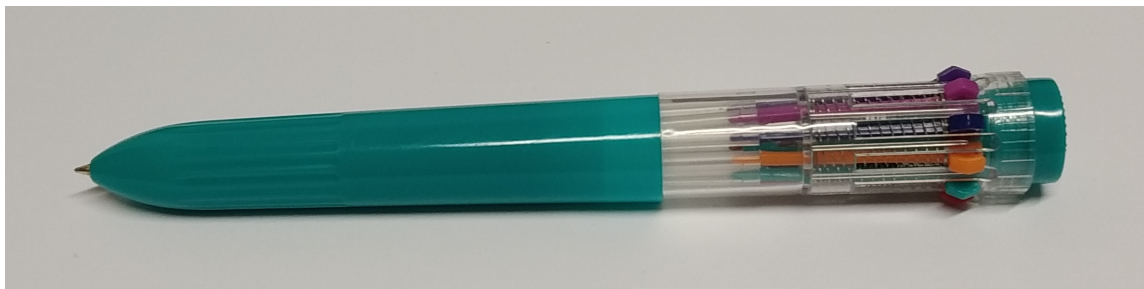
2. Odoslanie siedmych adresových bitov v adresovom rámci ako adresa zariadenia *slave*.
3. Read/Write bit, ktorý určuje či sa bude zo zariadenia čítať (*slave*→*master*) alebo sa bude do zariadenia zapisovať (*master*→*slave*).
4. Signál ACK/NACK - logická 0 znamená ACK - prenos sa podaril. Logická 1 znamená NACK - prenos sa nepodaril.
5. Dátový prenos - čítanie hodnoty na dátovom vodiči SDA prebieha vždy s nástupnou hranou hodinového signálu
6. Nakonci dátového prenosu príde signál ACK/NACK
7. Ukončenie komunikácie - Po odoslaní všetkých dát *master* zariadenie vygeneruje ukončujúcu podmienku (stop condition). Definícia ukončenia je zmena na SCL vodiči, ktorý urobí prechod z 0→1 a zostane na 1, nasledovanou zmenou na SDA vodiči z 0→1.



Obr. 3.4: Príklad komunikácie cez I²C [33]

3.4 Návrh pera

Z dôvodu šetrenia miesta bol vybraný dizajn guľičkového pera, keďže zaberá menej miesta ako plniace pero. Pero bude pozostávať z niekoľkých hlavných častí - vonkajší obal, tuha, batéria a senzory spolu s ich uchytením. Vonkajší obal bude v prvotnom prototypu vyrobený z plastového 10-farebného pera a plastovej trubky, vid. obrázok 3.5. Tuha bude umiestnená klasicky v strede pera. Kvôli ušetreniu miesta nepočítame so zapínacím mechanizmom a radšej sme sa rozhodli pre riešenie s použitím uzáveru, ktorý sa vyrobí v neskoršej časti vývoja a mal by pridať aj na luxusnejšom pociť z pera. Rozhodli sme sa pre kovovú tuhu do guľičkového pera, pretože sme vybrali tlakový odporový senzor a potrebujeme, aby tuha nebola flexibilná.



Obr. 3.5: Desaťfarebné pero použité ako vzor



Obr. 3.6: Dve časti obalu pera

3.4.1 Obal pera

Veľkosť pera je zásadným parametrom, ktorý musíme brať do úvahy. Pero by malo byť rozumne veľké, príjemné na úchop, nie príliš dlhé, pevné a rozumne ťažké. Vybrať vhodný typ pera nie je jednoduché, no keďže počítame s tým, že ľudia považujú za luxusnejšie veci tie, ktoré majú väčšiu hmotnosť a sú väčšie, vybrali sme „luxusný“ dizajn pera 3.7. To nám hrá do karát, keďže chceme do pera skryť elektroniku musíme vybrať takú hrúbku, aby sa do neho zmestila. V našom prípade pre potreby testovania celú platformu Arduino Nano s mikroSD modulom a senzorom pohybu MPU-6050.

Základné delenie pier je na guľčkové a plniace. Plniace perá majú väčšinu svojho objemu už zabranú plniacim mechanizmom a teda sme ich rovno vylúčili. Vybrali sme preto dizajn guľčkového pera, ktorý je jednoduchší, obvyklejší a ľahko upraviteľný:

- je možné úplne vynechať zapínací mechanizmus
- na zatváranie pera sa môže použiť uzáver
- tuha sa môže ľubovoľne skratiť podľa potreby
- máme k dispozícii široký výber túh

Pri návrhu pera je nevyhnutné počítať s chybným úchopom pera [27] a z toho dôvodu eliminovať tento nežiadany faktor. Ak chceme zabezpečiť štandardnosť úchopu naprieč všetkými užívateľmi, navrhujeme použiť trojuholníkový tvar podstavy pera, ktorý donúti pisateľa k správne držaniu pera. Na druhej strane ak chceme zabezpečiť autenticitu pri podpisovaní, mali by sme použiť najbežnejší tvar pera a teda valcový dizajn. Náš zbežný prieskum luxusných pier ukázal, že trojuholníková podstava sa takmer nevyskytuje a ak áno tak len v oblasti úchopu. Z tohoto dôvodu sme sa rozhodli pre valcovú podstavu.

V prvom prototypy sme vytvorili dizajn zložený z dvoch častí, keďže sa budeme chcieť dostať do vnútra pera a jednoducho upravovať rôzne parametre ako umiestnenie tuhy v pere a jednoduchý servis, viď. obrázok 3.6.

Obal sme si vytlačili na 3D tlačiarňi. Priemer podstavy pera bol 17.5mm a rúbka steny v prvom prototypy bola 1 mm a tlač bola vykonaná priečne s dĺžkou pera, čo sa neosvedčilo, pretože pero nemalo dostatočnú pevnosť a po chvíli používania sa zlomilo. Plastový materiál zachránilo sekundové lepidlo a opatrnejší prístup zabezpečil, že sa obalu už nič nestalo.

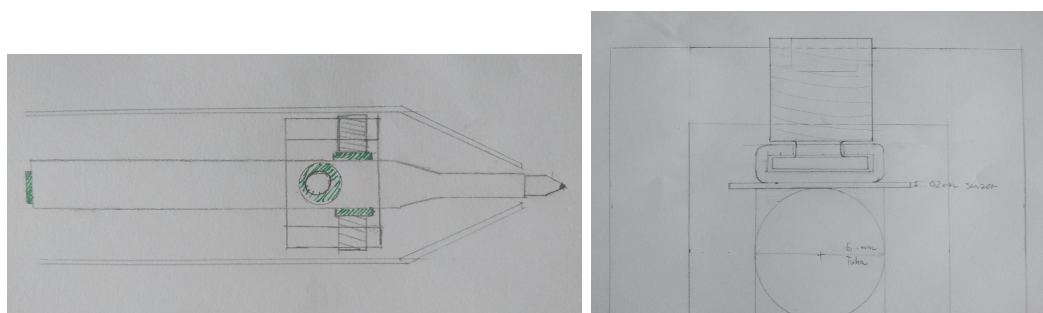


Obr. 3.7: Príklad luxusného pera [22]

Druhý výtlačok sme vylepšili zväčšením hrúbky steny smerom von na 2 mm a teda sme aj zväčšili celkový priemer pera na 20 mm. Tlač bola vykonaná pozdĺžne vďaka čomu pero nemá tendenciu sa lámať.

3.4.2 Uchytenie tlakových senzorov

Na uchytenie tlakových senzorov bol použitý prstenec s prítlačnými skrutkami (česky „stavečí skrutky“) s plastovou dosadacou plochou valcového tvaru s priemerom ϕ 3 mm.

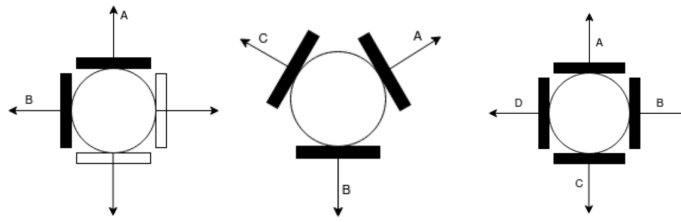


Obr. 3.8: Pôvodný návrh uchytenia tuhy (vľavo) a uchytenie tlakového senzora (vpravo)

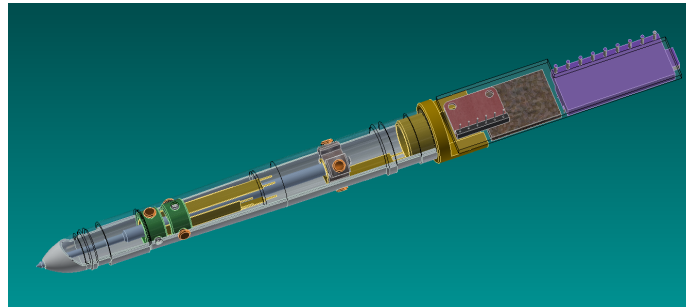
Keď chceme určiť akou vzorkovacou frekvenciou chceme analógové hodnoty tlaku na hrot čítať potrebujeme vedieť čas a dĺžku napísaného textu. Ak sa zamyslíme pri akej príležitosti človek vykoná najrýchlejší pohyb rukou, tak nám jednoznačne napadne podpisovanie. Pri podpisovaní človek robí automatizovaný pohyb, ktorý má proste „v ruke“ (z angličtiny muscle memory). Urobil som experiment na niekoľkých subjektoch, ktorým som nepovedal, čo meriam a nechal som ich podpísať sa. Odstopoval som koľko im trvalo ich bežné podpísanie a hodnoty som si zaznamenal. Toto testovanie prebiehalo na malej vzorke 10 ľudí a jeho cieľom bolo nájsť najrýchlejší podpis - keďže by sme chceli, aby pero dokázalo pracovať aj v náročných podmienkach. Potrebovali sme len referenčnú hodnotu podľa ktorej by som vedel vybrať vhodný mikrokontrolér s vhodným A/D prevodníkom.

Tento experiment by sa mohol vylepšiť použitím pera s jedným tlakovým senzorom, ktorý by si pri začiatku podpisu zaznamenal čas a pri detekovaní tlaku by zaznamenal úvodný čas a na konci by zaznamenal koncový čas. Takto by sme dostali presnejšie hodnoty.

Experimentálne sme zistili, že najrýchlejší podpis trvá len 0.8 s, pričom nevyklúčujeme možnosť rýchlejšieho podpisu. Ak budeme chcieť vzorkovať podpis povedzme po 1 mm

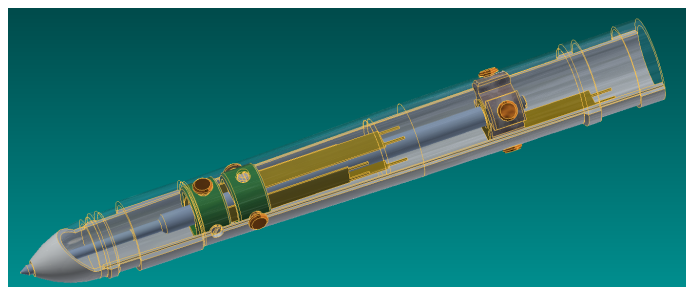


Obr. 3.9: Rôzne typy rozmiestnení tlakových senzorov okolo tuhy, zľava dva, tri a štyri senzory

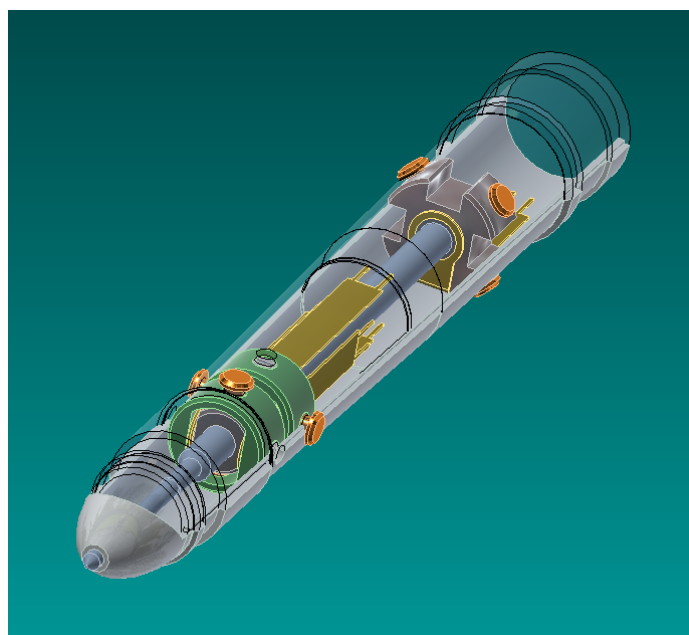


Obr. 3.10: Výsledný dizajn

musíme zmerať dĺžku podpisu. V tomto prípade sa jednalo o dĺžku asi 60 mm. Ak si to prevedieme trojčlenkou výjde nám, že za 1 sekundu urobí 75 mm a teda potrebujeme 75 vzorkov za sekundu - 75 Hz. Experimentálna vzorkovacia frekvencia vo výskume z roku 1990 [30] bola 105 Hz pričom rozlíšenie bolo nastavené na 0.025 mm s presnosťou 0.25 mm. Z tohoto dôvodu nastavíme aj my vzorkovaciu frekvenciu na hodnotu 100 Hz.



Obr. 3.11: Rozmiestnenie tlakových senzorov v prednej časti pera



Obr. 3.12: Rozmiestnenie tlakových senzorov v prednej časti pera na iný pohľad

Kapitola 4

Realizácia riešenia

Táto kapitola bude pozostávať z dvoch častí hardvérovej a softvérovej. V hardvérovej časti si popíšeme zapojenie jednotlivých častí, z ktorých sa pero skladá, a ich umiestnenie v pere. V softvérovej časti popíšeme ako sme naprogramovali komunikáciu s periférnymi zariadeniami.

4.1 Zapojenie súčiastok

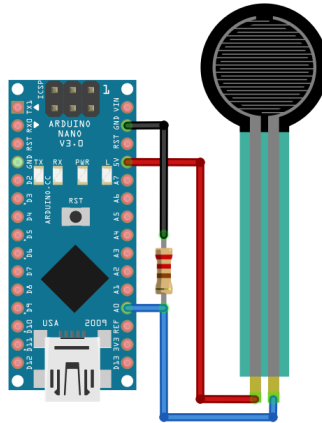
V tejto časti popíšeme zapojenie súčiastok k platforme Arduino Nano. Všetky nasledujúce diagramy zapojení obvodov boli vytvorené pomocou open-source nástroja na tvorenie hardvérových modelov fritzing.org.

Arduino	microSD modul
5V	+5V
GND	GND
D11	MOSI
D4	SS
D13	SCK
D12	MISO

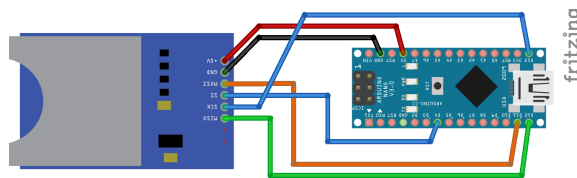
Tabuľka 4.1: Tabuľka prepojení pinov Arduino Nano s SD kartou

Arduino	MPU
5V	VCC
GND	GND
A4	SCL
A5	SDA

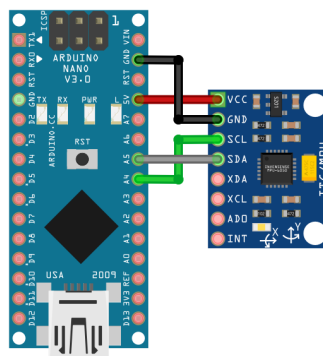
Tabuľka 4.2: Tabuľka prepojení pinov Arduino Nano s MPU6050



Obr. 4.1: Zapojenie tlakového senzoru



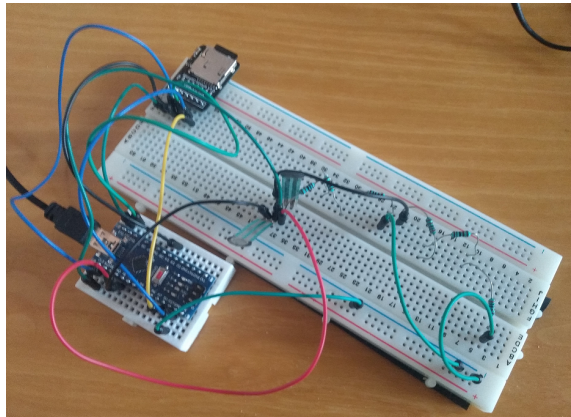
Obr. 4.2: Zapojenie microSD modulu



Obr. 4.3: Zapojenie pohybného modulu MPU6050

4.2 Experimenty

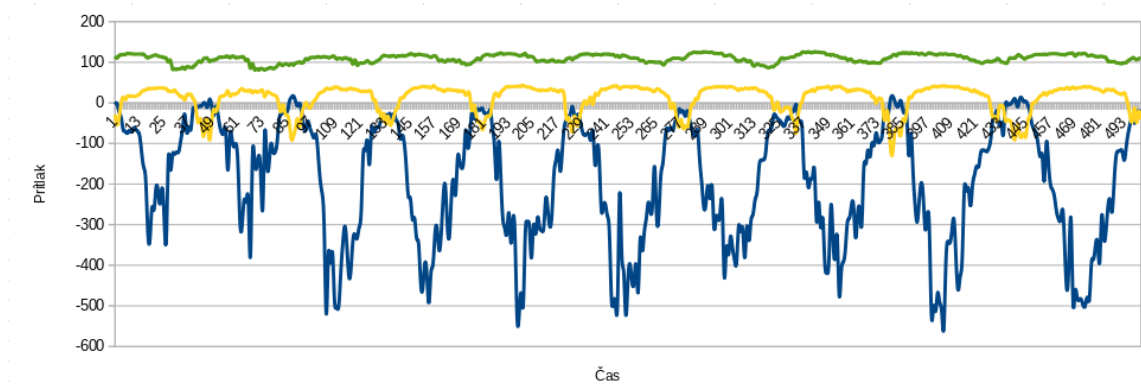
4.2.1 Testovanie súčiatok



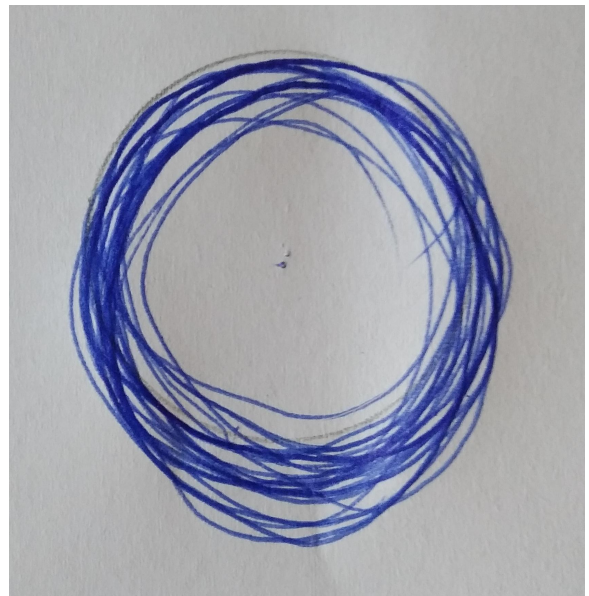
Obr. 4.4: Ukladanie dát na pamäťovú kartu

4.2.2 Problémy

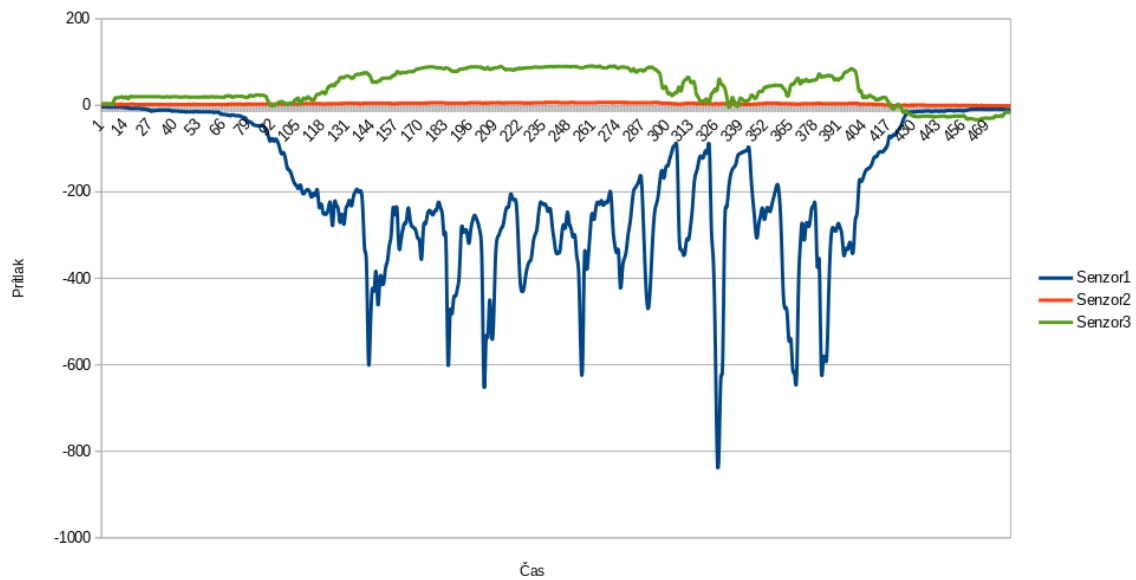
4.3 Vyhodnotenie výsledkov



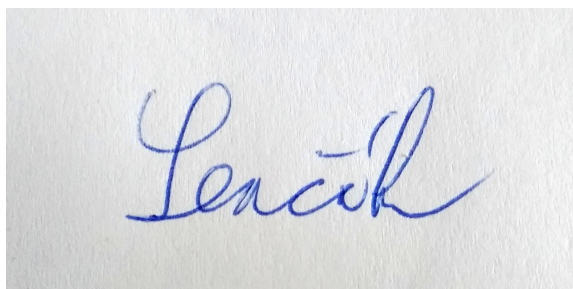
Obr. 4.5: Výsek priebehu prítlaku v čase, x-ová súradnica znázorňuje vzorky v poradí v čase, y-ová zobrazuje rozdiel počiatkovej hodnoty a aktuálnej hodnoty napätia získanú z tlakového senzora



Obr. 4.6: Test písania kružnice



Obr. 4.7: Priebeh prítlaku v čase pri podpise, viď, obrázok 4.8, x-ová súradnica znázorňuje vzorky v poradí v čase, y-ová zobrazuje rozdiel počiatkovej hodnoty a aktuálnej hodnoty napätia získanú z tlakového senzora



Obr. 4.8: Test podpisu

Kapitola 5

Záver

Cieľom tejto práce bolo naštudovať problematiku behaviorálnych vlastností pri písaní a podpisovaní, vyhľadať vhodné komponenty a navrhnúť vhodné technické riešenie, ktoré bude schopné tieto vlastnosti zaznamenávať.

Na splnenie cieľa sme si preto našli už existujúce technické riešenia a zistili na akých princípoch fungujú. Navrhli a vytvorili sme pero so skrytými senzormi, ktoré je schopné zaznamenávať dynamické vlastnosti písma. Medzi tieto vlastnosti patrí dynamika písania, prítlak na podložku alebo uhol, ktorý zvierá pero s podložkou.

Nami vytvorené riešenie využíva platformy Arduino Nano, ku ktorému sú pripojené senzory tlaku FSR400 a senzor pohybu MPU-6050. Obal pera sme si nechali vytlačiť na 3D tlačiarňi, poskladali a otestovali.

Literatúra

- [1] *Apple pencil forum*. 2016 [cit. 2019-08-01]. Dostupné z: <http://forum.tabletpreview.com/threads/conspiracy-theory-the-secret-of-the-mysterious-apple-pencil.70784/page-6>.
- [2] 5DTVIDEOS. *5DT Data Glove - Basic demonstration (5DT Fifth Dimension Technologies)* [online]. 2018. 2020 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=YTQqkpwCzVA>.
- [3] ARDUINO SHOP.CZ. *Vývojová deska ARM STM32F103C8T6* [online]. 2019. 2019 [cit. 2019-08-01]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/1135-vyvojova-deska-arm-stm32f103c8t6-stm32.html>.
- [4] CORKE, P. *Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. 81–84 s. Springer Tracts in Advanced Robotics. ISBN 9783642201431.
- [5] CORKE, P. *Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB® Second, Completely Revised, Extended and Updated Edition*. 2nd ed.. 2017. 79–81 s. Springer Tracts in Advanced Robotics Ser. ISBN 9783319544137.
- [6] CRANE, H. D. a OSTREM, J. S. Automatic signature verification using a three-axis force-sensitive pen. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. IEEE. 1983, SMC-13, č. 3, s. 329–337. ISSN 0018-9472.
- [7] CRANE, H. a SAVOIE, R. Special Feature: An On-Line Data Entry System for Hand-Printed Characters. *Computer*. IEEE. 1977, zv. 10, č. 3, s. 43–50. ISSN 0018-9162.
- [8] DEVICES, A. *SPI: Serial Peripheral Interface* [online]. 2011. 2020 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://wiki.analog.com/resources/eval/sdp/sdp-b/peripherals/spi>.
- [9] DRAHANSKÝ, M. *Biometrie*. 1. vyd. Brno: M. Drahanský], 2011. 13–19 s. ISBN 978-80-254-8979-6.
- [10] EERNISSE, E., LAND, C. a SNELLING, J. Piezoelectric sensor pen for dynamic signature verification. In: *1977 International Electron Devices Meeting*. IRE, 1977, s. 473–476.
- [11] ESAT, Y., JOHN, L., KVAL, B. V. a KISHORE, S.-R. *Authenticating with Active Stylus*. 2013.
- [12] GALAN, W. *Apple Pencil Teardown* [online]. 2015. 2020 [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://www.ifixit.com/Teardown/Apple+Pencil+Teardown/52955>.

- [13] GEOFF, W. *FSR® 400 Series Data Sheet* [online]. 2014 [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: www.walkermobile.com/SID_2014_Short_Course_S1.pdf.
- [14] HARLEY, J. A. a SIMON, D. I. *Active stylus*. 2013.
- [15] INTERLINK ELECTRONICS, I. *FSR® 400 Series Data Sheet* [online]. 2019 [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/file/0J748/FSR400Series-PD-13.pdf>.
- [16] ISKNREPAPER. *The Slate 2 How it works* [online]. 2017. 2020 [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=RqY7-DGxawQ&t=21s>.
- [17] KAMEL, N., SAYEED, S. a ELLIS, G. Glove-Based Approach to Online Signature Verification. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. IEEE. 2008, zv. 30, č. 6, s. 1109–1113. ISSN 0162-8828.
- [18] KANADE, T. *Biometric Authentication: First International Conference, ICBA 2004, Hong Kong, China, July 15-17, 2004. Proceedings*. 1st ed.. 2004. 16–22 s. ISBN 9783540259480.
- [19] MOHD YASIN, F., ZAIYADI, N., NAGEL, D., ONG, D., KORMAN, C. et al. Noise and reliability measurement of a three-axis micro-accelerometer. *Microelectronic Engineering*. Elsevier B.V. 2009, zv. 86, č. 4, s. 991–995. ISSN 0167-9317.
- [20] MOJDL, L. In: *Encyklopedie písem světa I*. Libri, 2005. ISBN 8072772880.
- [21] NAKANISHI, I., SAKAMOTO, H., ITOH, Y. a FUKUI, Y. DWT domain multi-matcher on-line signature verification system. In: *2005 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*. IEEE, 2005, s. 5413–5416 Vol. 6. ISBN 0780388348.
- [22] NOVÁK, P. *Kuličkové pero Portland L* [online]. 2020. 2020 [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://www.peranovak.cz/kulickove-pero-portland-l-sud-od-vina-zlate/>.
- [23] OLDTURKEY03. *Image Metadata* [online]. 2020 [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://www.ifixit.com/Guide/Image/meta/j5fPn0cxtNRyCqQc>.
- [24] ORTEGA GARCIA, J., FIERREZ AGUILAR, J., SIMON, D., GONZALEZ, J., FAUNDEZ ZANUY, M. et al. MCYT baseline corpus: A bimodal biometric database. *IEE Proceedings: Vision, Image and Signal Processing*. 2003, zv. 150, č. 6, s. 395–401. ISSN 1350245X.
- [25] ORTEGA GARCIA, J., FIERREZ, J., ALONSO FERNANDEZ, F., GALBALLY, J., FREIRE, M. R. et al. The Multiscenario Multienvironment BioSecure Multimodal Database (BMDB). *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. IEEE. 2010, zv. 32, č. 6, s. 1097–1111. ISSN 0162-8828.
- [26] PATIL, B. V. a PATIL, P. R. An Efficient DTW Algorithm for Online Signature Verification. In: *2018 International Conference On Advances in Communication and Computing Technology (ICACCT)*. IEEE, 2018, s. 1–5. ISBN 9781538609262.
- [27] PISAT.SK/ www.ako-spravne. *Príklady správneho a nesprávneho písania* [online]. 2020. 2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: www.ako-spravne-pisat.sk/priklady-spravneho-a-nespravneho-pisania/.

