

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Využití senzoru Grid-Eye pro gestové ovládání

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. David ANTAL**

Osobní číslo: **E16N0035P**

Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Elektronika a aplikovaná informatika**

Název tématu: **Využití senzoru Grid-Eye pro gestové ovládání**

Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Analyzujte a sumarizujte vlastnosti a možnosti senzoru typu Grid-Eye. Popište základní principy gestového ovládání.
2. Navrhněte a realizujte funkční vzorek ověřovacího modulu včetně programu pro zpracování a vyhodnocení údajů ze senzoru.
3. Navrhněte a vytvořte aplikaci pro vhodnou vizualizaci zpracovaných údajů.
4. Zhodnoťte dosažené možnosti gestového ovládání pomocí senzoru.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je prozkoumat možnosti využití senzoru typu Grid-EYE pro gestové ovládání. Ke splnění tohoto cíle bylo potřeba se seznámit se základy gestového ovládání, navrhnout ověřovací vzorek s uvedeným senzorem a procesorem pro zpracování a přenos dat do PC. Dále bylo nutné tyto data zobrazit, k čemuž byl navrhnut vizualizační software napsaný v jazyce C#.

Klíčová slova

Gestové ovládání, Grid-EYE senzor, Vizualizace

Abstract

The aim of the thesis is to find a usage for Grid-EYE sensor in the field of gesture recognition and control. To meet this goal, it was needed to learn about basic principles of gesture recognition. A test board with given sensor and microcontroller for processing and transferring data was designed and made. The firmware for microcontroller was developed in C and the software application for data visualization on PC was developed in C#.

Key words

Gesture recognition, Grid-EYE sensor, Visualization

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 21.5.2018

David Antal

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Kubíkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
ÚVOD	9
1 GESTOVÉ OVLÁDÁNÍ	10
1.1 VLASTNOSTI GESTOVÉHO OVLÁDÁNÍ	11
1.2 BUDOUCNOST BEZDOTYKOVÉ TECHNOLOGIE	12
1.3 VSTUPNÍ ZAŘÍZENÍ	14
1.4 ALGORITMY	15
1.5 KOMPLIKACE.....	17
2 NÁVRH OBVODŮ	18
2.1 GRID-EYE SENZOR	18
2.2 MIKROKONTROLÉR	20
2.3 DISPLEJ	21
2.4 USB-TO-UART.....	21
2.5 NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ	22
2.6 KOMUNIKACE.....	23
2.7 ALGORITMUS ZPRACOVÁNÍ DAT	24
2.8 VIZUALIZACE	26
3 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI	33
3.1 DEFINICE TESTOVANÝCH GEST	33
3.2 TESTOVÁNÍ, VÝSLEDKY, VYHODNOCENÍ	34
ZÁVĚR	35
PŘÍLOHY	39
PŘÍLOHA A – SCHÉMA OVĚŘOVACÍ DESKY.....	39
PŘÍLOHA B – HORNÍ STRANA DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ.....	40
PŘÍLOHA C – SPODNÍ STRANA DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ	40
PŘÍLOHA D – OBSAH CD.....	41

Seznam symbolů a zkratk

IDE	Integrated development environment – Integrované vývojové prostředí
KUI.....	Kinetic user interface – Pohybová uživatelská rozhraní
LCD	Liquid crystal display – Displej z tekutých krystalů
MEMS	Mikro elektro mechanické systémy
NURBS.....	Non-uniform rational basis spline – Matematický model pro generování a reprezentování křivek a ploch
RoHS	Restriction of Hazardous Substances – Směrnice o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních
SMD	Surface mount device – Součástka pro povrchovou montáž
TFT	Thin Film Transistor – Tenkovrstvý tranzistor
TUI	Touchless user interface – Bezdotyková uživatelská rozhraní

Úvod

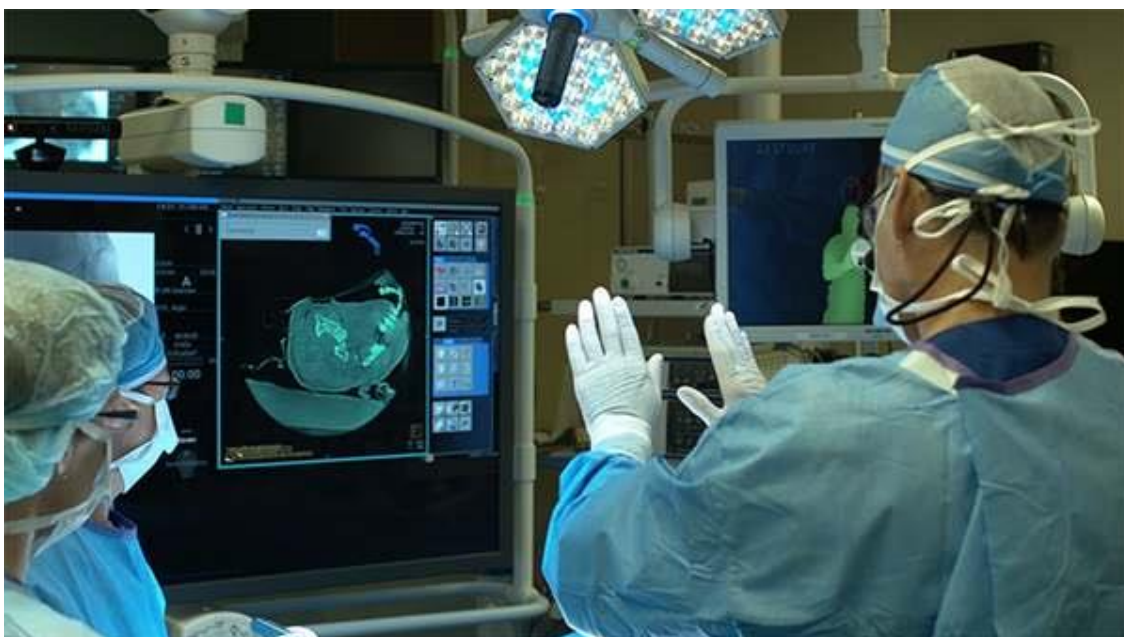
Každým rokem se zvyšují technologické možnosti pro dříve nereálné aplikace a u gestového ovládání tomu není jinak. Byla by veliká škoda neprozkoumat tyto nové možnosti, které by nám mohly usnadnit život nebo by mohly zvýšit bezpečnost například při řízení automobilů nebo při zabezpečení objektů. Některé algoritmy gestového ovládání závisí na velkých výpočetních výkonech, kterých dříve nebylo možné dosáhnout za přijatelných rozměrů výpočetních prvků. V dnešní době jsou tyto výkony realitou, a navíc se pro aplikace méně náročné na přesnost vyvinuly i úspornější a kompaktnější metody gestového ovládání. Takové metody mohou být založené například na jediném senzoru, který komunikuje po dvou vodičích.

Začátek této práce je věnovaný právě metodám gestového ovládání, jejich základnímu rozdělení, stručně principům a například i klasifikaci gest. Následuje rozbor zvolených komponentů pro ověřovací modul a rozbor algoritmů použitých pro zpracování i vyhodnocení získaných dat ze senzoru. Poslední část se zabývá definicí gest použitých pro ověření možností senzoru a následnému vyhodnocení.

1 Gestové ovládání

Úvodní část práce je volný překlad anglické wikipedie, odbornost textu je podložena citovanými dokumenty. [18] Gestové ovládání je téma v informatice a také jazyková technologie s cílem interpretace lidských gest skrze matematické algoritmy. Gesta mohou pocházet z jakéhokoliv tělesného pohybu nebo polohy, ale pocházejí převážně z obličeje nebo rukou. Momentální zaměření v této oblasti zahrnuje rozpoznání emocí z obličeje anebo z rukou prováděných gest. Uživatelé mohou použít jednoduchá gesta k ovládání nebo k interakci se zařízeními, aniž by se jich fyzicky dotýkali. Například bylo vyzkoušeno mnoho různých přístupů s použitím kamer a algoritmů počítačového vidění k interpretaci znakové řeči. Nicméně předmětem gestového ovládání jsou také identifikace a rozpoznání postavení, chůze a lidského chování. [1] Gestové ovládání může být chápáno jako způsob pro počítače, aby rozuměly lidské řeči těla, čímž by došlo k lepšímu propojení mezi stroji a lidmi, než jak je tomu u primitivních textových, nebo dokonce grafických rozhraní, která však stále omezují většinu vstupů na využití klávesnice a myši.

Gestové ovládání umožňuje lidem komunikovat se stroji přirozeně, bez jakýchkoliv mechanických zařízení. Při použití konceptu gestového ovládání je možné ukázat prstem na obrazovku počítače a kurzor se bude odpovídajícím způsobem pohybovat. Díky této vlastnosti by mohly být konvenční vstupní zařízení jako je myš, klávesnice či dokonce dotykové obrazovky zbytečné.



Obrázek 1 – Využití gestového ovládání v chirurgickém prostředí. Převzato z [19]

1.1 Vlastnosti gestového ovládání

- Větší přesnost
- Vysoká stabilita
- Rychlejší odemykání zařízení

Hlavní oblasti aplikace gestového ovládání

- Oblast automotive
- Oblast spotřební elektroniky
- Oblast přepravy
- Herní průmysl
- Odemykání chytrých telefonů
- Obrana [2]
- Automatizace domu
- Interpretace znakové řeči

Technologie gestového ovládání je považována za velmi úspěšnou technologii, protože šetří čas při odemykání jakéhokoliv zařízení. Gestové ovládání může být provedeno za pomoci počítačového vidění a zpracování obrazu.

Literatura uvádí probíhající vývoj v oblasti počítačového vidění k zachytávání gest nebo obecněji postavení osob a jejich pohybů díky klasickým počítačovým kamerám. [3][4][5]

Typy gest

V počítačovém rozhraní se rozlišují dva druhy gest. Jedním jsou Online gesta, která mohou být chápána jako přímé manipulace. Patří sem například změna velikosti či rotace. Naopak Off-line gesta jsou procesy, které probíhají po skončení interakce. Je to například namalovaný kruh, který poté aktivuje menu.

- Off-line gesta: Ta gesta, která jsou zpracována až po interakci uživatele s objektem. Například gesto pro aktivaci menu.
- Online gesta: Přímá manipulace gesty. Například ke změně velikosti či rotaci objektu.

Bezdotykové rozhraní

Bezdotykové rozhraní je vznikající technologie využívající gestové ovládání. Bezdotykové uživatelské rozhraní je proces řízení počítače pomocí tělesného pohybu a gest bez použití klávesnice, myši nebo obrazovky. [6] Například Kinect od společnosti Microsoft je TUI, na rozdíl od zařízení jako je Wii od společnosti Nintendo, které není považováno za TUI, protože je stále vázáno k ovladačům. Bezdotykové rozhraní s gestovým ovládáním se stává velmi populární, protože umožňuje interakci se zařízeními bez fyzického kontaktu.

Typy bezdotykových technologií

Existuje veliké množství zařízení využívající tuto technologii, jako jsou například chytré telefony, laptopy, hry či televize. Ačkoliv je bezdotyková technologie převážně viděna v herním průmyslu, tak se zájem rozšiřuje do ostatních oblastí jako jsou automotive nebo zdravotnictví. Velmi brzy bude bezdotyková technologie a gestové ovládání implementováno u aut na úrovni, která přesahuje možnosti rozpoznání řeči.

1.2 Budoucnost bezdotykové technologie

Už nyní je zde nepřehledné množství společností po celém světě, které produkují technologie gestového ovládání, jako jsou například:

Intel corp.

Výzkum společnosti Intel z uživatelských zkušeností ukazuje, jak bezdotyková autentizace založená na více faktorech může pomoci zdravotnickým organizacím zmírnit bezpečnostní rizika a zároveň zlepšit klinickou efektivnost, pohodlnost a péči o pacienty. Toto bezdotykové řešení kombinuje rozpoznání obličeje a schopnosti rozpoznání zařízení pro dvou faktorovou uživatelskou autentizaci. [7]

Microsoft corp.

Cílem projektu je prozkoumat využití bezdotykové interakce v rámci chirurgického prostředí. To by dovolovalo zobrazování, ovládání a manipulaci s obrázky bez dotyku, pouze za použití gestového ovládání založeném na kameře. Konkrétně se projekt zaměřuje na pochopení výzvy těchto prostředí z hlediska vývoje a designu takového systému a zároveň vysvětluje v jakém smyslu by mohl pomoci chirurgické činnosti.

Elliptic Labs

Softwarová souprava od Elliptic Labs dodává možnost gestových a proximity funkcí s využitím již existujících sluchátek a mikrofonů, dříve používaných pouze pro audio. Ultrazvukové signály vysílané vzduchem z reproduktorů obsažených v chytrém telefonu a tabletu se odráží zpět od ruky/objektu/hlavy a jsou nahrány mikrofonem, který je opět již součástí těchto zařízení. Technologie od Elliptic Labs tímto způsobem rozpozná vaše pohyby rukou a použije je k posunu objektů na obrazovce, podobně jako netopýři používají echolokaci k navigaci.

Ačkoliv tyto společnosti stojí momentálně v popředí bezdotykových technologií, je zde také mnoho dalších společností a produktů, které jsou populární a mohou mít významnou hodnotu v této oblasti. Jsou to například:

Tobii Rex: zařízení mapující pohyby očí

Airwriting: technologie umožňující psaní zpráv a textů ve vzduchu

eyeSight: umožňuje navigaci obrazovky bez fyzického kontaktu se zařízením

Leap Motion: zařízení ke snímání pohybu

Myoelectric Armband: umožňuje rozpoznání gest skrze bluetooth zařízení. [8]



Obrázek 2 – MYO ARMBAND. Převzato z [20]

1.3 Vstupní zařízení

Schopností sledovat pohyby a určení prováděných pohybů mohou zařízení dosáhnout mnoha různými způsoby. Pohybová uživatelská rozhraní [9] jsou vznikajícím typem uživatelských rozhraní, která umožňují uživatelům interakci s výpočetním zařízením skrz pohyb objektů a těl. Příkladem KUI jsou hmatatelná uživatelská rozhraní a hry, které rozpoznávají pohyb jako například Wii, Kinect od Microsoftu, a další interaktivní projekty. Ačkoliv je zde veliký pokrok ve výzkumu gestového ovládání založeného na obraze nebo videu, tak se přístupem jednotlivé projekty neshodují a vznikají různé varianty nástrojů či prostředí.

- **Drátové rukavice.** Získají vstupní informaci do počítače ohledně pozice a rotace rukou za použití magnetických nebo inerciálních sledovacích zařízení. Navíc některé rukavice dokáží detekovat ohýbání prstů s velikou přesností ($5-10^\circ$), nebo umí dokonce poskytnout hmatovou zpětnou vazbu uživateli, což simuluje dotykový smysl. První komerčně dostupné zařízení na principu rukavice sledující pohyb bylo DataGlove. [10] Toto zařízení umožňovalo detekci pozice ruky, pohybu a ohýbání prstů. Využívalo k tomu optických vláken na zadní straně ruky. Vytvoří se světelné pulsy a pokud jsou prsty ohnuté, tak se světlo ztrácí skrz malé trhlinky a tento útlum je zaznamenán, čímž dává aproximaci pozice ruky.
- **Kamery snímající hloubku.** Použitím specializovaných kamer lze generovat hloubkovou mapu, která je sejmuta kamerou na kratší vzdálenost a tato data lze využít pro aproximaci 3D reprezentace toho, co kamera snímá. To může být využito například při detekci gest rukou vzhledem ke krátkému dosahu těchto kamer.
- **Stereo kamery.** Použitím dvou kamer se vzájemně známou polohou lze dostat aproximovanou 3D reprezentaci z výstupů těchto kamer.
- **Ovladače založené na gestech.** Tyto ovladače fungují jako návaznost na tělo, při gestech mohou být jejich pohyby zaznamenány softwarem. Příkladem vznikajícího zaznamenávání gest je skrze sledování rukou založeném na skeletálním modelu. Příklady této technologie ukazují společnosti uSens a Gestigon, které umožňují uživatelům interakci s okolím za použití ovladačů. [11]

- **Jediná kamera.** Standardní 2D kamera může být použita pro gestové ovládání tam, kde by se jiné metody nemusely hodit. Dříve se myslelo, že jediná kamera nemůže být tak efektivní jako stereo-kamery nebo kamera snímající hloubku, ale některé firmy dokazují opak. Existuje například softwarově založené rozpoznání gest používající 2D kameru k detekci robustních gest rukou.

Dalším příkladem je gestové ovládání počítačové myši, kde je pohyb myši spojen se symbolem namalovaným rukou osoby. Toto využívá například Wii Remote, Myo armband anebo náramek mForce Wizard, který umožňuje sledovat změnu akcelerace za daný čas k reprezentaci gest. [12] [13] Zařízení, jakým jsou například Magic Wand od společnosti LG Electronics nebo třeba the Loop and the Scoop, používají technologii Freespace od společnosti Hillcrest Labs, která používá MEMS akcelerometry, gyroskopy a další senzory k překladu gest na pohyby kurzoru. Softwarově se zde také kompenzuje lidský třes a neúmyslné pohyby, které nemají být zaznamenány. Dalším příkladem je AudioCubes. Senzory těchto světlo vyzařujících kostek mohou být využity k detekci rukou a prstů stejně jako dalších objektů v blízkosti a mohou být použity ke zpracování dat. Většina aplikací je v hudbě a zvukové syntéze, ale může být aplikována i v jiných oblastech.

1.4 Algoritmy

Způsobů interpretace dat je více a závisí na typu vstupních dat. Většina technik využívá klíčových bodů reprezentovaných v 3D souřadnicovém systému. Gesto může být detekováno s vysokou přesností na základě relativního pohybu těchto klíčových bodů. K tomu, aby bylo možné interpretovat pohyby těla, tak je nutné tyto pohyby nejprve klasifikovat podle běžných vlastností a zprávy, kterou dané pohyby mohou vyjadřovat. Například ve znakové řeči každé gesto reprezentuje slovo nebo frázi. Rozřazení, které se zdá být nejvhodnější pro interakci mezi člověkem a strojem, uvedl Francis Quek ve své publikaci „Toward a Vision-Based Hand Gesture Interface“. [14] Klasifikuje zde několik interaktivních gestových systémů k tomu, aby zaznamenal celý prostor gest.

1. Manipulativní
2. Semaforické
3. Konverzační

Některá literatura rozlišuje 2 možné přístupy ke gestovému ovládání: ty založené na 3D modelu anebo založené na vzhledu. První metoda využívá 3D informace z klíčových elementů částí lidského těla proto, aby získala několik důležitých parametrů, jako pozici dlaně nebo úhly kloubů. Naopak systémy založené na vzhledu používají obraz nebo video pro přímou interpretaci.

Algoritmy založené na 3D modelu

Tyto algoritmy mohou využívat objemové nebo skeletální modely, nebo dokonce kombinaci obou. Objemový model je často využíván u počítačové animace a je také používán v oboru počítačového vidění. Modely jsou obvykle vytvořeny z komplikovaných 3D povrchů jako NURBS nebo z polygonových sítí.

Nevýhodou této metody je, že je výpočetně náročná a že systémy pro real time analýzu zatím neexistují. Lepší přístup by mohl být namapování primitivních objektů k nejdůležitějším částem osoby (například válce jako ruce a krk, koule jako hlava) a analyzovat způsob, jakým tyto části interagují mezi sebou. Zajímavá věc na této metodě je to, že parametry těchto objektů jsou vcelku jednoduché.

Algoritmy založené na skeletonu

Namísto používání intenzivního zpracování 3D modelů a vypořádávání se se spoustou parametrů je zde možnost použití zjednodušených verzí parametrů úhlu kloubů, stejně tak jako délky segmentů. To je známo jako skeletální reprezentace těla, kde je vypočítána virtuální kostra osoby a části těla jsou namapovány na dané segmenty. Analýza je zde provedena za použití pozice a orientace těchto segmentů a vztahu mezi nimi (například úhel mezi klouby a relativní pozice či orientace)

Výhody použití skeletálních modelů:

- Algoritmy jsou rychlejší, protože se analyzují jen klíčové body
- Je možné vzorové párování z předlohy v databázi
- Použití klíčových bodů umožní detekčnímu programu zaměřit se na důležité části těla

Modely založené na vzhledu

Tyto modely nepoužívají prostorovou reprezentaci těla, protože odvozují parametry přímo z obrazu nebo videa za použití vzorové databáze. Některé jsou založeny na deformovatelných 2D vzorech lidských částí těla, hlavně rukou. Deformovatelné vzory jsou množiny bodů na obrysech objektu používané jako interpolační uzly pro aproximaci obrysů objektu. Jedna z nejjednodušších interpolačních funkcí je lineární, která provede průměrný tvar z množiny bodů, parametrů variability bodů a externích deformací. Tyto modely založené na vzoru jsou převážně použity pro sledování rukou, ale mohou být také použity pro jednoduchou klasifikaci gest.

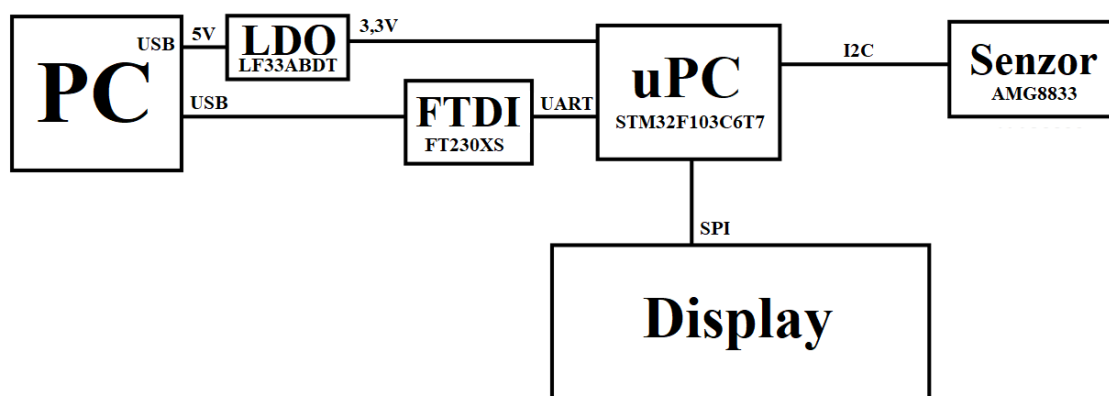
Druhý přístup v detekci gest za použití modelů založených na vzhledu používá sekvence snímků jako vzory pro gesta. Parametry této metody jsou buď samy obrázky, nebo některé vlastnosti získané z nich. Většinou je použit pouze jeden (monoscopic) nebo dva (stereoscopic) pohledy.

1.5 Komplikace

U gestového ovládání je mnoho komplikací spojených s přesností a užitečností softwaru gestového ovládání. Pro gestové ovládání založené na obrazu existují omezení hlavně podle použitého vybavení a také v obrazovém šumu. Obrázky nebo video nemusí být v konzistentním světle, nebo stejné lokaci. Předměty v pozadí nebo odlišné vlastnosti uživatelů mohou ztížit rozpoznávání. Variace implementací gestového ovládání založeného na obraze může způsobit problémy pro budoucí využití technologie k následnému obecnějšímu použití. Například algoritmy kalibrované pro jednu kameru nemusí pro odlišnou kameru vůbec fungovat. Velikost šumu pozadí navíc způsobuje problémy při sledování a rozpoznávání, zvláště při okluzi. Navíc vliv na přesnost rozpoznání má také vzdálenost od kamery, rozlišení a kvalita kamery. Aby se gesta zachytila vizuálními senzory, tak je potřeba robustních metod počítačové vize. Například při využití těchto metod pro sledování rukou a rozpoznávání polohy ruky nebo zachytávání pohybů hlavy, výrazů obličeje či směr pohledu. [14] [15]

2 Návrh obvodů

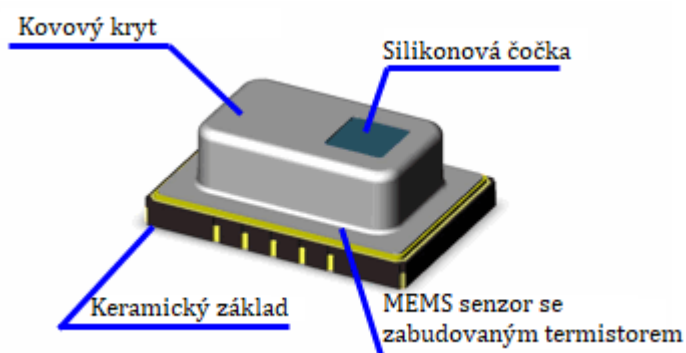
Kompletní schéma desky pro otestování použitelnosti senzoru AMG8833 pro gestové ovládání naleznete z důvodu rozsahu v příloze. Následující body se zabývají popisem vlastností jednotlivých komponentů a zdůvodněním jejich použití. Na konci kapitoly naleznete popis finální verze desky plošných spojů.



Obrázek 3 - Blokové schéma testovací desky

2.1 Grid-EYE senzor

Jedná se o novinku od firmy Panasonic. Součástka skrývá pole přesných infračervených snímačů vytvořených pokročilou MEMS technologií. Senzor využívá absorpci fotonů k oteplení citlivé části senzoru a pohlcená energie se následně vyhodnotí nepřímo přes zabudovaný termistor. Na výběr je ze 4 typů senzoru, které se liší provozním napětím 3,3V nebo 5V a také výkonem. Součástka je typu SMD vhodná pro pájení vlnou a splňuje směrnici RoHS.



Obrázek 4 - konstrukce senzoru Grid-EYE

Vlastnosti senzoru

Senzor disponuje 64 pixely (8x8), jeho pozorovací úhel je 60° horizontálně a 60° vertikálně. Udávaná vzdálenost, kdy ještě senzor rozpozná osobu je méně než 5 m. To znamená, že teplota pole pixelů, kde osoba stojí, bude rozdílná alespoň o 4 °C od pozadí. Snímač je schopen rozeznat teploty od -20 °C do 80 °C s přesností 2,5 °C popřípadě 3 °C pro méně výkonnou verzi senzoru. Rozlišení teploty na výstupu je 0,25 °C a tuto informaci předává v digitální formě po sběrnici I2C. Snímková frekvence je 10 snímků/s.

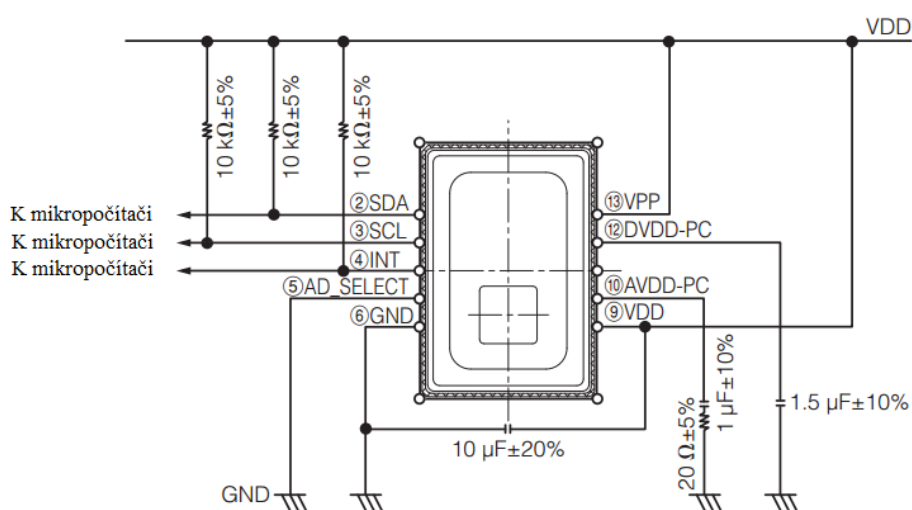
U součástky lze využít tři režimy – Normal, Sleep a Stand-by. Spotřeba energie pro normální chod je 4,5 mA, pro stand-by 0,8 mA a pro sleep pouhé 0,2 mA.

Typické využití

Firma Panasonic očekává využití senzoru převážně pro detekci osob a měření teploty. Mezi typické využití patří například automatizované osvětlení, klimatizace, dveře a výtahy. Využití měření teploty uvádějí u mikrovlnné trouby k měření teploty ohřívajícího pokrmu. Další zmíněné využití, za předpokladu krátké vzdálenosti mezi osobou a snímačem, je pro gestové ovládání, kterému se tato práce bude věnovat.

Zapojení na ověřovací desce

Senzor byl zapojen dle doporučení datasheetu. [16] Má také možnost volby posledního bitu adresy pro I2C komunikaci dle zapojení pinu AD_SELECT. Adresu jsem zvolil 1101000, takže je pin připojen k zemi. Konkrétní zapojení je na následujícím obrázku.



Obrázek 6 – Doporučené zapojení senzoru AMG8833 (poslední bit adresy senzoru 0)
Převzato z [16]

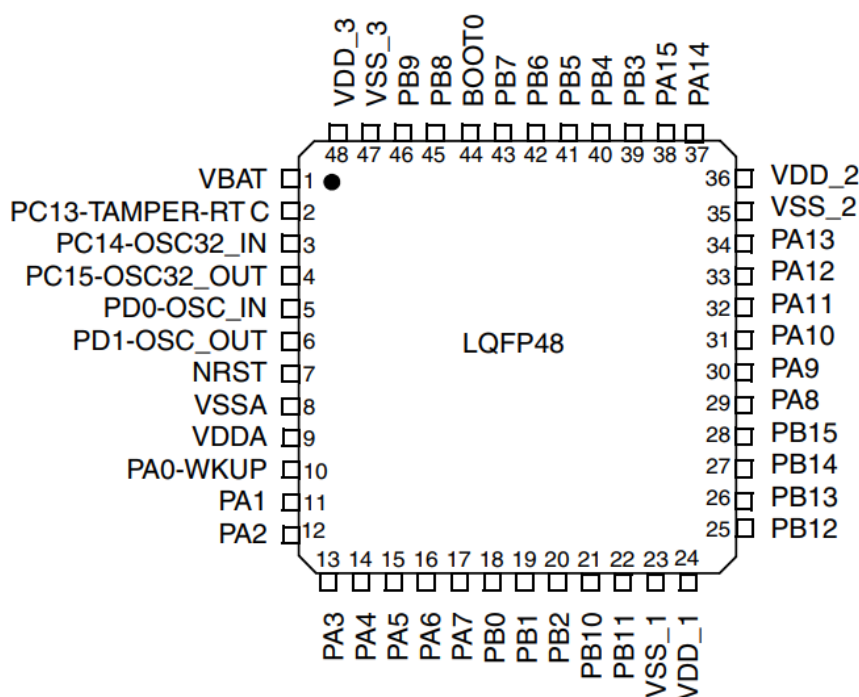
2.2 Mikrokontrolér

Jednočipový mikropočítač na desce slouží pro vyčítání jednotlivých pixelů senzoru a předání těchto dat na vizualizační prvek (PC nebo displej) - je zde tedy pro vytvoření komunikačního kanálu mezi senzorem, PC a také displejem. Vzhledem k jeho použití byly tedy nároky na procesor následující:

- I2C periferie (Senzor)
- SPI periferie (Displej)
- UART periferie (PC)
- Napájení 3,3 V
- Možnost programování v KEIL IDE

Zvolil jsem procesor od firmy STMicroelectronics, konkrétně model STM32F103C6T7A.

Procesor disponuje 48 piny a splňuje všechny výše zmíněné požadavky. Konkrétní rozmístění pinů můžete vidět na obrázku 7. Přehled jejich funkcí je možné nalézt v datasheetu daného procesoru [21].

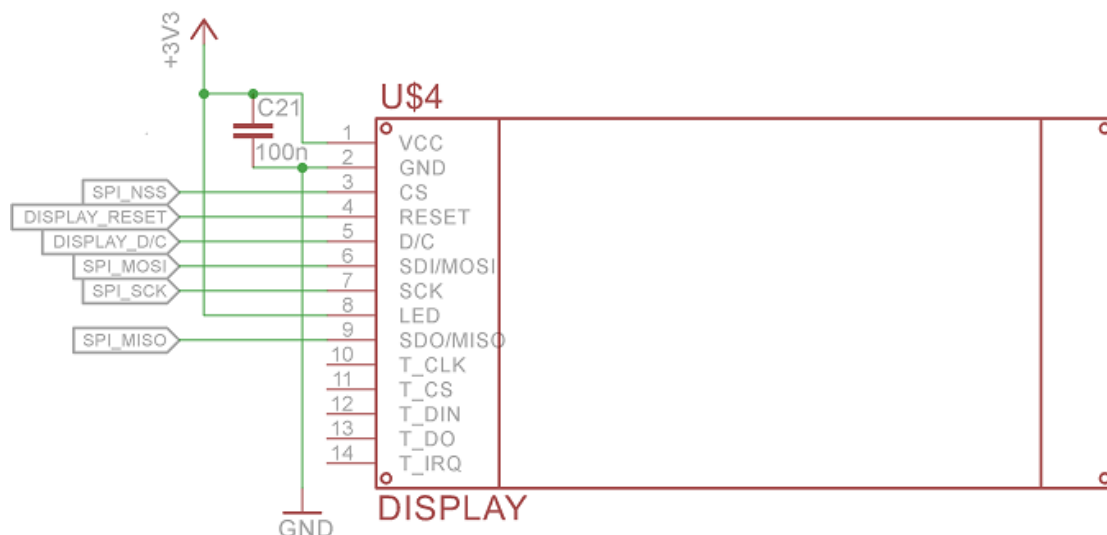


Obrázek 7 – Rozmístění pinů procesoru STM32F103C6T7A. Převzato z [21]

Za účelem programování procesoru je na desce umístěn šestipinový konektor s rozmístěním pinů jako u klasického SWD konektoru. Lze díky tomu použít například programátor z nucleo desek od STMicroelectronics.

2.3 Displej

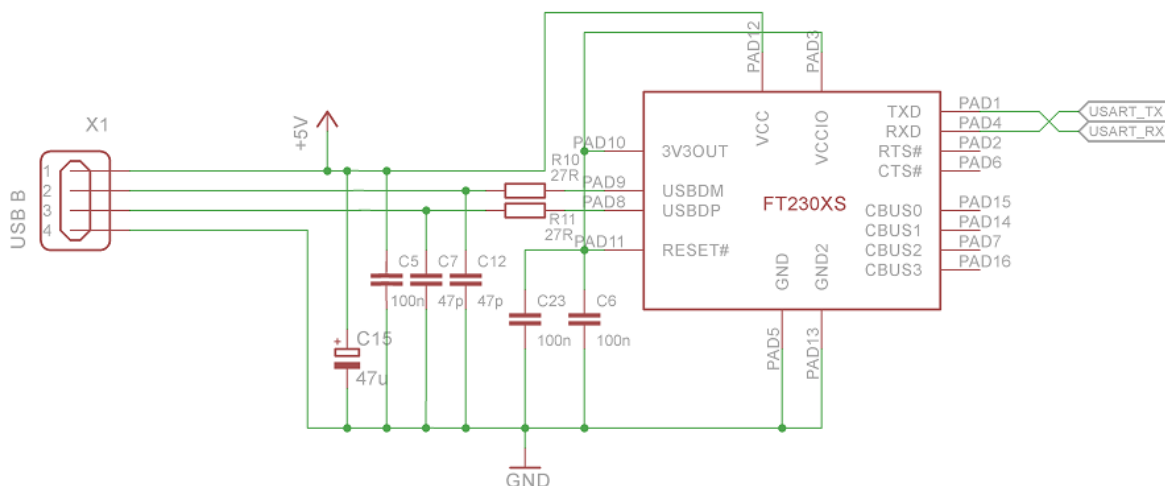
Zadání diplomové práce striktně neuvádí nutnost použití displeje. Nicméně představa větší mobility zařízení s funkční vizualizací, která není vázána na spuštěný program vizualizace na PC, mě vedla k zařazení displeje na ověřovací desku. Zvolil jsem 2,4 palcový TFT LCD bezdotykový displej. Modul využívá driver ILI9341 a komunikuje po SPI. Jeho rozlišení je 240x320 bodů a umí pracovat s napětím 5 V nebo 3,3 V.



Obrázek 8 - Zapojení displeje na desce.

2.4 USB-to-UART

Vzhledem k napájení z USB a také z důvodu usnadnění procesu programování jsem využil čipu FT230XS. Tento obvod funguje jako rozhraní mezi USB a UART, který využívám pro předávání dat ze senzoru do PC. Součástku jsem doplnil několika rezistory a kondenzátory dle doporučeného zapojení v datasheetu součástky. [22]

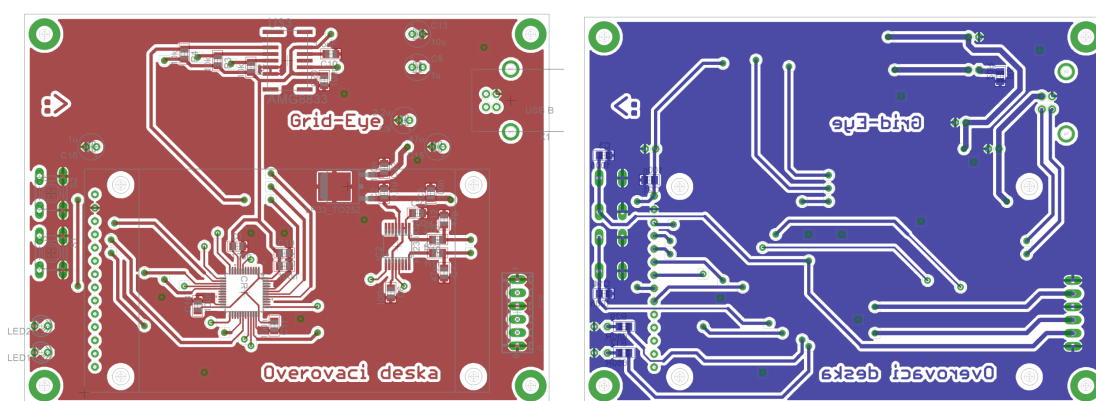


Obrázek 9 - Zapojení obvodu FT230XS na desce.

2.5 Návrh desky plošných spojů

K návrhu desky byl použit program Eagle, respektive jeho volně dostupná verze Light. Tato verze má omezení v počtu součástek a rozsahu desky. Pro můj návrh byl tento počet víc než dostatečný.

Následující popis se bude týkat obrázků 10. Pro lepší čitelnost jsou obě desky také v příloze. Příloha B je horní strana desky a příloha C spodní strana desky plošných spojů. Desku jsem navrhl jako oboustrannou z důvodu hustoty spojů u jednočipového mikropočítače. Na okraji desky je USB konektor, z kterého vedou datové vodiče jako diferenciální pár až k čipu FT230XS, ze kterého už pokračují vodiče Tx a Rx pro UART komunikaci do procesoru. Z USB je také napájena deska, takže +5 V vede na low drop regulátor, který napětí upraví na úroveň 3,3 V. Na této úrovni již pracuje zbytek desky. Každý napájecí pin komponent je chráněn vlastním blokovacím kondenzátorem umístěným co nejbližší dané součástce. Jedinou výjimkou je elektrolytický THT kondenzátor C16, který jsem nemohl umístit blízko k procesoru, protože procesor, LDO a FT230XS jsou přemostěné displejem. Deska je také osazena dvěma červenými LED diodami pro případnou signalizaci a dvěma tlačítky. Jedno slouží jako reset a druhé lze využít například ke spuštění diagnostiky, sleep režimu nebo dle vlastního uvážení. Deska disponuje SWD konektorem, který je na desce použit k naprogramování procesoru.



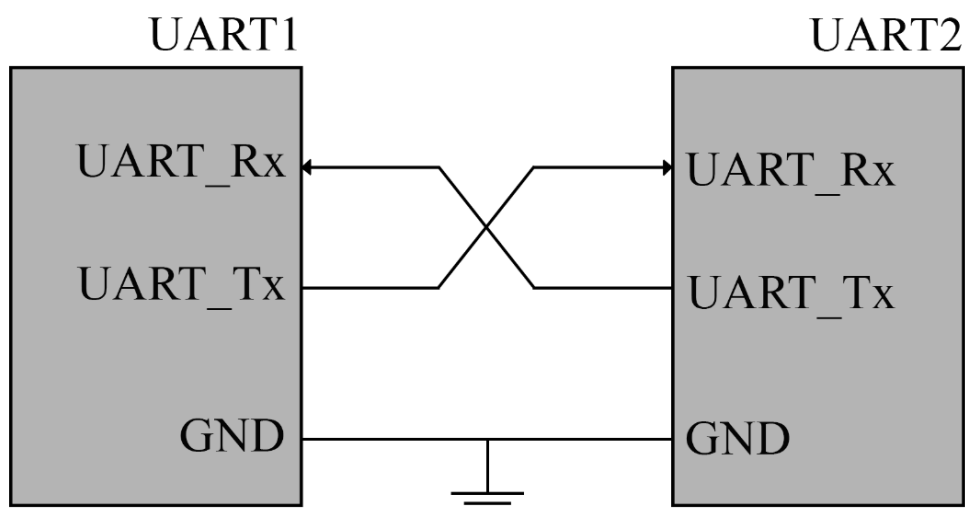
Obrázek 10 - horní strana(červená) a spodní strana(modrá) desky plošných spojů

2.6 Komunikace

Na testovací desce se uplatňují tři rozhraní pro komunikaci. UART, I2C a SPI. Z desky také vyvádím data po USB.

Asynchronní sériové rozhraní (UART)

UART využívá dvou vodičů Rx a Tx pro komunikaci. Data jsou přenášena v rámcích, které začínají start bitem a končí stop bitem. V klidovém stavu jsou vodiče v logické jedničce. UART využívám pro komunikaci mezi procesorem a PC, použitá přenosová rychlost je 115 200 bitů/s. Přesněji je použit mezi procesorem a čipem FT230XS, který převádí tento typ komunikace na USB. Ten dále pokračuje do PC.



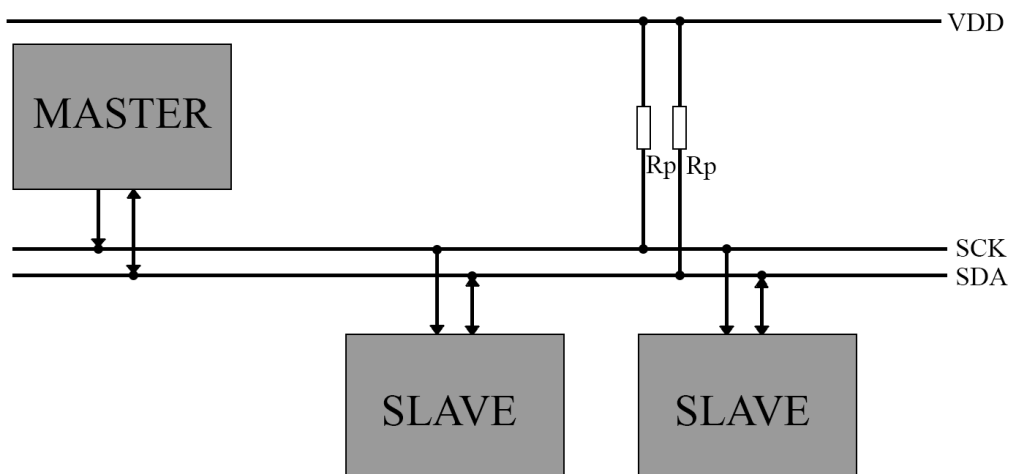
Obrázek 11 - Princip propojení dvou UART zařízení

Sériové periferní rozhraní (SPI)

Sériové periferní rozhraní je často využíváno pro komunikaci jednočipového mikropočítače a A/D převodníků, EEPROM nebo třeba displejů. V této práci je zamýšlené využití právě pro komunikaci jednočipového mikropočítače a displeje.

Dvoudrátové rozhraní (I2C)

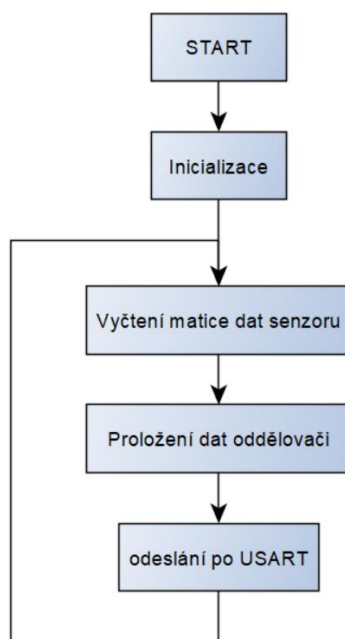
I2C sběrnice využívá ke komunikaci pouze dva vodiče, které jsou v klidovém stavu drženy v logické jedničce přes pull-up rezistory. Grid-EYE senzor, který v této práci testuji, pracuje s touto sběrnicí, takže její použití je nezbytné.



Obrázek 12 - Princip propojení více I2C zařízení

2.7 Algoritmus zpracování dat

Program jednočipového mikropočítače pro zpracování dat ze senzoru je napsán v integrovaném vývojovém prostředí KEIL v jazyce C. V této kapitole vysvětlím podrobněji pouze hlavní while smyčku. Celý program případně naleznete v příloze nebo na přiloženém CD.



Obrázek 13 – Algoritmus programu jednočipového mikropočítače

Program po resetu začíná inicializací pomocných proměnných a jednotlivých periférií procesoru. Po této rutině přejde do nekonečné while smyčky. While smyčku můžete vidět na obrázku 14. Smyčka začíná nastavením pomocné proměnné repos. Senzor má nezvykle 1. pixel vlevo dole, a protože jsem si chtěl usnadnit následné zpracování, tak přesouvám pozici tohoto pixelu už při výčtu dat. Přesunut je na standardní levý horní roh. Údaj o teplotě je dán dvěma 8bitovými registry pro každý pixel. Následný for cyklus vyčítá postupně oba registry všech 64 pixelů. A tyto dva vyčtené registry poté skládá do pole 16bitových hodnot. Po přečtení všech 64 pixelů přichází na řadu obsluha přenosu dat po UART. Vzhledem ke zpracování na přijímací straně jsem musel data proložit identifikátory. Přenos snímku začíná dvojtečkou, potom řadou hodnot, kde mezi dvěma hodnotami je vždy hvězdička, a celý rámeček končí středníkem. Tomu odpovídají řádky 53,57 a 59 z následujícího kódu.

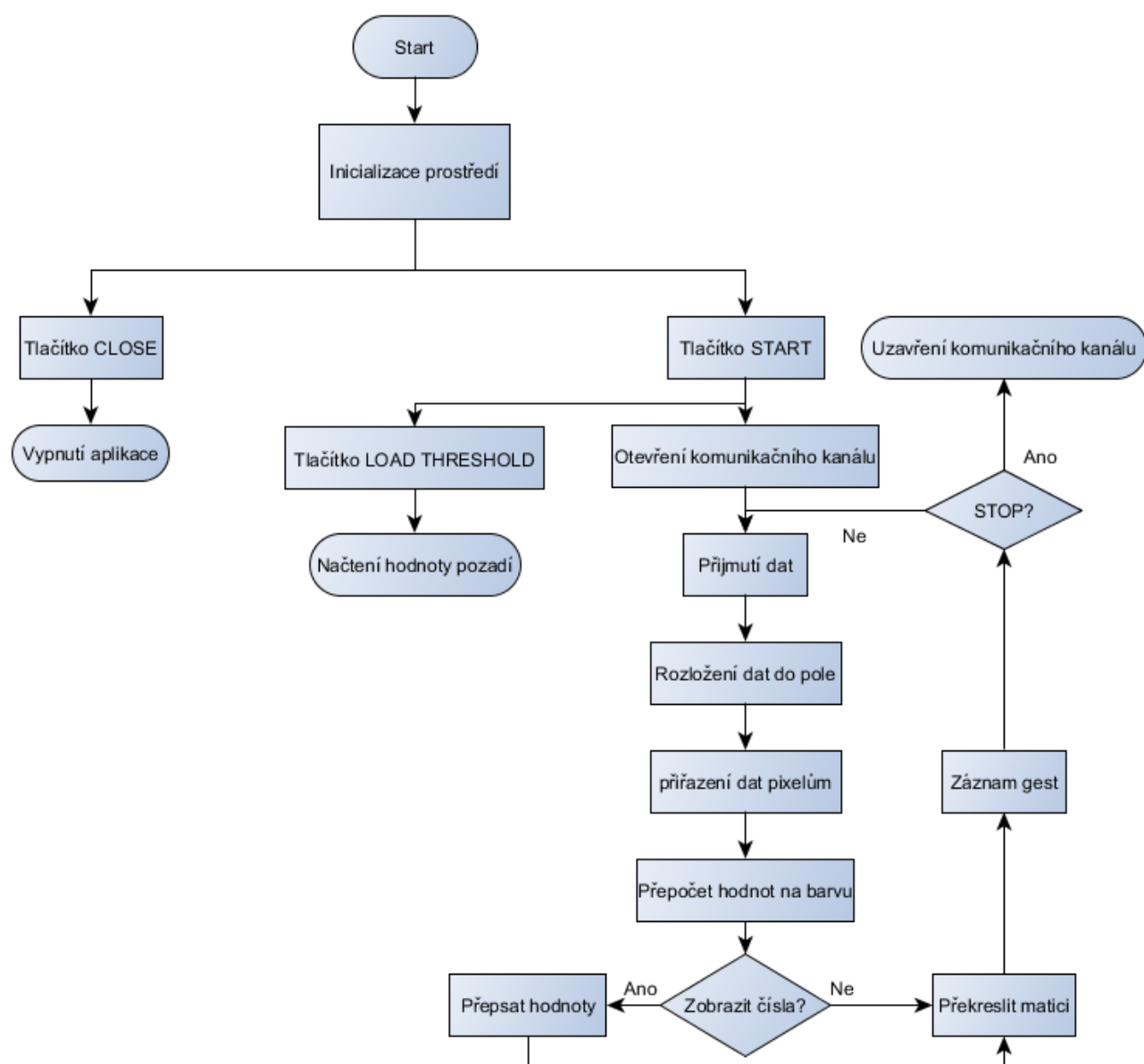
```
37 while(1)
38 {
39
40     repos=72;
41
42     for(i = 0; i < 64; i++)
43     {
44         Pix_lower_value = I2C1_ReadByte(0xd0, (0x80+(2*i)));
45         Pix_upper_value = I2C1_ReadByte(0xd0, (0x81+(2*i)));
46         if (i%8==0)
47         {
48             repos = repos - 16;
49         }
50         Pole_pixely[(repos+i)] = ((Pix_lower_value) | ((Pix_upper_value << 8)));
51     }
52     // Format pro vizualizaci v C#
53     printf(":");
54     for(i =0; i<64; i++)
55     {
56         printf("%d", (Pole_pixely[i]));
57         printf("*");
58     }
59     printf(";");
60 }
```

Obrázek 14 – While smyčka programu jednočipového mikro počítače

Finální program také obsahuje formátování pro program Putty, kde jsou vypsány hodnoty pixelů zarovnaných do tabulky. Lze tedy využít i této horší varianty počítačové vizualizace v případě, že nemáte vizualizační program po ruce.

2.8 Vizualizace

Pro počítačovou vizualizaci nasnímaných dat a testovaného gestového ovládání jsem zvolil Visual studio od Microsoftu, konkrétně verzi Community 2015. V tomto programu jsem vytvořil Windows Forms aplikaci za použití objektově zaměřeného jazyka C#. Vývojový diagram tohoto programu můžete vidět na obrázku 15. Složitější funkce popíšu podrobněji v následujícím textu. Programem obsluhu tlačítek anebo třeba tvorbou nových control prvků se v textu nebudu zabývat. Celý program můžete nalézt na příloženém CD.



Obrázek 15 – Vývojový diagram programu Vizualizace

Přijmutí dat a jejich rozložení do pole

Předtím než procesor odešle data ze senzoru do počítače, prokládá je identifikátory pro snadnější manipulaci na přijímací straně, tedy v počítači.

Formát dat můžete vidět na obrázku 16. Rámec dat začíná dvojtečkou, následují hodnoty z jednotlivých pixelů senzoru. Mezi jednotlivými hodnotami jsou hvězdičky jako separátory. Celý rámec končí středníkem.

```
:97*98*100*97*97*99*100*101*95*97*97*97*98*98*98*100*97*98*96*98*98*97*99*103*99
*99*97*98*97*101*101*103*99*100*100*97*97*99*105*109*100*101*100*97*95*98*97*105
*97*101*97*95*97*96*97*101*101*100*98*97*97*98*96*98*;
```

Obrázek 16 – formát přijímaných dat z procesoru (zobrazení v programu Putty)

Na obrázku 17 je zobrazena část programu zodpovědná za správné přijetí a rozdělení dat do pole stringů. Program si kontroluje zmíněné formátování. Program nejprve přijme celý packet, to znamená, že čeká na identifikátor začátku a konce. Ve chvíli, kdy zachytí konec packetu, tak začne ukládat data do pole Pixel_data, která odděluje podle zmíněného separátoru. Z těchto dat je dále počítána teplotní mapa, nebo jsou tyto hodnoty přímo zobrazeny jako text (z tohoto důvodu ukládám data do pole stringů).

```
49 // POLE HODNOT Z USART
50 string buffer = string.Empty;
51 string[] Pixel_data = new string[100];
52 private void port_DataReceived(object sender, SerialDataReceivedEventArgs e)
53 {
54     buffer += port.ReadExisting(); ;
55     bool done = false;
56     while (!done)
57     {
58         int start = buffer.IndexOf(":"); // přijetí celého packetu
59         int end = buffer.IndexOf(";"); // packet začíná dvojtečkou
60         if (start > -1 && end > -1 && start < end) // packet končí středníkem
61         {
62             string packet = buffer.Substring(start + 1, (end - start) - 1);
63             buffer = buffer.Remove(start, (end - start) + 1);
64             Pixel_data = packet.Split('*'); // data dělena hvězdičkou
65         }
66     }
67     else
68         done = true;
69 }
70 }
```

Obrázek 17 – výřez programu zodpovědný za rozdělení dat po přijetí.

Teplotní mapa

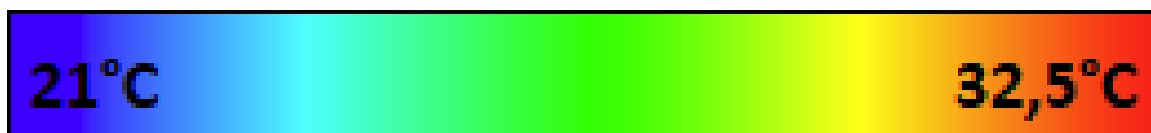
Přiřazení barev jednotlivým pixelům je prováděno skrze přepočítání hodnoty teploty daného pixelu na barvu. Tyto barvy jsem zvolil pro co největší podobnost s klasickou termovizí, kde není pouze přechod od jedné barvy k druhé. Barevná paleta tedy obsahuje přechody z modré barvy přes tyrkysovou, zelenou, žlutou až k červené, která reprezentuje nejteplejší místa. Následující obrázek ukazuje výřez kódu pro vytvoření barevné palety s konkrétními hodnotami RGB složek zobrazených jako hexadecimální hodnoty.

```
169     |
170     |
171     |
172     |
173     |
174     |
175     |
176     |
177     |
178     |

private void initColorsBlocks()
{
    ColorsOfMap.AddRange(new Color[]{
        Color.FromArgb(Alpha, 0, 0, 0xFF) ,           //Modrá
        Color.FromArgb(Alpha, 0, 0xFF, 0xFF) ,       //Tyrkys
        Color.FromArgb(Alpha, 0, 0xFF, 0) ,           //Zelená
        Color.FromArgb(Alpha, 0xFF, 0xFF, 0) ,       //Žlutá
        Color.FromArgb(Alpha, 0xFF, 0, 0) ,           //Červená
    });
}
```

Obrázek 18 : Definice barevné palety pro teplotní mapu

Senzor má pracovní teplotní rozsah od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, takový rozsah je ovšem u gestového ovládání zbytečný a barevná paleta by neposkytla intuitivní zobrazení. Aby se tedy uplatnil celý rozsah palety, zúžil jsem využívané teplotní pásmo na $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $32,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tohle omezení se pro účely testování zdálo být dostačující. Pozadí bylo modré až tyrkysové (dle teploty) a osoba byla znázorněna zelenou až červenou barvou. Je ale třeba brát v úvahu, že pokud by se takové nastavení použilo například v automobilu, tak teplota v letních dnech může dosáhnout hodnot, které znemožní správné zobrazení. To by se dalo vyřešit jednoduchou úpravou kódu.



Obrázek 19 – Výsledná teplotní mapa pro program vizualizace

Záznam gest

Při navrhování algoritmu pro rozpoznání gest jsem nejdříve prozkoumal již vytvořené knihovny. Konkrétně jsem se pokusil o využití OpenCV knihovny [23], která je volně dostupná. Tato knihovna je použitelná pro C++ kódy, ale existují wrappery [24], které upraví funkce tak, že je lze použít v C# kódu. Takto upravený celek má pouze část funkcionality oproti původnímu OpenCV. Po prozkoumání možností těchto knihoven jsem zjistil, že většina běžných algoritmů má požadavek, aby vstupní video mělo vysoké rozlišení a velkou snímkovou frekvenci. Vzhledem k tomu, že ani jeden z těchto předpokladů mnou testovaný senzor nespĺňuje, musel jsem od této výpomoci ve formě knihoven upustit a zkusit navrhnout jednoduchý algoritmus, který bude dostatečný pro otestování. Cílem práce není dokonalé gestové ovládání, ale zhodnocení použitelnosti senzoru v této oblasti.

Algoritmus jsem navrhnul podle postupu, který jsem implementoval už v jiné práci v rámci studia. Postup sestává pouze ze tří kroků.

- Určit práh pro následné testování
- Použít metodu prahování na každý sejmutý snímek
- Nalezení hrany objektu (ruky)

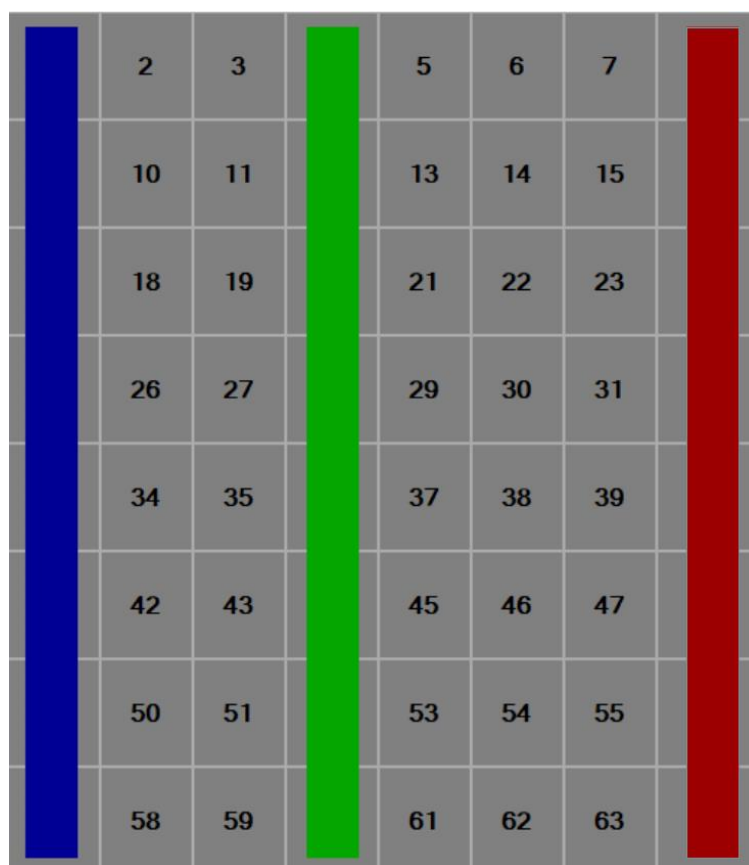
O určení prahu pro prahování se zmíním v části „Popis UI a ostatních funkcí“, kde popisují tlačítko LOAD THRESHOLD.

Nejprve je nutné odstranit z kontrolované oblasti vše, co není snímáný objekt. K tomuto účelu se obvykle používá prahování, které dokáže potlačit obrazový šum, nebo zvýšit kontrast mezi pozadím a objektem. U tohoto typu senzoru je prahování velmi snadné, protože snímání teplot je svým způsobem už také prahování, takže stačí pouze oříznout všechny hodnoty pod stanoveným prahem.

Jako detektor hran jsem použil sčítání pixelů, které přesáhnou stanovený práh. Hodnotu jsem stanovil na 7. Pokud tedy bude 7 nebo více pixelů daného sloupce nebo řady nad prahem, tak algoritmus vyhodnotí snímek jako část prováděného gesta. Na obrázku 20 je znázorněn princip detekce gesta „vpravo“. Algoritmus kontroluje v každém snímku krajní pixely matice (na obrázku modrý pruh) a pokud zaznamená 7 a více pixelů nad prahem v tomto sloupci, tak se v následujícím snímku zaměří na třetí sloupec (zelená barva) pro obdobnou kontrolu počtu pixelů nad prahem. Po zachycení hrany i v této části se přesune na poslední (červený) sloupec a po úspěšné detekci vyhlásí gesto „vpravo“. Tento algoritmus pracuje analogicky i pro ostatní směry.

Vyhodnocení jednotlivých stran je prováděno sekvenčně, takže při zakrytí dvou stran zároveň má prioritu gesto, které je kontrolované dříve.

Pro omezení náhodné detekce je zde implementovaný snímkový timeout. Takže osoba provádějící gesto má 10 snímků na to, aby přešla od první kontrolní zóny přes druhou až k poslední. Při překročení limitu se průběh gesta vyresetuje a algoritmus bude kontrolovat opět krajní zóny. Je tak znemožněna detekce přerušovaného gesta.

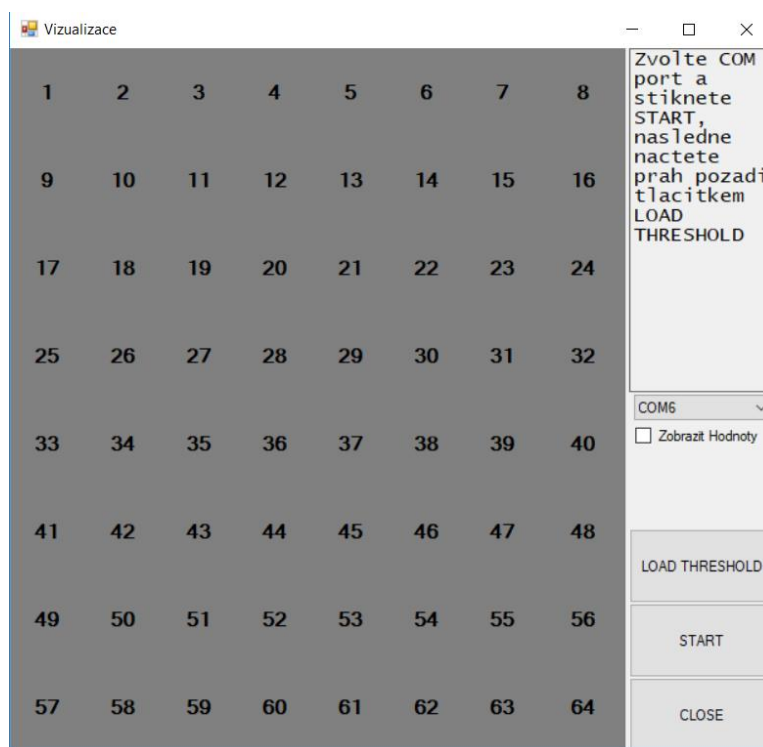


Obrázek 20 - Princip detekce hran v matici

Je zřejmé, že tento postup má své slabé stránky. Jednou z nich je například chybějící kontrola pohybu daného gesta. Protože se jedná spíše o sekvenční detekci hrany bez zpětné kontroly již prošlých bodů, je snadné algoritmus zneplatnit například přiložením dlaně tak, aby zakryla všechny tři kontrolní zóny. V takovém případě by senzor hlásil gesto v daném směru, ačkoliv by k žádnému pohybu nedošlo. Pomohla by zde úprava logiky pro kontrolu úseků matice například přidáním druhé podmínky pro kontrolu již prošlých bodů matice. O dokonalý algoritmus jsem ovšem neusiloval a daná implementace pro testování zcela postačí.

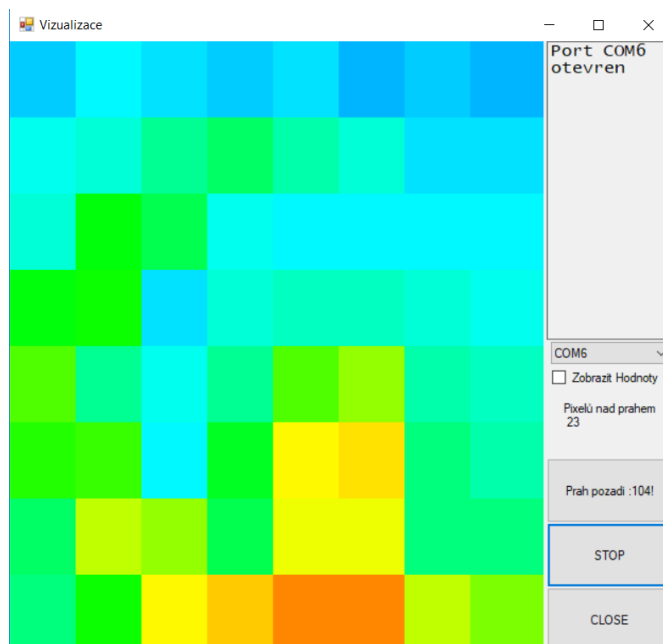
Popis UI a ostatních funkcí

Po spuštění programu vizualizace se objeví úvodní obrazovka, kterou jsem zachytil na následujícím obrázku. Úvodní obrazovka se skládá ze zobrazovací plochy s čísly pixelů, informační konzolí, oknem pro výběr dostupných COM portů a tří tlačítek. Po startu se zobrazí také počítadlo pixelů, které jsou nad definovaným prahem.



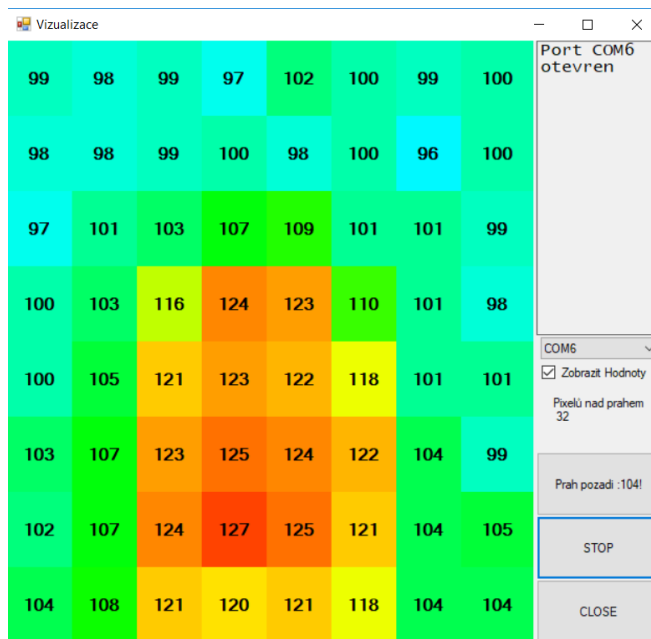
Obrázek 21 – Okno po spuštění vizualizačního programu

Jak sama obrazovka napovídá, uživatel by měl vybrat konkrétní COM port, na kterém je umístěný senzor z nabízených COM portů v drop down menu, a stisknout tlačítko START. Ihned po stisknutí se začne překreslovat zobrazovací plocha podle přijatých hodnot ze senzoru. Vzhledem k tomu, že senzor pracuje s teplotou, tak je těžké předem odfiltrovat pozadí. K tomu je zde tlačítko LOAD THRESHOLD, které přečte hodnoty pixelů momentálního snímku a nejvyšší z nich použije pro výpočet prahové úrovně. K nejvyšší hodnotě pixelu se přičte hodnota 5 jako rezerva pro případnou teplotní změnu v průběhu používání. Vykreslenou matici pixelů můžete vidět na obrázku 22.



Obrázek 22 – Hello world, okno po otevření COM portu a načtení prahu pozadí.

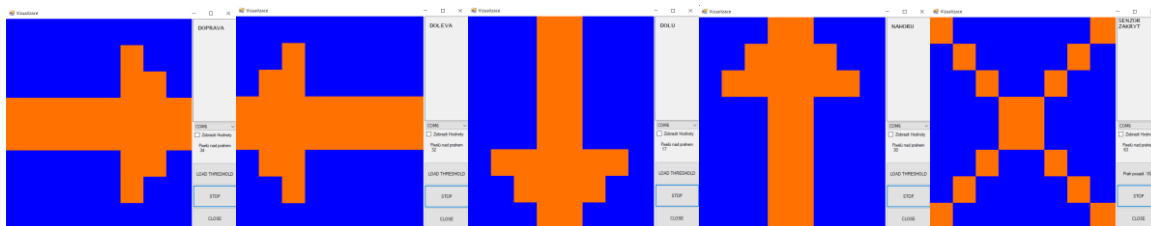
Další funkcí programu je možnost zobrazení číselného ekvivalentu barvy daného pixelu. Tato hodnota je přímá hodnota pixelu vyčtená ze senzoru. Pokud chceme dosáhnout °C, tak stačí vynásobit tyto hodnoty konstantou 0,25. Tudíž číslo 100 odpovídá 25°C.



Obrázek 23 – Číselné hodnoty jednotlivých pixelů

3 Ověření funkčnosti

Funkčnost navržených algoritmů pro rozpoznání prováděného gesta jsem ověřil základními gesty. Tato gesta jsem definoval v další podkapitole. Vzhledem k nízkému rozlišení senzoru jsem se nesnažil o jiná než robustní gesta, která půjdou snadno zachytit. Vybral jsem tedy pět gest, kterými senzor otestuji. Vizualizační program je nastaven, aby poskytl zpětnou vazbu jak ve formě obrazové indikace (šipky a křížek) tak i textovou formou v konzoli.



Obrázek 24 - Obrazová indikace senzorem zachyceného gesta.

3.1 Definice testovaných gest

Pro ověření schopnosti senzoru zaznamenat gesta jsem nadefinoval 5 základních gest, která jsou běžná pro každé gestové ovládané zařízení. Jsou zde 4 směrová gesta a také indikace zakrytí senzoru.

Směrová gesta

Implementoval jsem 4 základní směrová gesta – mávnutí vpravo, vlevo, dolů, nahoru.

Kritéria, která jsou shodná pro všechna směrová gesta jsou:

- Gesta budou prováděna rovinným pohybem v testovaném směru
- Gesto musí být provedeno plynule (maximálně 10 snímků / gesto)
- Gesto nesmí být příliš rychlé, vzhledem k nízké snímkové frekvenci senzoru
- Gesto musí být provedeno v takové výšce, že zakryje nejméně 7 krajních pixelů senzoru
- Teplota snímaného tělesa musí být alespoň o 1,5 °C vyšší, než je teplota pozadí

Zakrytí senzoru

U zakrytí senzoru je zde stejný teplotní předpoklad týkající se tělesa zakrývající senzor jako u směrových gest. Pro vyhodnocení gesta jako zakrytí senzoru je nutné, aby bylo zakryto nejméně 63 pixelů.

3.2 Testování, výsledky, vyhodnocení

Díky nízké snímkové frekvenci a nedokonalostí algoritmů zachycení gest musejí být gesta prováděna relativně pomalu a rovně, aby byla úspěšnost rozpoznání zaručena. Za použití sofistikovanějších algoritmů gestového ovládání by bylo zajisté možné dosáhnout mnohem lepších výsledků. Nicméně i s takto základním rozpoznáním gest si lze udělat obrázek o možnosti použití tohoto senzoru pro gestové ovládání.

Při testování senzoru mojí osobou jsem měl již vědomosti o správném provedení gesta a celkovém principu algoritmu, takže vyhodnocení mnou prováděných gest senzorem bylo spolehlivé. Pro porovnání spolehlivosti jsem požádal okolí o otestování senzoru. Požadavky na gesta nejsou zcela intuitivní, a právě z tohoto důvodu nebyly výsledky zcela uspokojivé. Nicméně každý člověk, kterého jsem nechal sensor otestovat po několika provedených gestech pochopil správný postup provedení gesta a poté již sensor reagoval velmi spolehlivě.

Z výše popsaného testování bych mohl říci, že daný sensor by rozhodně mohl najít uplatnění jako snímač pro použití v oboru gestového ovládání. Ovšem za podmínek, že by byl implementovaný sofistikovanější algoritmus rozpoznání gest. Jedna z výhod senzoru může být i možnost snímání gest za tmy. Na začátku této práce byla myšlenka pro použití tohoto typu senzoru například v automobilech. K tomuto použití se daný sensor rozhodně nehodí. Hlavními důvody jsou například nízká snímková frekvence, která omezuje uživatele v rychlosti provedení gesta (při řízení je to rozhodně důležitý parametr). Také jeho nízké rozlišení neumožňuje implementovat jiná než velmi primitivní gesta mávání či zakrytí, nicméně jako zásadní problém tohoto senzoru je teplotní nestálost pozadí i lidských rukou. Během testování se mi stávalo, že jsem měl studené ruce, a sensor mě tedy naprosto ignoroval. To může být problém kdekoliv, nicméně u některých aplikací se tyto teploty mohou zásadně měnit a sensor nakonec nemusí vůbec reagovat, a tím být naprosto zbytečný. Věřím, že u méně náročných aplikací by daný sensor dokázal poskytnout uspokojivou odezvu, a tím umožnit další rozvoj aplikací s gestovým ovládáním za použití právě infračerveného maticového senzoru.

Závěr

Úvodem práce jsem shrnul nalezené poznatky o gestovém ovládání, většina zdrojů byla zahraničních. Českých zdrojů bylo méně a nepojednávaly o tématu jako celku, ale spíše o některé z nových technologií.

Další částí práce bylo navrhnutí ověřovací desky. Tuto desku jsem navrhl s požadovaným testovaným senzorem. K nutným částem ověřovací desky jsem připojil navíc ještě displej. Funkce displeje není v práci implementována. Vzhledem k relativně jednoduchému schématu se při vývoji a výrobě desky nenaskytly problémy a první verze byla v pořádku. Jedinou komplikací při výrobě byla malá rozteč pinů procesoru. Pro oživenou desku jsem následně vyvinul program psaný v jazyce C pro sběr dat z testovaného senzoru a jejich usměrnění na odpovídající výstup. Kromě zadáním zamýšleného zobrazení v PC jsem připojil také možnost využití displeje.

Třetím bodem zadání práce byl vývoj aplikace pro vhodné zobrazení dat. K tomuto účelu jsem vytvořil vizualizační aplikaci napsanou v jazyce C#. Aplikace obsahuje intuitivní menu pro snadné ovládání a nastavení před samotným testováním. K samotné vizualizaci je využito 64 buněk, které odpovídají pixelům senzoru. Jako způsob zobrazení jsem zvolil teplotní mapu vytvářenou z dat ze senzoru. Tento program mimo jiné obsluhuje i zachytávání gest ze sejmuté matice dat a poskytuje zpětnou vazbu při zachycení gesta ve vizuální a písemné formě.

Projekt jsem zakončil testováním použitelnosti senzoru Grid-EYE v gestovém ovládání. Senzor byl rozhodně schopný rozpoznat robustní gesta, která jsem definoval. Na druhou stranu jsem senzor testoval ve velmi mírných podmínkách, které by neodpovídaly reálnému použití například v automobilech. Na základě testování bych tedy senzor doporučil pouze pro méně náročné aplikace. Díky svým malým rozměrům by mohl poskytnout gestové ovládání tam, kde nelze použít jiné běžné metody. Pro univerzální gestové ovládání tento typ senzoru rozhodně nemohu doporučit, a to hlavně z důvodu využití teploty, která může být velmi nestálá.

Seznam literatury a informačních zdrojů

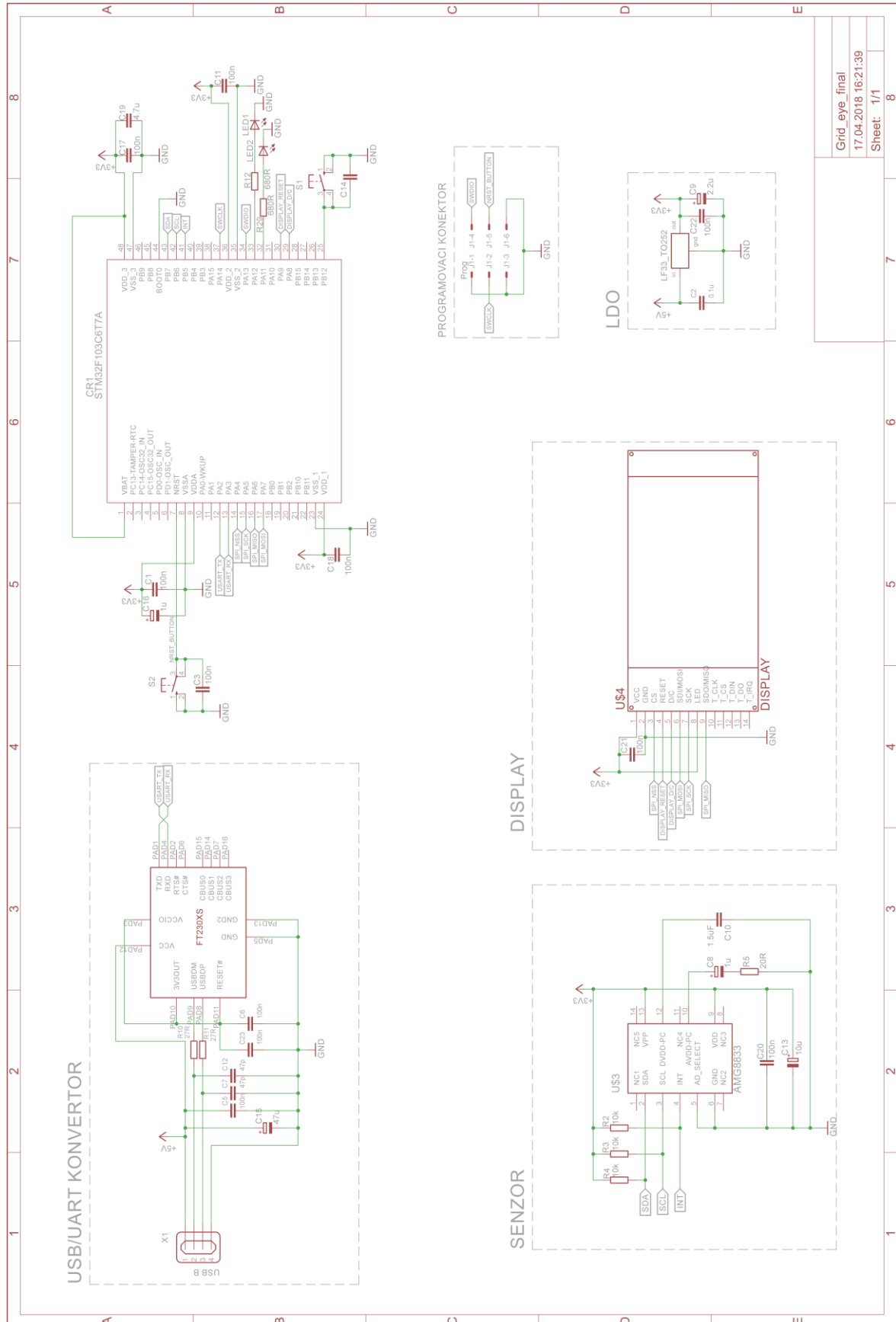
- [1] *Wave Like an Egyptian — Accelerometer Based Gesture Recognition for Culture Specific Interactions* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: https://hcm-lab.de/files/publications/199/wave_like_an_egyptian_final.pdf
- [2] *Using Patseer Pro to Search & Analyze Patents on Hand Gesture Recognition* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://patseer.com/2017/10/patent-landscape-report-hand-gesture-recognition-patseer-pro/>
- [3] *Visual Interpretation of Hand Gestures for Human-Computer Interaction: A Review* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.cs.rutgers.edu/~vladimir/pub/pavlovic97pami.pdf>
- [4] CIPOLLA, Roberto. a Alex PENTLAND. *Computer vision for human-machine interaction*. New York: Cambridge University Press, 1998. ISBN 978-0-521-62253-0.
- [5] BRAFFORT, Annelies. *Gesture-based communication in human-computer interaction: international Gesture Workshop, GW '99, Gif-sur-Yvette, France, March 17-19, 1999 : proceedings*. New York: Springer, c1999. Lecture notes in computer science, 1739. ISBN 978-3-540-66935-7.
- [6] Encyclopedia. *PCmag* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/62816/touchless-user-interface>
- [7] *Touchless multifactor authentication for healthcare* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/white-papers/touchless-multifactor-authentication-healthcare-paper.pdf>
- [8] *Gesture Control Wants to Move Us Away from Our Keyboards* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://readwrite.com/2017/10/05/gesture-control-moves-from-keyboards/>
- [9] *9 Minority Report Inspired Touchless Technology* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.hongkiat.com/blog/motion-sensing-gadgets/>
- [10] *Wayback Machine* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20060126085052/http://www.equator.ac.uk/var/uploads/benfordTech2003.pdf>
- [11] *Techcrunch* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://techcrunch.com/video/gestigon-gesture-tracking/>

- [12] *USens shows off new tracking sensors that aim to deliver richer experiences for mobile VR* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://techcrunch.com/2016/08/29/usens-unveils-vr-sensor-modules-with-hand-tracking-and-mobile-positional-tracking-tech-baked-in/>
- [13] *Gesture recognition with Wii controller*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: http://www.wiigee.com/download_files/gesture_recognition_with_a_wii_controller-schloemer_poppinga_henze_boll.pdf
- [14] EDITORS, Gurminder SINGH a STEVEN K. FEINER AND DANIEL THALMANN. *Virtual reality software & technology: proceedings of the VRST '94 Conference, 23-26 August 1994, Singapore*. Singapore: World Scientific, 1994. ISBN 9810218672.
- [15] *Visual Interpretation of Hand Gestures for Human-Computer Interaction: A Review* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.cs.rutgers.edu/~vladimir/pub/pavlovic97pami.pdf>
- [16] *Infrared Array Sensor Grid-EYE* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://industrial.panasonic.com/cdbs/www-data/pdf/ADI8000/ADI8000C53.pdf>
- [17] *Designing IR gesture-sensing systems* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.edn.com/design/sensors/4368103/Designing-IR-gesture-sensing-systems>
- [18] Gesture recognition. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Gesture_recognition
- [19] In: *Marxentlabs* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.marxentlabs.com/what-is-gesture-recognition-defined/>
- [20] In: *YourEDM* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.youredm.com/2015/11/19/thalamic-labs-revolutionize-music-creation-performance-with-the-myo-armband/>
- [21] *STM32F103x6 Datasheet* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: http://www.emgu.com/wiki/index.php/Download_And_Installation#The_type_initializer_for_.27Emgu.CV.CvInvoke.27_threw_an_exception

- [22] *Future Technology Devices International Ltd. FT230X (USB to BASIC UART IC)* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: http://www.emgu.com/wiki/index.php/Download_And_Installation#The_type_initializer_for_.27Emgu.CV.CvInvoke.27_threw_an_exception
- [23] *OpenCV* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://opencv.org/>
- [24] *EmguCV* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: http://www.emgu.com/wiki/index.php/Download_And_Installation#The_type_initializer_for_.27Emgu.CV.CvInvoke.27_threw_an_exception

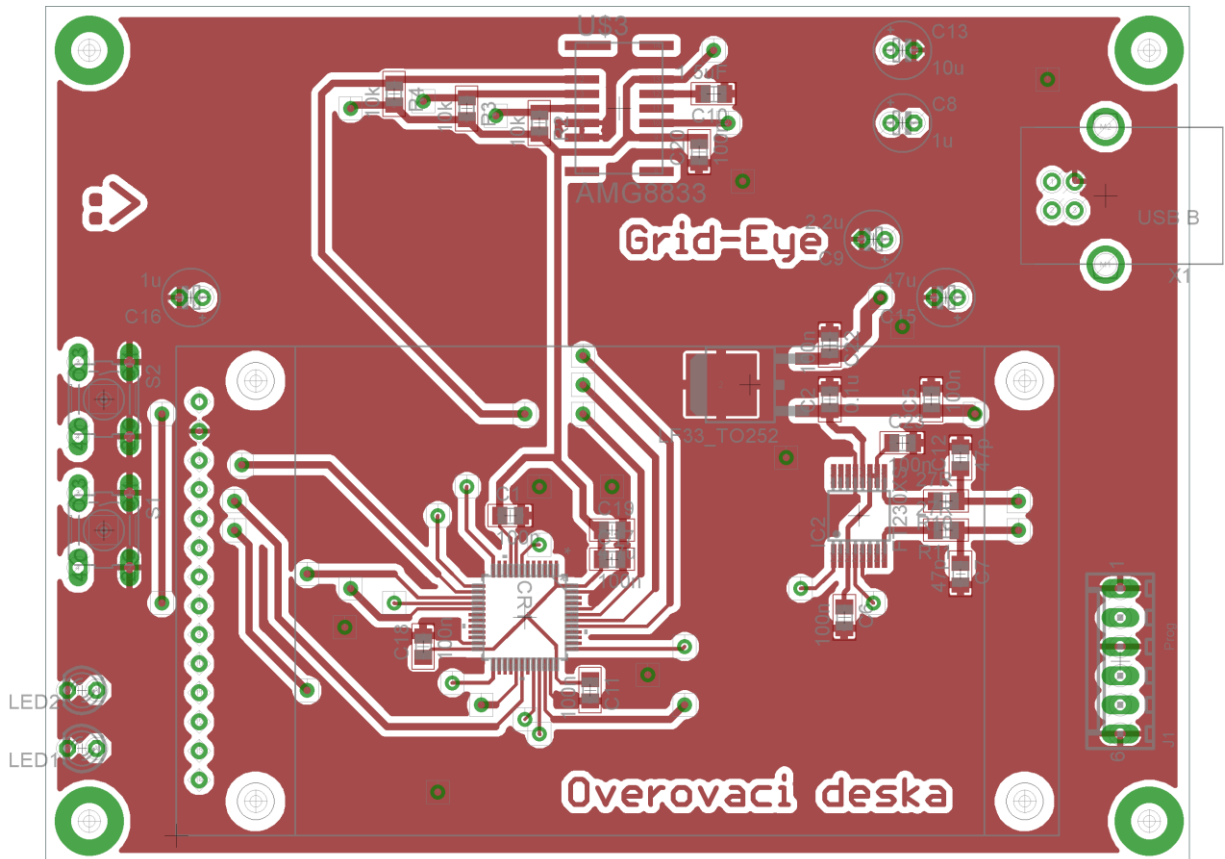
Přílohy

Příloha A – SCHÉMA OVĚŘOVACÍ DESKY

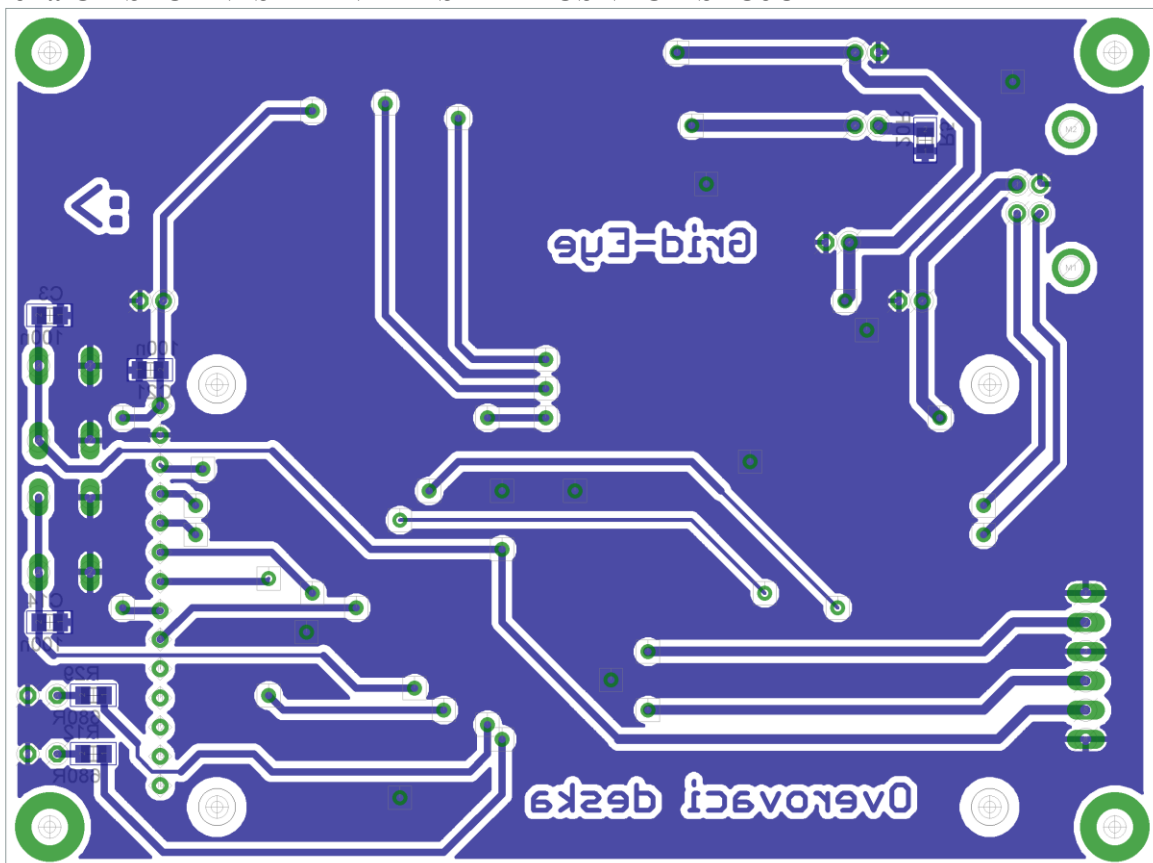


Grid_eye_final
17.04.2018 16:21:39
Sheet: 1/1

Příloha B – HORNÍ STRANA DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ



Příloha C – SPODNÍ STRANA DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ



Příloha D – OBSAH CD

Na CD naleznete 4 adresáře rozdělené podle části práce.

- Dokumenty
- Soubory Eagle
- Program C mikrokontroler
- Program C# vizualizace

První adresář obsahuje datasheet jednočipového mikropočítače, reference manuál jednočipového mikropočítače, datasheet senzoru a jeho application note. Je zde umístěna také elektronická podoba této práce a také ostatní přílohy pro možnost lepšího zobrazení.

Adresář pro soubory Eagle obsahuje kompletní soubory pro výrobu (Excellon a Gerber). Obsahuje také schéma i desku pro možnost případné úpravy. Dále je ve složce několik součástek pro Eagle použitých v projektu v adresáři Knihovny.

Složka Program C mikrokontroler obsahuje kompletní projekt v programu KEIL a také všechny použité knihovny.

Poslední složka obsahuje Solution soubor pro Visual studio pro projekt vizualizace.