

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ



Bakalářská práce

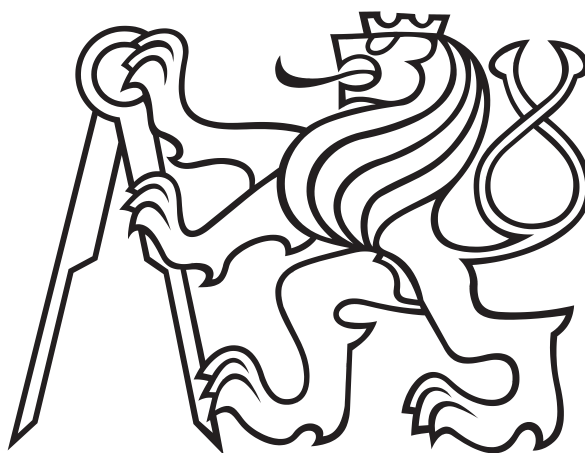
2015

Jan Hofman

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra telekomunikační techniky



Bakalářská práce

2D kapacitní senzor zatížení s textilní strukturou

Autor: Jan Hofman

Vedoucí práce: Ing. Bc. Lukáš Vojtěch, Ph.D.

květen 2015

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra telekomunikační techniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Hofman Jan**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika
Obor: Síťové a informační technologie

Název tématu: **2D kapacitní senzor zatížení s textilní strukturou**

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte a zrealizujte 2D senzor rozložení hmotnosti v maticovém uspořádání, využívající textilní struktury senzoru, a to včetně potřebné elektroniky. Cílem je realizovat DEMO verzi senzoru včetně vizualizace získaných dat.

Seznam odborné literatury:

- [1] Fulín, J.: Měřič indukčnosti a kapacit. Dostupné na:
http://www.pctun.czechian.net/LC_metr/LC_metr.html [on-line].
- [2] Sergio, M.; Manaresi, N.; Tartagni, M.; Guerrieri, R.; Canegallo, R.: A Textile Based Capacitive Pressure Sensor.
Dostupné na: http://www.ics.forth.gr/bioloach/internal/papers/textile_pressure_sensor.pdf [on-line].

Vedoucí: Ing. Lukáš Vojtěch, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016


prof. Ing. Boris Šimák, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 12. 12. 2014

Čestné prohlášení

Jako autor této bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s jejím vytvořením, jsem neporušil autorská práva třetích osob a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb.

V PRAZE DNE 1. 5. 2015

.....

(Jan Hofman)

Poděkování

Děkuji Ing. Bc. Lukáši Vojtěchovi, PhD. za aktivní pomoc, a to jak při psaní teoretické, tak i praktické části této bakalářské práce. Jeho věcné připomínky a postřehy mi velmi usnadnily tvorbu této práce.

Zároveň děkuji své matce, která mi byla po celou dobu studia oporou. Vytvářela mi kvalitní podmínky ke studiu a byla vždy po ruce, když jsem cokoli potřeboval.

Anotace

Obsahem této bakalářské práce je návržení tlakového senzoru s textilní strukturou. Lze ho využít například ve zdravotnictví (detektor proleženin, měření tlaku, teploty) dále v oděvním průmyslu (sportovní obleky s přístrojovou technikou) a řadu dalších použití.

Navržený senzor zahrnuje pasivní pole kondenzátorů, jejichž kapacita je dána velikostí tlaku působícího na textilií, elektroniku, která získává a zpracovává kapacitní změny a počítačový software, jež se stará o vizualizaci dat. V tomto návrhu jsou kondenzátory implementovány z vodivých vláken nanesených z obou stran, kde jedna strana je nanesena vertikálně a druhá horizontálně.

Klíčová slova

kapacitní princip, textilní struktura, tlakový senzor, zpracování dat

Abstract

The scope of this bachelor thesis is focused on design of pressure sensor in combination with textile structure and analysis software tool. The variation of usage is wide and starts from health care (detection of bedsores, pressure or temperature measurement) to clothing industry (sport clothes with electronics) and many other options.

The proposed sensor comprises passive array of capacitors, whose capacity changes with applied pressure on the textile. Electronics measures the changes of capacitance and specially written computer software visualize the out coming data. The capacitors are implemented as conductive fibers applied on both sides of the textile. One side is applied vertically and the other horizontally to create highly sensitive net.

Keywords

capacitive principle, textile structure, pressure sensor, data processing

Obsah

1	Úvod	5
2	Elektricky vodivé textilie	6
2.1	Použití inteligentních textilií	6
2.2	Koncept inteligentních vláken	7
2.3	Senzory tepla	7
2.4	Senzory lidských funkcí	8
2.5	Senzory dotyku	9
2.6	Textilní zdroje energie	11
2.7	Rukavice pro dotyk na kapacitní displeje	12
3	Senzory zatížení	13
3.1	Kapacitní princip	13
3.2	Tenzometrické senzory	15
3.2.1	Princip tenzometrických senzorů	15
3.2.2	Druhy tenzometrických senzorů	15
3.3	Piezoelektrické senzory	17
3.4	Senzory s použitím optiky	18
3.4.1	Zastínění fotodiody clonou	18
3.4.2	Využití vlastností optického vlákna	18
3.5	Magnetoelastické a magnetoanizotropní senzory	19
3.6	Senzory s povrchově akustickou vlnou	19

4	Výroba senzoru a zpracování dat	20
4.1	Drátová matice s textilií	20
4.1.1	Připojení matice k vyhodnocovacímu obvodu	21
4.2	Mikroprocesor PIC32	21
4.2.1	Multiplexování	21
4.2.2	Detekce změny kapacity	22
4.2.3	Obsluha ENC28j60+TCP/IP stack	23
4.2.4	Implementace software v PIC32	25
4.2.5	Napájení obvodu	25
5	Zpracování dat	26
5.1	Packet sniffer	26
5.2	OpenCV	27
5.2.1	Homogenní kernel	28
5.2.2	Gaussovský kernel	28
5.2.3	Biletírní kernel	28
5.2.4	Medianí kernel	28
5.3	Implementace softwaru	29
6	Závěr	30

Obrázky

2-1	Teplocitlivá látka [2]	8
2-2	Chytré triko [4]	9
2-3	Textilní klávesnice [5]	10
3-1	Základní typy kapacitních senzorů	14
3-2	Princip tenzometru	15
3-3	Kovový tenzometr	16
3-4	Polovodičový tenzometr	16
3-5	Piezoelektrický element	17
3-6	Princip zastiňování	18
3-7	Ohyby optického vlákna	18
3-8	Princip SAW	19
4-1	Schématické zobrazení senzoru	20
4-2	Zapojení obvodu	22
4-3	Průběhy obvodu	23
4-4	Software v PIC32	25
5-1	Software v PC	29

Seznam zkratek

VT	Výpočetní technika
EKG	Elektrokardiogram
3D	3-rozměrné
SWAY	Tepelně citlivá barviva spojená s pryskyřicí
SITF	Smart Intelligent Textile Fabrics
GTWM	Georgia Tech Wearable Motherboard
PDA	Personal Data Assistant
GPS	Global Positioning System
SAW	Surface Acoustic Wave
IDT	Interdigital Transducer
DPS	Deska plošných spojů
IDE	Integrated Device Electronics
CPU	Central Processing Unit
USB	Universal Serial Bus
OSI	Open Systems Interconnection
SPI	Serial Peripheral Interface
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
NIC	Network Interface Card
GUI	Graphical User Interface
OpenCV	Open Source Computer Vision
AKO	Astabilní klopný obvod
WiFi	Wireless Fidelity

Kapitola 1

Úvod

Vzhledem k tomu, že hmat patří k nejdůležitějším smyslům lidského těla, hraje v každodenním životě nezaměnitelnou roli. Poskytuje tělu blízký kontakt s okolními předměty a umožňuje mu zjistit, čeho se člověk dotýká. Dotykem zjistí, zda je předmět ostrý nebo hladký, velký či malý a jeho držením může odhadnout i jeho hmotnost. Kůže je nejrozšířenějším senzorem celého těla a tak dotykem zcela určitě zjistí i teplotu předmětu, kterého se dotýká. Pomocí hmatu dostane tedy tělo prvotní informace, čeho se vlastně dotýká i bez pocitu tlaku působícím na lidském povrchu.

Těchto vjemů se využívá i v oblasti výpočetní techniky (VT). S vývojem přenosné VT se potřeba tohoto využití ještě zvýšila. Lidský faktor je nahrazován tlakovými senzory, které umožňují rozšíření použití techniky. Senzory jsou elastické a mohou pokrýt i trojdimenzionální povrch. Jejich využití se osvědčilo i v extrémních podmínkách, neboť i tam spolehlivě zajišťují přesná měření [1].

Následující text je věnován moderním trendům textilních struktur a principům zpracování jejich signálů. Praktická část této práce je věnována vlastní konstrukci zařízení, které využívá textilní strukturu k vyhodnocení zatížení.

Kapitola 2

Elektricky vodivé textilie

Elektricky vodivé textilie se rozdělují do dvou kategorií. První kategorii tvoří aktivní textilie, které rozeznávají změny vnějších podnětů a reagují na ně, např. mění barvu v závislosti na teplotě. Druhou kategorií jsou pasivní textilie. Jsou citlivé na vnější podněty, např. čidla a indikátory stavu okolí [2].

2.1 Použití inteligentních textilií

Základním využitím vodivých materiálů je jejich použití pro elektromagnetické stínění a vedení proudu. Vodivá vlákna (staplová nebo nekonečné vlákno) se mísí s nevodivými vlákny a z toho se vyrábí textilie, která se používá jako stínící prvek elektromagnetického záření. Mohou mít antistatické účinky, které závisí na tom, jak moc jsou vodivá. Mají objemový a povrchový odpor v určitém rozsahu hodnot dle normy. Elektricky vodivé materiály jsou rovněž tepelně vodivé, využívají více kovů než polymerů a zároveň vyžadují minimum tepelné izolace. Proto jsou používány při výrobě sportovních obleků s přístrojovou technikou.

Další vodivá vlákna jsou vlákna uhlíková. Jejich struktura umožní čtení polohy na štítku výrobku a bodu přitlaku jako např. přitlak prstu. Toto značkování je možné proto umístit do elastické fólie, která umožní její přizpůsobení do trojrozměrného (3D) tvaru a přesné měření polohy v souřadnicích X-Y. Měření lze odečítat v závislosti na síle a ploše, což umožní rozlišení tlakového vstupu odrazu od mírného pulsu.

Podle konstrukce výrobku a podle citlivosti na sílu či plochu je odečítání proměnlivé. Tato technologie umožňuje vpravení tlakově citlivých, neviditelných senzorů do textilie a to při minimálním zvýšení ceny a beze změn vlastností textilií. Elektricky vodivé materiály se používají pro ohřev oděvů do extrémně chladného počasí. K výhřevu je třeba vnějšího elektrického zdroje, protože teplo vzniká jouleovým jevem. Tepelná vodivost umožňuje rozvod tepla celým oděvem. Vodivé textilie se používají také ke konstrukci antén, kde se využívá jejich schopnost zachycovat elektromagnetické vlny. V neposlední řadě se vodivých textilií využívá jako zdrojů elektrické energie pro elektronická zařízení umístěných v textiliích např. využití slunečních buněk. Principem je vytváření napětí a proudu elektroluminiscencí. Po osvětlení materiálů dochází k excitaci elektronu a na elektrodách vzniká napětí. Elektronika umístěná do oděvů je velmi využívaným pomocníkem při kontrole životních funkcí člověka. Je schopna zaznamenávat např. činnost srdce, tep a tlak nositele, dechovou frekvenci, teplotu, EKG (elektrokardiogram). Případné vybočení organismu oznámí lékařům [2].

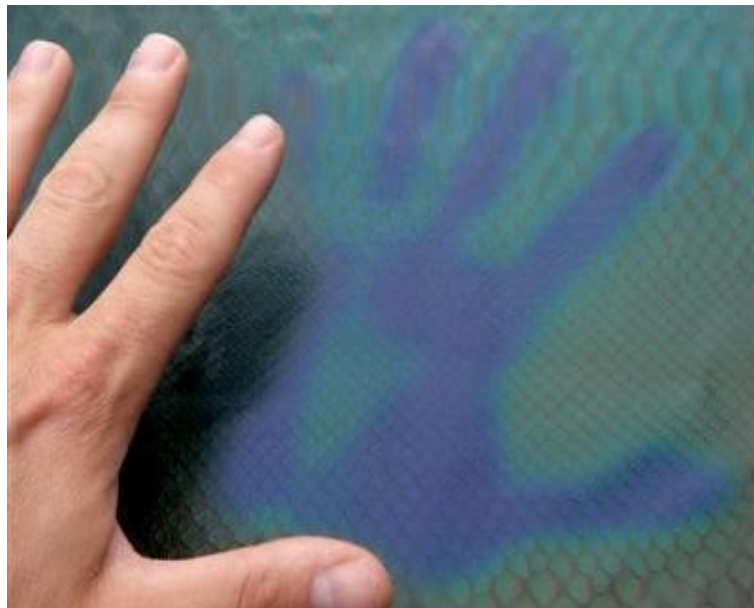
2.2 Koncept inteligentních vláken

Inteligentní vlákna se používají k výrobě elektricky a tepelně vodivých výrobků. Využívají se k tomu dva typy materiálů: kovy a polymery, ty se využívají pro oba typy vodivosti. Jsou si podobné a jsou způsobeny pohybem nabitých částic v materiálu. Pro elektricky vodivé výrobky se využívá povrchová úprava s tekutými barvivy (inkousty) a příze s přidáním vysokého obsahu kovů, který zajišťuje komfort požadovaný pro obleky. Přídavek mědi, stříbra a uhlíku v povrchových vrstvách textilií různé síly zajišťuje jejich vhodné fyzikální a elektrické vlastnosti [2].

2.3 Senzory tepla

Změnu barvy oblečení docílíme přidáním teplocitlivého pigmentu do látky a to při změně teploty okolního prostředí. Při využití termoelektrického jevu můžeme docílit pohlcení tepla při fyzické námaze a jeho následné vyloučení. Tepelně citlivá

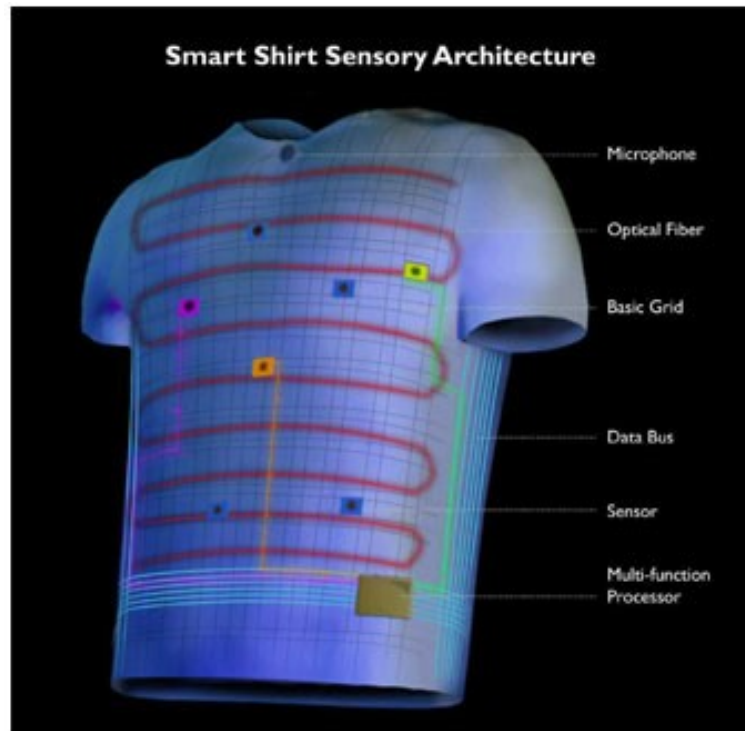
barviva spojená s pryskyřicí (SWAY [2]) reagují změnou barvy textilie na okolní teplotu. SWAY mění teplotu od 5°C do 80°C, využívá se pro měření teploty člověka nebo okolí, ve kterém se nachází. Ostatní typy SITF (Smart Intelligent Textile Fabrics [2]) jsou vyhřívány elektricky jouleovským teplem a mění barvy současně s působením tepla a užitím termoschromních materiálů. Některá vlákna mění barvu při styku s kapalinami např. s vodou nebo plyny. Tento jev se nazývá solvatochromismus [2].



Obr. 2-1: Teplocitlivá látka [2]

2.4 Senzory lidských funkcí

Oblečení využívá optických vláken k detekci zranění a speciální čidla monitorují zdravotní stav. Jedná se o tzv. lékařská čidla. Textilní e-soustava GTWM (Georgia Tech Wearable Motherboard [3]) je tkanina vytvořená z polymerových optických vláken a jiných speciálních inteligentních nití a tvoří integrovanou e-textilii.



Obr. 2-2: Chytré triko [4]

Systém GTWM určuje přesnou polohu fyzikálního problému na těle a podá informaci během několika sekund. Dále je pak možné nastavovat čidla v souladu s požadavky uživatele [2],[4].

2.5 Senzory dotyku

Dalším stupněm vývoje je vytvoření jednovrstvové klávesnice s kapacitními čidly, kde izolované bodové kontakty jsou vyšité hedvábím. Dotyk prstu s elektrodou zvýší celkovou kapacitu a to s využitím jednoho dvojsměrného digitálního I/O (input/output) přepínače u každé elektrody a propouštěcího odporu umístěného do příze s vysokým odporem.

K zjištění potřeb nositele obleku se využívá maticové uspořádání kapacit. Signál se mění také změnou tlaku. Klávesnice se již masově vyrábí s využitím vyšivací technologie a mírně vodivých nití. Jedná se o klávesnici, která je ohebná, trvanlivá a

s reakcí na pouhý dotek. Destička tištěného spoje má prvky nutné pro kapacitní spoje a výstup signálu po stlačení místa klávesnice, jaký představuje tok sériových údajů vystupujících z klávesnice. Destička s obvody má dotyk s elektrodami přes kruhovou vložku na rubu struktury elektrod.



Obr. 2-3: Textilní klávesnice [5]

Mezi nejznámější výrobky založené na stejném principu jako klávesnice je bunda (sako) KENPO, která obsahuje integrovanou MP3 čtečku. Metodu výroby snímačů z textilu vyvinula Britská společnost Eleksen. Tento způsob výroby spočívá v začlenění elektronických komponentů přímo do oděvů nebo např. do dětských textilních hraček. Látky, které jsou použity při jejich výrobě jsou kombinací speciálních vodivých a běžných textilních vláken. Skládají se ze dvou vnějších vodivých vrstev, mezi kterými je izolační vrstva. Do jednotlivých vrstev jsou vetkána jednotlivá vodivá vlákna a jsou napájeny z malé baterie. Napětí mezi samostatnými vrstvami lze podle potřeby měřit. Při stlačení látky se změní odpor mezi vrstvami a tím i měřené napětí. Změny napětí dovolují zjistit velikost tlaku i jeho místo působení. Inteligentní látky jsou značně odolné proti poškození velkým tlakem. Textilní senzory mohou měřit i vlhkost. „Intelligentní textilie“ jsou pružné, zpracovávají se běžným šitím a ošetřují se praním. Firma Eleksen je používá např. i při výrobě klávesnice pro PDA (Personal Digital Assistant) nebo mobilní telefony, které lze svinout do ruličky. V nemocnicích umožňují citlivé textilie sledovat, zda pacient leží na lůžku. S využitím zvláštních ovládacích prvků integrovaných do polstrování se využívají i u sedadel v letadlech nebo vlacích. Citlivé textilie, které jsou využity při výrobě panenek na hraní umožní, že změnou

tlaku na povrch panenky se hračka např. rozesměje nebo rozpláče. V České republice se vývojem a výrobou těchto textilií zabývá plzeňská firma Applycon. Produkuje např. obleky, které umožňují telefonování, poslech hudby nebo ovládání kamery. Dále odolné bundy se solárními články, světelnými zdroji, GPS (Global Positioning System) anténou a senzory, které reagují na venkovní podněty včetně zaměření laserových zbraní. Je možné do nich zapojit topné systémy a solární články na dobíjení elektroniky. Lidé při jejich použití mají volné ruce na práci a přitom komunikují s okolím. V případě potřeby mohou být sledovány i jejich životní funkce. Oděv umí vydávat radiové, zvukové i vizuální signály. Jeho součástí je velmi lehká centrální elektronická jednotka a systém propojovacích kabelů, např. nylonová nebo karbonová vlákna zakončená speciálními konektory. Záchranáři využívají kameru na oděvu k monitoringu celé akce [2],[6].

2.6 Textilní zdroje energie

V současné době vědce celého světa zaměstnává myšlenka, jak a čím nahradit klasické zdroje energie. Zatím se jim úspěšně daří vyvíjet zdroje s poměrně malou kapacitou, ale i tyto objevy si našly široké využití.

Čeští vědci z Vysokého učení technického v Brně se dali cestou vývoje speciální fotovoltaické textilie. Realizaci tohoto projektu odstartoval vývoj tzv. smart materiálů, polymerů, které byly vhodnou modifikací upraveny tak, že mají vlastnosti polovodičů. Proto je možné používat je v elektronice.

Zmíněné materiály po rozpuštění umožní přípravu senzoru s požadovanými vlastnostmi. Výsledek, ve formě pasty nebo inkoustu, se aplikuje potažením nebo vytisknutím na látku a tím se stane její součástí. Oblečení z tohoto materiálu by pak fungovalo jako nabíječka. Fotovoltaický materiál by se mohl používat i na výrobu drobnějších věcí, např. tašky, která dobije notebook nebo tablet. Zatím je však třeba počítat s menší účinností a dvouletou životností. Možností využití se i přes tyto nedostatky nabízí celá řada, např. fotovoltaické markýzy, záclony nebo zastínění.

Velký zájem o podobné materiály mají automobilky pro interiéry svých vozů.

Další cestou pro tvorbu jiných zdrojů energie je např. výroba speciálního panelu, který přeměňuje zvukové vlny na elektřinu. V praxi jde o to, že tričko vybavené tímto panelem ve formátu A4 pomocí mikrofonu a piezoelektrického filmu pohlcuje zvukové vlny, které se prostřednictvím křemenných krystalů převádějí na elektrický náboj. Ten je následně ukládán v malém cestovním zásobníku baterie, z něhož lze pak jednoduše dobít mobilní telefon. Takto vybavené tričko by mělo umět vyrobit až 6 Wh za dva dny při hluku úrovně 80 dB (běžná ulice). Tímto způsobem by bylo možné nabít dva mobilní telefony nebo jeden smartphone. Jednalo by se však o tzv. rychlé dobíjení, ne plné nabití.

Výzkumníci z Polytechnické školy v Montrealu v Kanadě přišli s revolučním vynálezem. Vytvořili prototyp flexibilní baterie, která může být vetkaná do tkaniny. Jde o první lithium-iontovou baterii, která nepotřebuje tekutý elektrolyt. Je tvořena ze sendvičových vrstev polyethylenoxidové elektrody mezi lithium-iont fosfátovou katodou a anodou lithium-titanu. Při mírném zahřátí se tyto termoplasty protáhnou do vláken a ty jsou pak následně použity pro vytvoření textilie. Jemné pásy baterie jsou integrovány do tkaniny, kde mají svou úložnou kapacitu. Vodivé nitě vpletené do látky propojují baterie, a tak vzniká inteligentní textilie [7],[8],[9].

2.7 Rukavice pro dotyk na kapacitní displeje

Při výrobě rukavic pro dotyk na kapacitní displeje jsou do celé jejich plochy vetkána tenká vlákna z kovu. U kvalitnějších modelů se používá stříbro, které má nejlepší vodivost a navíc má i antibakteriální vlastnosti. Použité vlákno je opravdu tak tenké, že poškrábání displeje v žádném případě není možné. Na pohled ani dotek nelze zjistit, že jsou tato světlá vlákna v rukavicích kovová. U levnějších modelů je stříbro nahrazeno vlákny z olova, mědi nebo oceli. Při použití této varianty existuje však riziko poškrábání displeje [10].

Kapitola 3

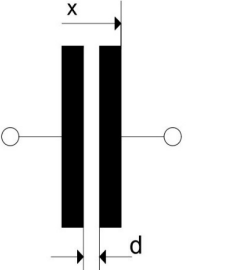
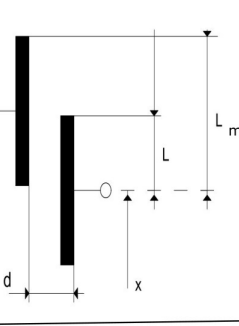
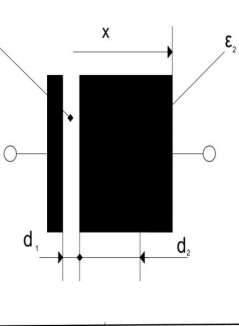
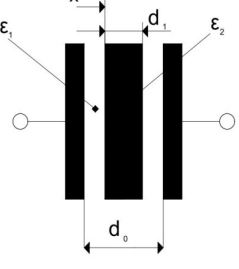
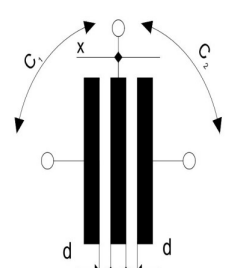
Senzory zatížení

Senzory zatížení se staly součástí našeho každodenního života. Využívají se jak v domácnostech (vážení osob, potravin atd.), tak v různých pracovních procesech (obchody, přeprava zásilek, sběrné suroviny). V následující kapitole jsou popsány základní principy, které tyto senzory využívají.

- Kapacitní senzory
- Tenzometrické senzory
- Piezoelektrické senzory
- Senzory s použitím optiky
- Magnetoelastické a magnetoanizotropní senzory
- Rezonanční senzory s povrchově akustickou vlnou

3.1 Kapacitní princip

Principem těchto senzorů je vyvolání změny kapacity kondenzátoru. Toho lze docílit změnou geometrických vlastností (změna plochy S a vzdálenost elektrod d) nebo změnou elektrické vlastnosti (permitivita ε). Na obr. 3-1 jsou uvedeny základní typy snímačů, principy fungování a jejich vztahy pro výpočet kapacity [11].

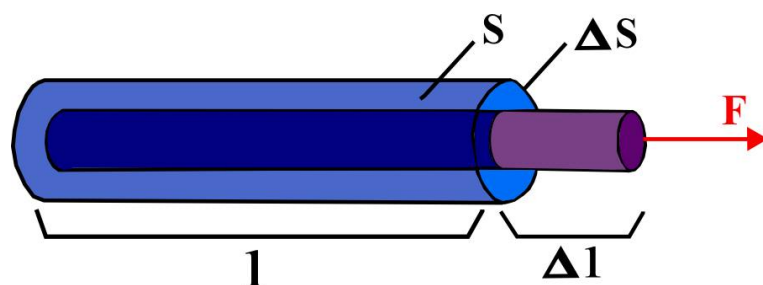
Typ	Schéma	Vztah
deskový jednoduchý s proměnnou mezerou		$C = \varepsilon \frac{S}{d(x)}$
deskový s proměnnou tloušťkou dielektrika		$C = \varepsilon \frac{S(x)}{d}$
deskový s vrstvou dielektrika s proměnnou mezerou		$C = \frac{\varepsilon_1 S}{d_1(x) + \frac{d_2 \varepsilon_1}{\varepsilon_2}}$
deskový s proměnnou tloušťkou dielektrika		$C = \frac{\varepsilon_1 S}{d_0 - d_1(x) \left(1 - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\right)}$
deskový diferenční s proměnnou mezerou		$C_1 = \varepsilon \frac{S}{d(x)}$ $C_2 = \varepsilon \frac{S}{d(x)}$

Obr. 3-1: Základní typy kapacitních senzorů

3.2 Tenzometrické senzory

3.2.1 Princip tenzometrických senzorů

Tenzometrický senzor pracuje na principu změny odporu v závislosti na deformaci tělesa, která je definována Hookoevým zákonem.



Obr. 3-2: Princip tenzometru

Na obr. 3-2 je zobrazen drát, který je fyzicky namáhán. Drát mění svůj obsah S , délku l , měrný odpor ρ díky mikroskopickým změnám. Pokud si definujeme odpor kabelu

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (3.1)$$

je patrné, že odpor R kabelu je díky deformaci odlišný.

3.2.2 Druhy tenzometrických senzorů

Z pohledu použitého materiálu lze senzory dělit na dva druhy:

- Kovové tenzometry
- Polovodičové tenzometry

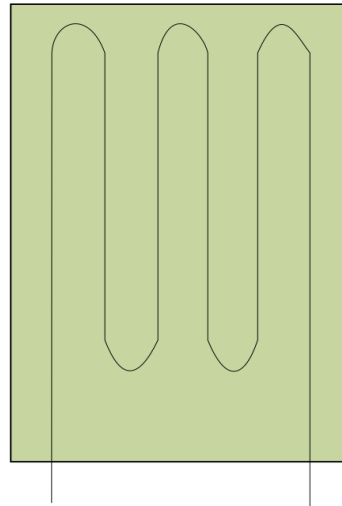
Kovové tenzometry

Kovové tenzometry se obvykle vyrábějí z konstantanu a to z důvodu jeho malé závislosti odporu na teplotě. V dnešní době se vyrábějí tři druhy tenzometrů:

- Drátkové (drátek nalepený na nevodivé ploše)

- Fóliové (kov nanesen na podložce)
- Vrstvové (kov nanesen přímo na materiál)

Kovové tenzometry se vyrábějí ve tvaru meandru, aby se dosáhlo větší změny odporu. Vyznačují se lineární změnou odporu.



Obr. 3-3: Kovový tenzometr

Polovodičové tenzometry

Polovodičové tenzometry se vyrábějí z výbrusu monokrystalického nebo polykrystalického křemíku. Oproti kovovým tenzometrům mají nelineární změnu odporu. Jejich hlavní výhodou oproti kovovým je vyšší citlivost (až 60x) [11],[12].



Obr. 3-4: Polovodičový tenzometr

3.3 Piezoelektrické senzory

Piezoelektrické senzory fungují na principu piezoelektrického jevu. Tento jev vzniká u krystalů, které nejsou středově souměrné. Základem těchto materiálů je, že v jeho krystalové mříži jsou kladné i záporné ionty, které musí být upraveny tak, aby na jedné straně byly kladné ionty a na druhé straně záporné. Jakmile je tento materiál fyzicky namáhán, částice změny svojí polohu a vznikne náboj.

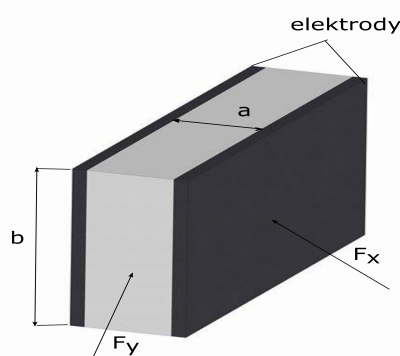
U piezoelektrických senzorů se musí brát v potaz směr mechanického napětí. Je-li směr napětí na elektrody kolmý, nazývá se tento jev podélný, působí-li rovnoběžně nazývá se příčný. Podélný jev je nezávislý na rozměrech a náboj Q je roven

$$Q = d_{11} \cdot F_x \quad (3.2)$$

Příčný jev je naopak závislý na svých rozměrech a náboj Q je roven

$$Q = d_{11} \cdot F_y \frac{b}{a} \quad (3.3)$$

kde d_{11} je nábojová citlivost [11],[12].



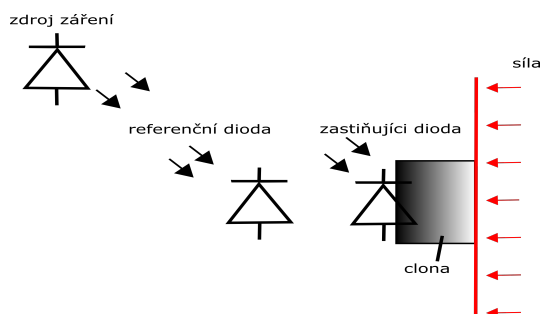
Obr. 3-5: Piezoelektrický element

3.4 Senzory s použitím optiky

Principem těchto senzorů je zhoršení podmínek pro přenos světla. V této kapitole jsou vysvětleny dva možné principy jak docílit zmiňovaného efektu.

3.4.1 Zastínění fotodiody clonou

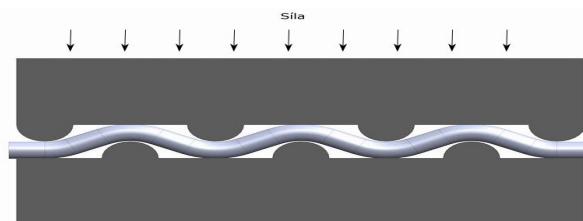
Světlo se šíří ke dvěma fotodiodám, které vytvářejí napětí. Pokud působí síla na clonu, ta se posouvá a zastiňuje fotodiodu a tím klesá napětí, které dioda vyprodukuje. Vhodnou elektronikou se docílí snadného vyhodnocení a potlačení nelinearit a kolísání světla [11].



Obr. 3-6: Princip zastiňování

3.4.2 Využití vlastností optického vlákna

Pokud je optické vlákno mechanicky namáháno, mění se jeho vlastnosti. Díky zvětšení ohybů optického vlákna dochází ke zvětšení odrazu, tím pádem i útlumu. Tyto senzory se používají v místech s vyšší teplotou nebo tam, kde nesmí být kovové části [11].



Obr. 3-7: Ohyby optického vlákna

3.5 Magnetoelastické a magnetoanizotropní senzory

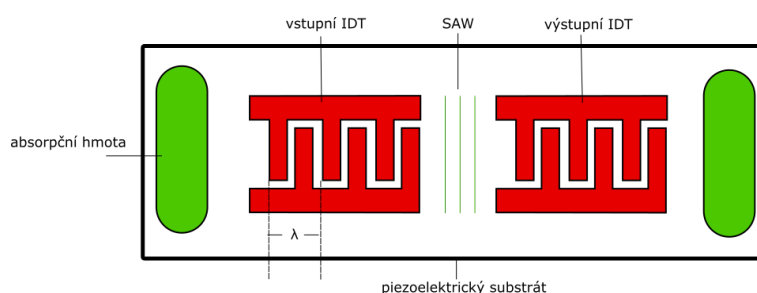
Podobně jako u tenzometrů i magnetoelastické senzory jsou závislé na mechanickém napětí σ . Při změně mechanického napětí u těchto materiálů se mění jejich permeabilita. Magnetoelastické senzory se vyrábějí z materiálů, které mají malou indukci nasycení, velkou permeabilitu a činitel magnetostrikce. Nejčastěji se používají kovová skla, která mají větší citlivost a stálejší parametry [11].

3.6 Senzory s povrchově akustickou vlnou

Senzory s povrchově akustickou vlnou (SAW) se skládají z interdigitálních měničů (IDT), které jsou nanesené na piezoelektrickém substrátu. Tyto měniče vyvolávají a přijímají povrchové vlny tzn., že elektrický signál je konvertován na akustickou vlnu a naopak. Deformací na vstupní straně se generuje elektrický signál (nepřímý piezoelektrický jev) a vyvolá SAW. Jakmile dorazí vlna k přijímací straně je opět konvertován na elektrický signál (přímý piezoelektrický jev). Při vhodném zapojení zesilovače se zpětnou vazbou dojde k vytvoření generátoru harmonického napětí o kmitočtu:

$$f_{osc} = \frac{v_{SAW}}{l} \left(n - \frac{\phi}{2\pi} \right) \quad (3.4)$$

$\lambda = \frac{v_{SAW}}{f}$, kde f je pracovní frekvence [11],[13].



Obr. 3-8: Princip SAW

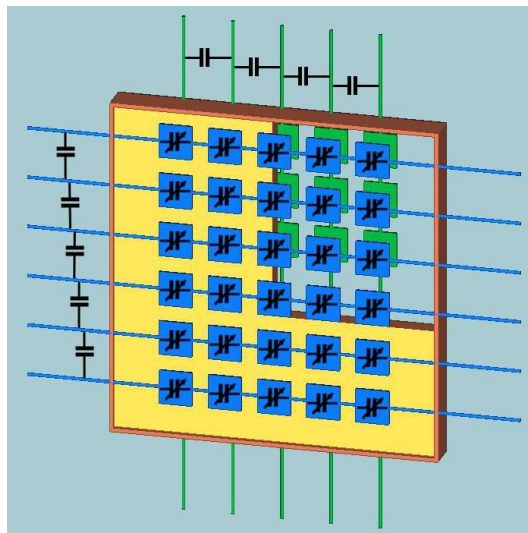
Kapitola 4

Výroba senzoru a zpracování dat

Tato kapitola je zaměřena na popsání mechanismů a návrhu elektronických obvodů, které jsou použity.

4.1 Drátová matice s textilií

Základem celého výrobku je tvorba senzoru, který bude poskytovat data, jež budou dále zpracovávána. Schématické znázornění je vidět na obr. 4-1.



Obr. 4-1: Schématické zobrazení senzoru

Je tedy patrné, že se jedná o kapacitní změny v protínajících se vodivých drátech oddělených textilní strukturou. Schématický obrázek obsahuje i parazitní kapacity

ovlivňující měření. Proto je nutno s nimi počítat a kompenzovat je. Princip funkce je velice jednoduchý. Vychází ze základního vzorce pro výpočet kapacity,

$$C = \varepsilon \frac{S}{l} \quad (4.1)$$

kde permitivita ε a plochu desek S bereme jako konstantu. Proto změna kapacity je dána změnou vzdálenosti vodivých drátů, nebo-li tlakem (silou) působící na desku.

4.1.1 Připojení matice k vyhodnocovacímu obvodu

Látková matice s vodivými drátky se skládá ze tří vrstev. Dvě vrstvy jsou pokryty vodivými drátky všitými přímo do textílie. Každý drátek je zakončen měděnou ploškou pro připájení k DPS (deska plošných spojů) a to pro každou desku zvlášť. Mezi sebou se propojují oboustrannými kolíky. Vertikální deska obsahuje konektor IDE (Integrated Device Electronics). Tento konektor má 40 pinů (24 pro vertikální směr, 16 pro horizontální) a je přiveden do DPS s multiplexory. Jednotlivé vrstvy jsou odděleny textílií, která zamezuje, aby se dostaly do zkratu.

4.2 Mikroprocesor PIC32

Tento procesor má plnou řadu funkcí, při jejichž využití není nutné mít více specializovaných obvodů. Pro tento výrobek byly využity tyto funkce:

- Obsluha multiplexorů
- Detekce změny kapacity
- Obsluha ENC28j60

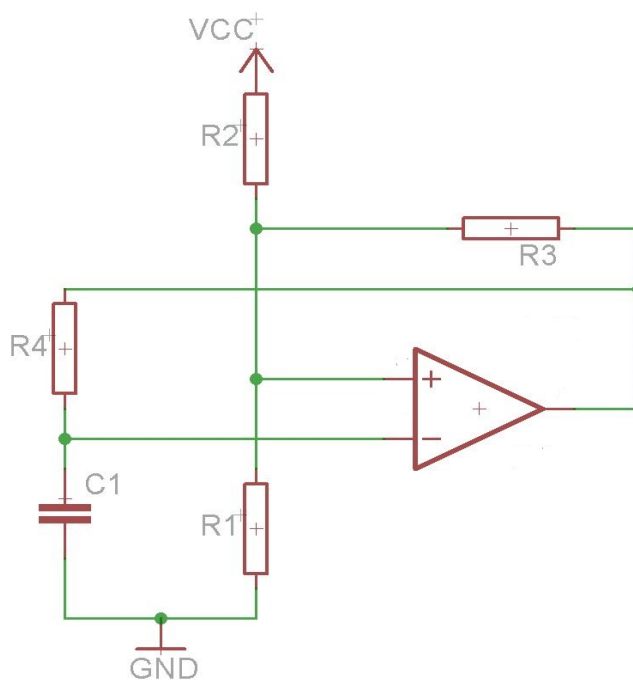
4.2.1 Multiplexování

V návrhu hraje nemalou roli multiplexování. Senzor může mít velikost řádu stovek bodů např. na ruku nebo řádu několik tisíců, pro snímání celého těla. Proto přímé zpracování je naprosto nevhodné jak z elektrického, tak z ekonomického návrhu.

Pro demo, jež bylo vytvořeno, byly využity multiplexy s označením 4067N. Tyto multiplexy jsou 16-ti kanálové a jsou adresovány čtveřicí bitu A, B, C, D. Další důležitý bit je ENABLE, který zapíná a vypíná multiplex. Senzor je tvořen trojicí multiplexů, kde se dva plně využívají pro osu x a y a třetí jen z poloviny pro osu y. Proto je schopen zpracovat až 384 bodů a na ovládní je využito 10 pinů. Pokud by bylo implementováno více multiplexů, budou se zvětšovat piny na zapínání a vypínání (ENABLE BIT). Toto ulehčení narušuje měření. Multiplex má v sepnutém stavu impedanci v řádu desítek Ω a tím se ztlumí změny kapacity.

4.2.2 Detekce změny kapacity

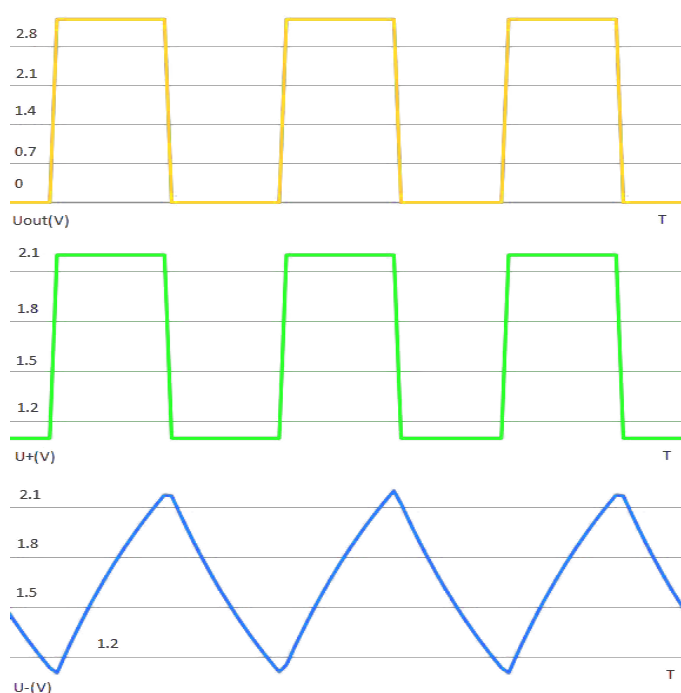
Pro vyhodnocení velikosti kapacity existuje mnoho obvodů. Pro tuto práci bylo použito ověřené zapojení astabilního klopného obvodu obr. 4-2



Obr. 4-2: Zapojení obvodu

kde rezistory R1, R2, R3 definují prahové hodnoty napětí $1/3$ a $2/3 V_{CC}$. Frekvence oscilátoru je daná rezistorem R4 a kapacitou C1. Rezistor R4 je přesný metalický rezistor, proto frekvence oscilací je dána pouze kapacitou C1. Průběhy a princip

obvodu jsou patrné z obr. 4-3



Obr. 4-3: Průběhy obvodu

kde jsou vidět průběhy nabíjení (vybíjení) kondenzátoru a při prahovém napětí překlopení obvodu. Tato frekvence je dána vzorcem:

$$f = \frac{1}{2 \cdot C1 \cdot R4 \cdot \ln(2)} \quad (4.2)$$

tento vztah platí, pokud $R1=R2=R3$.

Komparátor je přímo obsažen v CPU (Central Processing Unit), je velice kvalitní, protože je vyroben z low- R_{DS} (maloodporových) FETů. Signál se zpracovává pomocí čekací rutiny, která počítá s jakou frekvencí komparátor překlápí a zapisuje jednotlivé body do paměti, které následně pošle po síťovém kabelu do počítače [14].

4.2.3 Obsluha ENC28j60+TCP/IP stack

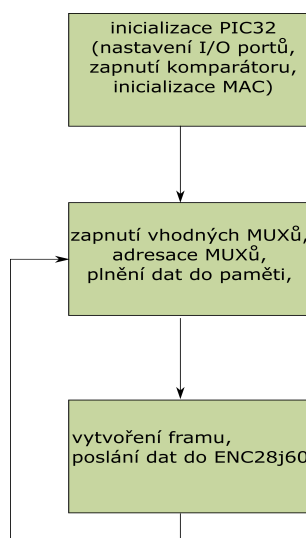
Procesor PIC umožňuje komunikaci s počítačem po USB (Universal Serial Bus), nebo také přes asynchronní přenos dat, což není moc univerzální. Proto byla vybrána komunikace pomocí ETHERNETu. PIC32 má v sobě zabudovaný modul, který

s touto technologií pracuje, ale podporuje práci jen do druhé vrstvy OSI (Open Systems Interconnection) modelu. Fyzická vrstva se musí implementovat. Použitý modul ENC28j60 převádí signál SPI (Serial Peripheral Interface) na ETHERNET, kde na výstupu je konektor RJ45. Velkou výhodou použití tohoto převodníku je podpora od firmy Microchip, která vydala soubor balíčku TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) stack. Podporuje aplikace založené na TCP/IP [HTTP (Hypertext Transfer Protocol) server, mail atd.]. Uživatel si může vytvořit i vlastní aplikaci. Stack je modulární, tzn., že není nutné znát celý TCP/IP model, ale jen specifika právě pro vybraný modul. Všechny informace o modulech, včetně jejich využití jsou popsány v dokumentu AN833. Použité rutiny a vysvětlení funkcí je v tab 4.1 [15].

Název rutiny	Funkce rutiny
MACinit()	Inicializace MAC modulu
MACIsTxReady()	Indikace, jestli jsou buffery prázdné a může se odeslat
MACPutHeader()	Nastaví MAC hlavičku a nahraje ji do bufferu
MACPutArray()	Vloží pole bytů do bufferu
MACFlush()	Pošle data

Tab. 4.1: Přehled použitých funkcí

4.2.4 Implementace software v PIC32



Obr. 4-4: Software v PIC32

4.2.5 Napájení obvodu

Celé zařízení je napájeno z napětí 3,3 V. Napájení je společné jak pro ENC28j60 tak i pro PIC32. Pro multiplexory je napájecí napětí variabilní, od 2 do 10 V, a mění jeho vlastnosti. Čím je napájení vyšší, tím jsou jeho vlastnosti lepší (nižší impedance, kratší časy překlápění). Nevýhodou multiplexu je, že spínací napětí je rovno napájecímu napětí a ne dané logickými úrovněmi LOG 1 a LOG 0. Multiplex je napájen 3,3 V, protože je ovládán z PIC32. Jeho piny vygenerují stejné napětí.

K napájení je použit transformátor 230/12 V. Výstupní napětí je pomocí stabilizátoru MC33269DT upraveno na 3,3 V. Obvod má maximální vstupní napětí 20V a jeho maximální výstupní proud je 0,6 A. Při správném zapojení a přidání kondenzátorů k stabilizátoru je napětí i při zatížení přesné.

Kapitola 5

Zpracování dat

V této kapitole je popsáno přijímání dat, jejich následné zpracování a úpravy.

5.1 Packet sniffer

Packet sniffer je program nebo zařízení, které monitoruje počítačovou síť. V praxi se využívá tento nástroj ke dvěma účelům:

- k testování správné funkčnosti sítě popř. troubleshooting (odhalení nečekaných jevů nebo chyb).
- odposlouchávání provozu na síti (napadení sítě za účelem zcizení dat, např. získání hesla WiFi).

V této práci je naprogramovaný sniffer v jazyce C++ v unixovém systému. Umožňuje jednodušší přístup k síťové kartě (NIC) a přímo implementuje funkci pro komunikaci s ní. Proto není nutné instalovat další doplňky. Program pro sniffer má za úkol vytvořit socket, který umožňuje komunikaci s protějším zařízením. Výhodou jeho vytvoření je možnost přímého nastavení protokolu. Tím dochází k filtrování provozu. Při vytvoření socketu je tedy možno přijímat a zpracovávat data rovnou pomocí funkce `recvfrom()`.

5.2 OpenCV

Pro vytvoření GUI (Graphical User Interface) je použita knihovna OpenCV (Open Source Computer Vision). Je volně dostupná, zpracovává obraz a dovoluje tak manipulaci pomocí programového vybavení. Lze ji tedy použít jak pro jazyk C, C++, Python a jiné. Aplikační oblast OpenCV zahrnuje práci s 2D i 3D objekty, různé rozpoznávací algoritmy např. rozpoznání obličeje, rozpoznání gest a další. Knihovna je multiplatformní. To znamená, že jí můžeme využívat jak na systémech unixového typu, tak na Windows.

Tato knihovna se používá pro zobrazení přijímaného framu [funkce `rectangle()`] a vytvoření vyhlazovacího algoritmu. Hlavním důvodem vyhlazení je redukce šumu tak, aby byl obrázek autentičtější. Princip algoritmu spočívá v tom, že kernel (koeficienty filtru) se pohybuje celým obrázkem a počítá hodnotu sousedních pixelů s váhou nastaveného kernelu. Matematicky vyjádřeno:

$$g(i, j) = \sum_{k, l} f(i + k, j + l)h(k, l), \quad (5.1)$$

kde $h(k, l)$ je kernel. Existují čtyři druhy kernelu:

- Homogenní
- Gaussovský
- Biletirální
- Mediání

5.2.1 Homogenní kernel

Je nejjednodušší a počítá průměr ze sousedních pixelů. Kernel vypadá takto:

$$K = \frac{1}{K_{sirka} \cdot K_{vyska}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

5.2.2 Gaussovský kernel

Je nejužívanější a je vytvořen z Gaussovského rozložení tzn., že ve středu má koeficienty největší váhy a se vzdalováním od středu se váha zmenšuje.

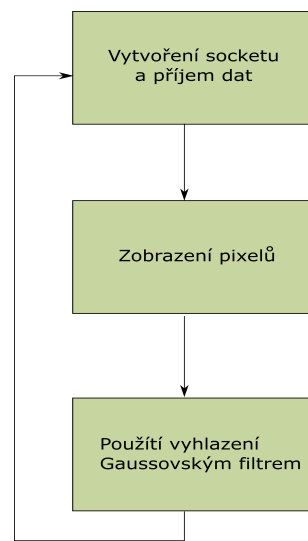
5.2.3 Biletirální kernel

Neredukuje jen šum, ale vyhlazuje i hrany obrazu. Také počítá váhy sousedních pixelů, ale bere v potaz rozdíl jejich intenzit.

5.2.4 Medianí kernel

Nahrazuje pixely mediánem sousedním pixelů [16].

5.3 Implementace softwaru



Obr. 5-1: Software v PC

Kapitola 6

Závěr

Tato práce se zabývá návrhem 2D kapacitního senzoru s textilní strukturou, který je možno využít pro vizualizaci rozložení zátěže v ploše, například jako detektor proleženin, detektor snímání pohybu nebo detektor tvaru hmotnějších předmětů.

Teoretická část se zabývá vzhledem textilní struktury, způsobem výroby a možnosti jejího využití v praxi. Zaměřuje se na principy senzoru tlaku (síly), tzn., že se zaměřuje na elektrický, magnetický nebo optický princip.

Praktická část se zabývá výrobou měřícího řetězce, který vyhodnocuje změnu kapacity v závislosti na zatížení. V první verzi byla vyrobena textilní matice z miralonu, kde na obě strany byly nalepeny měděné vodiče. Vyhodnocovalo se, zda tyto vodiče umožní generovat dostatečnou změnu kapacity. Tento pokus vyšel pozitivně. Po zvýšení tlaku na textilní matici došlo ke změně kapacity. Naměřené hodnoty v této fázi byly v řádu desítek pF. V druhé verzi je použita textilie, na kterou byla našita vodivá vlákna. V tomto případě jsou naměřeny změny kapacity senzoru v hodnotě opět v řádu desítek pF. Pro splnění zadaného úkolu je nutno převést tyto změny kapacity senzoru do vyhodnocovací elektroniky. Přenos je prováděn pomocí vedení a IDE konektoru, který je součástí DPS a tento je připájen k textili. Tím je matice senzorů spojena s vyhodnocovací elektronikou. Jednotlivá vedení matice jsou přivedena na vstupy multiplexorů. Pro správné spínání multiplexorů je

použito stejného napětí, jako na pinech procesoru (3,3 V). Toto napětí způsobuje větší impedanci odvodu a delší přepínání vstupů. Změny kapacity jsou vyhodnocovány RC obvodem, ten je vybuzen komparátorem obsaženým a naprogramovaným v procesoru. Změna kapacity ovlivňuje frekvenci oscilátoru, která je následně měřena v procesoru. Výsledek každého bodu matice je uložen do paměti a následně pomocí rozhraní Ethernet přenesen do počítače.

Zpracování dat pod operačním systémem Windows by bylo poměrně komplikované, a to z důvodu složitého přístupu k síťové kartě pomocí knihovny WinPcap. Proto je použit operační systém Unix, kde jsou implementovány knihovny pro přístupy a zpracování dat již v jádře. Vytvořením socketu s daným protokolem (0x0801) se filtruje provoz na síti. Zobrazení pixelů, které odpovídají měřeným bodům a vyhlazení jejich hran je napsané s využitím OpenCV. Po kompletním sestavení měřicího pracoviště se vyskytly problémy. Po prvním zapojení hodnoty frekvence neustále kolísaly. Důvodem byla vysoká použitá frekvence RC oscilátoru (1MHz), která měla za důsledek vysokou citlivost systému na rušení od ostatních periférií (SPI, krystal). Po snížení frekvence na 100kHz jsou hodnoty stabilní a rušení se již neprojevuje. Při testech stlačení bylo zjištěno, že senzor má malou citlivost, tedy že vyvolává malé změny kapacity oproti statickým hodnotám kapacit v měřicím řetězci. Aby celý obvod správně reagoval, je nutné vyvinout větší sílu při stlačení matice. Pro citlivější měření bude nutné vyrobit senzor, který umožní generovat větší změny kapacity nebo použít obvodové řešení, které bude mít menší parazitní vlastnosti.

Literatura

- [1] Tlakový senzor. [online]. 2002 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z:
http://www.ics.forth.gr/bioloach/internal/papers/textile_pressure_sensor.pdf
- [2] Současný stav v oboru inteligentních a interaktivních textilií.
[online]. [cit. 2015.02.01]. Dostupné z:
www.mateo.ntc.zcu.cz/doc/Stav.doc
- [3] GTWM [online]. [cit. 2015-02-06]. Dostupné z:
http://www.ccm.ece.vt.edu:8088/etextiles/publications/CIC_2003.pdf
- [4] Smart clothes. [online]. [cit. 2015-02-04]. Dostupné z:
<http://healthinformatics.wikispaces.com/Smart+Clothes>
- [5] Fabric keyboard. [online]. [cit. 2015-02-04]. Dostupné z:
<http://www.talk2myshirt.com/blog/archives/85>
- [6] Chytrá bunda. [online]. [cit. 2015-02-04]. Dostupné z:
http://technet.idnes.cz/v-plzni-vyrabeji-chytre-obleceni-umi-volat-i-nabijet-fy9-/tec_technika.aspx?c=A080617_144151_tec_technika_vse
- [7] Chytrá textilie uchovává energii. [online]. [cit. 2015-02-04]. Dostupné z:
<http://www.nazeleno.cz/nazelenoplus/chytra-textilie-uchova-energii-misto-baterie.aspx>

- [8] Tričko dobíjející mobil. [online]. [cit. 2015-02-04]. Dostupné z:
<http://www.nazeleno.cz/nazelenoplus/tricko-ktere-dobije-vas-mobilni-telefon-1.aspx>
- [9] Nabíjení telefonu v kapse. [online]. [cit. 2015-02-04]. Dostupné z:
<http://cdr.cz/clanek/odev-z-fotovoltaicke-textilie-dokaze-nabit-mobil>
- [10] Dotykové rukavice. [online]. [cit. 2015-02-04]. Dostupné z:
<http://mobilenet.cz/clanky/recenze-specialni-rukavice-sgloves-pro-dotykove-telefony-10758>
- [11] ĎAĎO, Stanislav a Marcel KREIDL. Senzory a měřicí obvody. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999, 315 s. ISBN 80-01-02057-6.
- [12] Snímače pro měření deformace. [online]. [cit. 2015-02-04]. Dostupné z:
http://www.kst.tul.cz/podklady/experimentalnimetody/prednasky/p8_snimace_deformace.pdf
- [13] SAW [online]. [cit. 2015-02-05]. Dostupné z:
<http://www.rtxtech.com/saw-device.html>
- [14] Měřič kapacity. [online]. [cit. 2015-02-05]. Dostupné z:
http://pandatron.cz/?3105&americ_kapacity_s_vysokym_rozlisenim
- [15] TCP/IP stack. [online]. [cit. 2015-02-05]. Dostupné z:
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00833c.pdf>
- [16] Smoothing images. [online]. [cit. 2015-02-05]. Dostupné z:
http://docs.opencv.org/doc/tutorials/imgproc/gaussian_median_blur_bilateral_filter/gaussian_median_blur_bilateral_filter.html