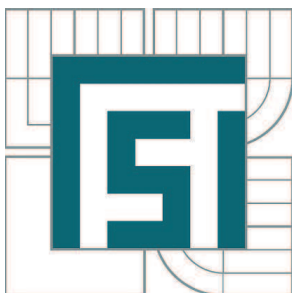


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

2D TRIANGULACE ZDROJŮ TEPELNÉHO ZÁŘENÍ

2D TRIANGULATION OF HEAT RADIATION SOURCES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

RADEK ZSEMLE

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RADOMIL MATOUŠEK, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Radek Zsemle

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

2D triangulace zdrojů tepelného záření

v anglickém jazyce:

2D triangulation of heat radiation sources

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je vytvoření inteligentních senzorických jednotek (Intelligent Sensor Unit, ISU) schopných určit zdroj tepelného záření odlišitelný od pozadí. Jednotlivé ISU (Slave) budou komunikovat pomocí sběrnice I2C s centrální řídicí jednotkou (Master), která bude určena jak k nastavení ISU (Slave) tak k vlastnímu výpočtu polohy tepelného zdroje a komunikaci s obsluhou. Celý systém ISU bude založen na uP ATmega128. Sensorická část bude schopna snímat v rovině perimetr 0° až 180° , a rozlišit teoretický teplotní gradient objekt-pozadí 2°C . Daná aplikace je navržena pro potřebu monitoringu technologických i živých objektů.

Cíle bakalářské práce:

1. Návrh inteligentních senzorických jednotek (Slave) schopných detekce tepelného zdroje.
2. Návrh řídicí senzorické jednotky (Master) komunikující s jednotlivými ISU po I2C.
3. Triangulace tepelného zdroje z 2 až n ISU (Slave).
4. Určení místa uniku tepla ve vedení o známé geometrii.
5. Přenos dat měření z ISU do PC (Matlab).

Seznam odborné literatury:

[1] Novák, P.: Mobilní roboty, BEN technická literatura, Praha, 2005, ISBN 80-7300-141-1

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 9.2.2011

L.S.

Ing. Jan Roupec, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem práce je vytvoření inteligentních senzorických jednotek (Intelligent Sensor Unit, ISU) schopných určit zdroj tepelného záření odlišitelný od pozadí. Jednotlivé ISU (Slave) budou komunikovat pomocí sběrnice I2C s centrální řídicí jednotkou (Master), která bude určena jak k nastavení ISU (Slave) tak k vlastnímu výpočtu polohy tepelného zdroje a komunikaci s obsluhou. Celý systém ISU bude založen na uP ATmega128. Senzorická část bude schopna snímat v rovině perimetr 0° až 180° , a rozlišit teoretický teplotní gradient objekt-pozadí 2°C . Daná aplikace může být využita pro potřebu monitoringu technologických i živých objektů.

ABSTRACT

The aim of this thesis is the creation of intelligent sensor units (Intelligent Sensor Unit ISU) able to identify the source of heat radiation can be distinguished from background. Single System (slave) will communicate via the I2C bus to the central processing unit (Master), which will serve as the setting ISU (slave), so for their own heat source position calculation and communication with staff. The whole system is based on the ISU uP ATmega128. Sensory part will be able to scan the perimeter of the plane 0° to 180° , and distinguished theoretical temperature gradient object-background 2°C . A given application can be used for the monitoring of technology and living objects.

KLÍČOVÁ SLOVA

I2C, triangulace, komunikace, ATmega128, MLX90614AAA

KEYWORDS

I2C, triangulation, communication, ATmega128, MLX90614AAA

BIBLOGRAFICKÁ CITACE

ZSEMLE, R. 2D triangulace zdrojů tepelného záření. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 41 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radomil Matoušek, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma: „2D triangulace zdrojů tepelného záření“, vypracoval samostatně pod vedením Ing. Radomil Matoušek, Ph.D., na základě dostupné literatury a dostupných informačních zdrojů, které jsem všechny odcitoval v seznamu použité literatury.

V Brně dne

podpis.....

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Radomilu Matouškovi, Ph.D. za velice věcné rady při jejím tvoření.

Obsah:

Zadání závěrečné práce.....	3
Licenční smlouva.....	5
Abstrakt.....	7
Bibliografická citace.....	9
Prohlášení.....	11
Poděkování.....	13
1 Úvod.....	17
2 Technická realizace ISU.....	19
2.1 ISU	19
2.2 Servo.....	19
2.3 Senzor.....	20
2.4 MCU.....	20
2.5 Komunikace.....	21
2.5.1 I2C.....	21
2.5.2 UART.....	23
3 Programová realizace ISU.....	25
3.1 ISU Master.....	25
3.2 ISU Slave.....	27
4 Teplotní senzor a triangulace objektu	29
4.1 Senzor	29
4.2 Triangulace.....	29
5 Testování.....	33
5.1 Rozmístění v rovině.....	33
5.2 Zadaná geometrie.....	35
6 Závěr.....	37
Seznam použité literatury.....	39
Seznam příloh.....	41

1 ÚVOD

Cílem práce je vytvoření inteligentních senzorických jednotek (Intelligent Sensor Unit, ISU) schopných určit zdroj tepelného záření odlišitelný od pozadí. Jednotlivé ISU (Slave) budou komunikovat pomocí sběrnice I2C s centrální řídicí jednotkou (Master), která bude určena jak k nastavení ISU (Slave) tak k vlastnímu výpočtu polohy tepelného zdroje a komunikaci s obsluhou. Celý systém ISU bude založen na uP ATmega128. Senzorická část bude schopna snímat v rovině perimetr 0° až 180° , a rozlišit teoretický teplotní gradient objekt-pozadí 2°C . Daná aplikace může být využita pro potřebu monitoringu technologických i živých objektů. Předložené řešení je zaměřeno na nalezení objektu, který má vyšší teplotu než pozadí, obecně by však nebyl problém upravit zařízení tak, aby pracovalo opačně, tj. bylo schopno odlišit chladnější objekt od teplého pozadí.

Práce se věnovala především praktické realizaci. Postup je shrnut v písemné práci. Realizace zahrnovala jak volbu použitého hardwaru tak jeho vhodné nastavení, jakožto i vytvoření softwaru, který tvoří inteligenci senzorických jednotek.

Ve druhé kapitole věnované technické realizaci je popsán použitý hardware, jeho parametry a důvod proč byl zvolen. Jedná se o vývojový kit, mikroprocesor, rozšiřující modul, senzor a servo. Rovněž je zde věnována pozornost způsobu komunikace mezi jednotlivými částmi sítě. Senzor je důkladněji popsán v kapitole 4.

Ve třetí kapitole věnované programové realizaci je popsána práce programů pro jednotky Master a Slave. Popis fungování je doplněn o ukázkový kód. Jednotka Master odpovídá za řízení komunikace, výpočtům souřadnic hledaného objektu pomocí triangulace a předávání informací obsluze zařízení. Jednotka Slave dodává data pro triangulaci, typu úhel objektu vůči senzoru, její činnost je řízena podle obdržovaných pokynů jednotky Master.

Čtvrtá kapitola je věnována popisu vlastností užitého pyrosenzoru a je vysvětlen princip triangulace teplotně odlišitelného objektu. Kapitola zahrnuje detailní popis výpočtu polohy objektu, tj. určení souřadnice X, Y.

Páta kapitola je věnována testování schopnosti senzorické sítě určit polohu hledané třídy objektu, tj. objektu s teplotním vyzařováním odlišitelným od pozadí. Toto měření bylo realizováno pro dva případy.

Pro první případ byl uvažován scénář, kdy známe polohu senzorů a hledáme objekt umístěný kdekoli v rovině a v dosahu senzorů. Testování bylo v tomto případě provedeno rozmístěním tří senzorů do předem určených pozic a umístěním tepelného zdroje (hledaného objektu) do stanovených referenčních pozic. Celkem byly testovány čtyři konfigurace rozmístění objektů a jejich souřadnice byly triangulovány pomocí tří ISU.

Jako druhý případ testu byla uvažována soustava tvořící část technologického celku, např. rovná trubka. V tomto případě známe vzdálenost senzorů od této trubky, co nevíme je místo kde dojde k úniku tepla. Referenční místo domnělého úniku bylo zvoleno ve dvou souřadnicích, a tyto souřadnice byly triangulovány pomocí dvou ISU.

Každé měření bylo pro korektnost výsledku opakováno.

2 TECHNICKÁ REALIZACE ISU

Cílem bylo navrhnout ISU schopné rozeznat tepelný objekt. Při návrhu byl jako základ systému zvolen 8-bitový mikroprocesor ATmega128, který zajišťuje obsluhu všech ostatních komponent sítě. Jedná se především o komunikaci mezi ISU, zpracováním údajů od senzoru, řízení serva a komunikaci s uživatelem. K realizaci bylo zapotřebí ještě servo a senzor. Pro komunikaci byla zvolena sběrnice I2C pro svoji jednoduchou implemetaci. K provozu jsou zapotřebí pouze dva vodiče. Komunikace po vodičích je odolnější proti rušení zvenčí oproti bezdrátové komunikaci. Dalším faktorem byla cena realizace.

2.1 ISU

Základem každé jednotky je vývojový kit od společnosti PK-Design. Kit obsahuje kromě samotného mikroprocesoru i podpůrný hardware. Patří mezi něj zdroj hodinového signálu, napěťový regulátor +5V, konektory pro I/O vývody mikroprocesoru, tlačítko RESET, sériové rozhraní RS-232 a USB. Deska umožňuje jednoduché připojování rozšiřujícího hardwaru pomocí konektorů. Kit byl vybrán pro svou jednoduchou rozšiřitelnost a cenovou dostupnost.



Obr. 1 Vývojový kit PK-Design[1].

Funkcionalita byla rozdělena na jednotky, které provádějí měření a na jednotku, která slouží k vyhodnocení a komunikaci s obsluhou. Jednotky jsou propojeny pomocí sběrnice I2C. Rozdělení jednotek:

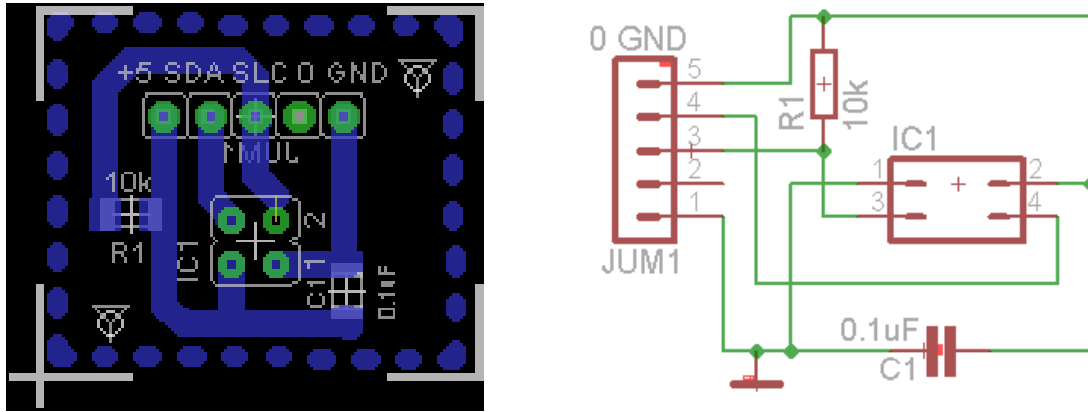
- 1) Jednotka ISU Slave se skládá z vývojového kitu, k němu je připojeno servo HS-322HD a senzor MLX9614.
- 2) Jednotka ISU Master je tvořena vývojovým kitem a rozšiřujícím modulem s LCD displejem a maticovou klávesnicí.

2.2 Servo

Jako pohon pro natáčení senzoru bylo zvoleno servo HS-322HD. Servo umožňuje natáčení v rozsahu 0-180°. Je napájeno 5V přímo z vývojového kitu. Je ovládáno pomocí PWM signálu, který určuje natočení. Servo dosahuje rychlosti natáčení 0,19s/60° při 4,8V a 0,15s/60° při 6V. Servo má tah 3kg/cm při 4,8V až 3,7kg/cm při 6V.

2.3 Senzor

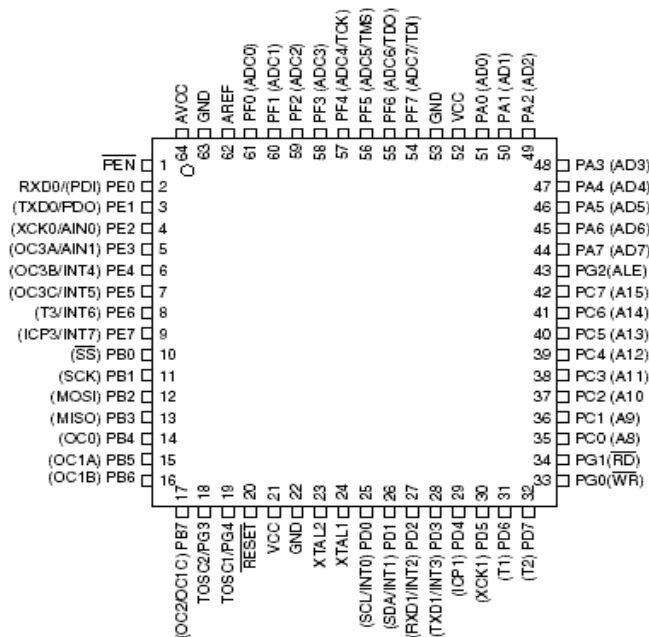
Senzor byl zvolen od společnosti MELEXIS typ MLX90614 AAA. Je napájen 5V přímo z připojeného vývojového kitu. Jeho výhody jsou malá velikost, nízká cena, jednoduché zapojení, možnost komunikace po PWM a SMBus. Senzor byl osazen na navržený tištěný spoj umožňující využít obou způsobů komunikace.



Obr. 2 Doporučené schéma zapojení pyro senzoru MLX90614 (v pravo) a příslušná navržená dps (vlevo)

2.4 MCU

Jako mikroprocesor byl zvolen ATmega128 od společnosti Atmel. Důvodem byly jeho technické parametry a cena. Disponuje dostatečným počtem I/O pinů nejen pro aktuální potřeby ale i pro možnost dalšího rozšíření v budoucnosti. V aktuálním projektu jsou využity piny pro jedno PWM na ovládání serva, ICP1 pin pro příjem PWM signálu ze senzoru a piny pro I2C a UART komunikaci.



Obr. 3 Schéma rozložení pinů[2].

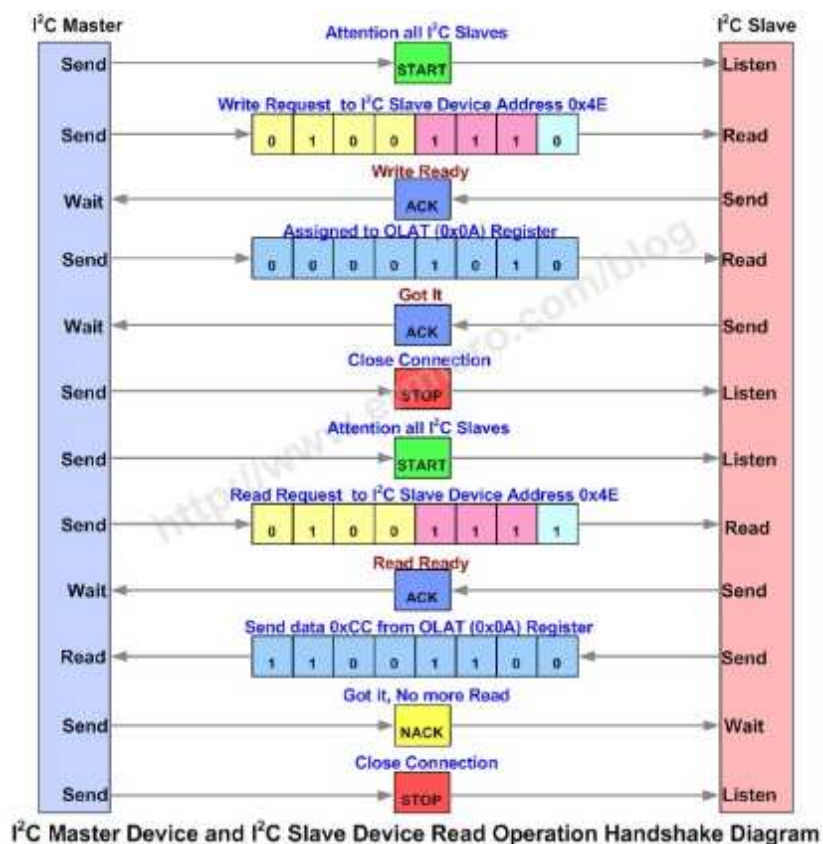
2.5 Komunikace

2.5.1 I2C

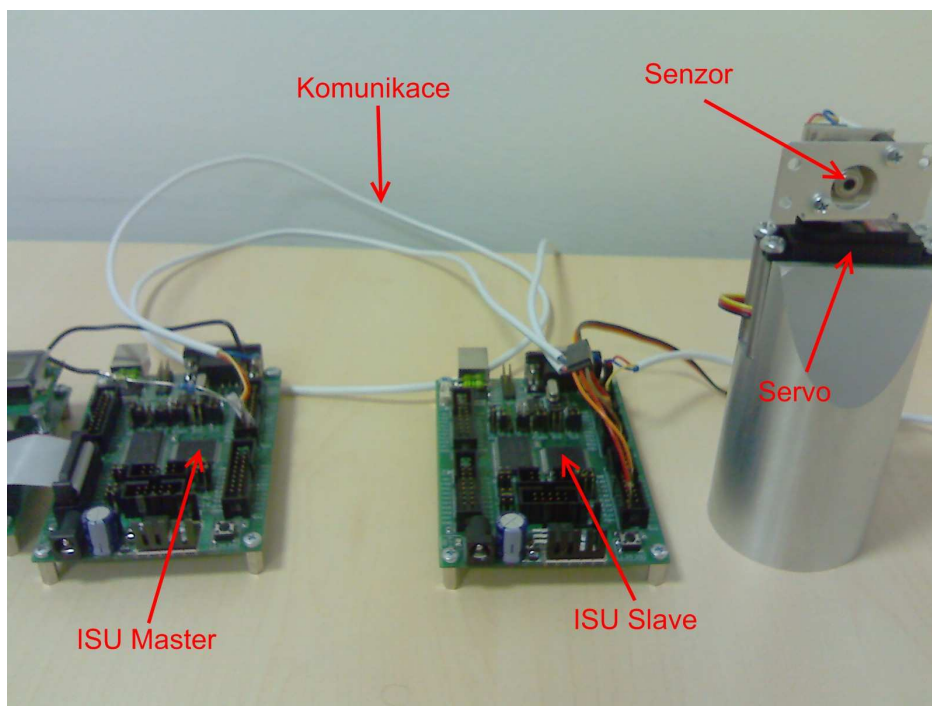
Pro komunikaci byla zvolena sběrnice I2C. Sběrnice byla vytvořena společností Philips v roce 1980. Využívá pro komunikaci dva vodiče nazvané SLC (seriál clock) a SDA (serial data). Každý vodič je připojen k zemi pomocí pull-up odporu o velikosti 1,8k Ω až 10k Ω . Na sběrnici se vyskytují zařízení typu Master a Slave. Zařízení Master řídí SLC a zahajují komunikaci. Slave pouze odpovídá na Mastera, sám nemůže zahájit komunikaci. Na sběrnici se může vyskytovat jedno až více zařízení Slave. Celkové množství je omezeno počtem dostupných adres a celkovou elektrickou kapacitou sběrnice 400pF. Rychlost komunikace je závislá na nejpomalejším připojeném zařízení, normální rychlosti jsou stanoveny do 100kbit/s, Rychlý mód do 400kbit/s a Vysoko rychlostní mód do 3,4Mbit/s.

Samotná komunikace probíhá po blocích o velikosti 9 bitů, 8 bitů dat a 1 bit pro potvrzení příjmu. Pro přenos adresy zařízení slouží 7 bitů, 1 bit pro určení zápis/čtení a 1 bit pro potvrzení příjmu. Současně může vysílat pouze jedno zařízení. Každá komunikace začíná sekvencí START a končí sekvencí STOP. Komunikaci navazuje Master odesláním sekvence START a adresy zařízení se kterým chce komunikovat. Po odpovědi že jednotka je na příjmu je odeslán jeden nebo více bajtů dat a na závěr odeslana sekvence STOP. Během přenosu je napětí okolo 5V, na vodiči SLC je stabilní a na vodiči SDA dochází k jeho kolísání.

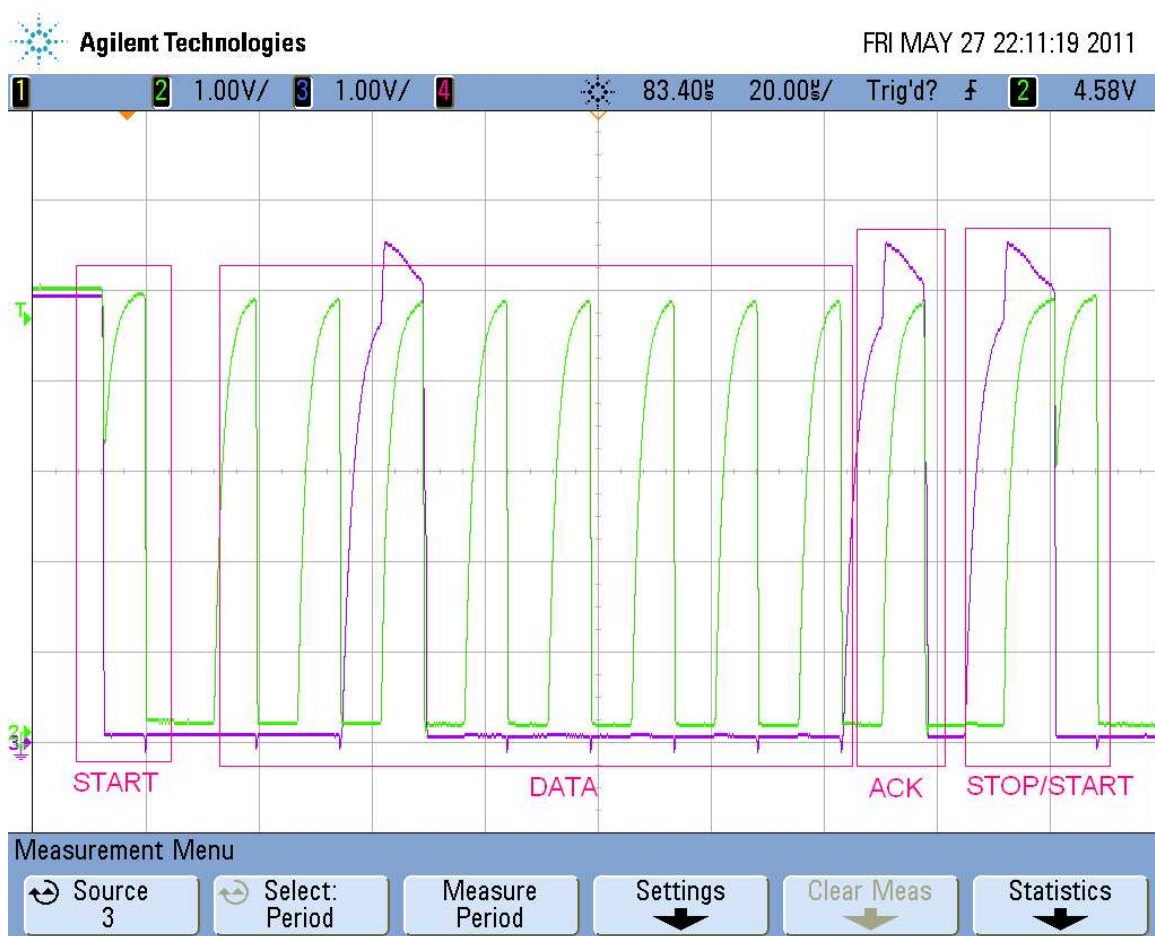
Pro komunikaci se senzorem bylo zvoleno PWM i přes schopnost komunikovat po I2C, bylo tak učiněno z důvodu možného přetížení sítě při použití většího množství senzorů. Je nezbytné během měření číst data pro každý úhel, při použití více senzorů by mohlo docházet k prodlevám při komunikaci.



Obr. 4 Příklad komunikace pomocí I2C[3].



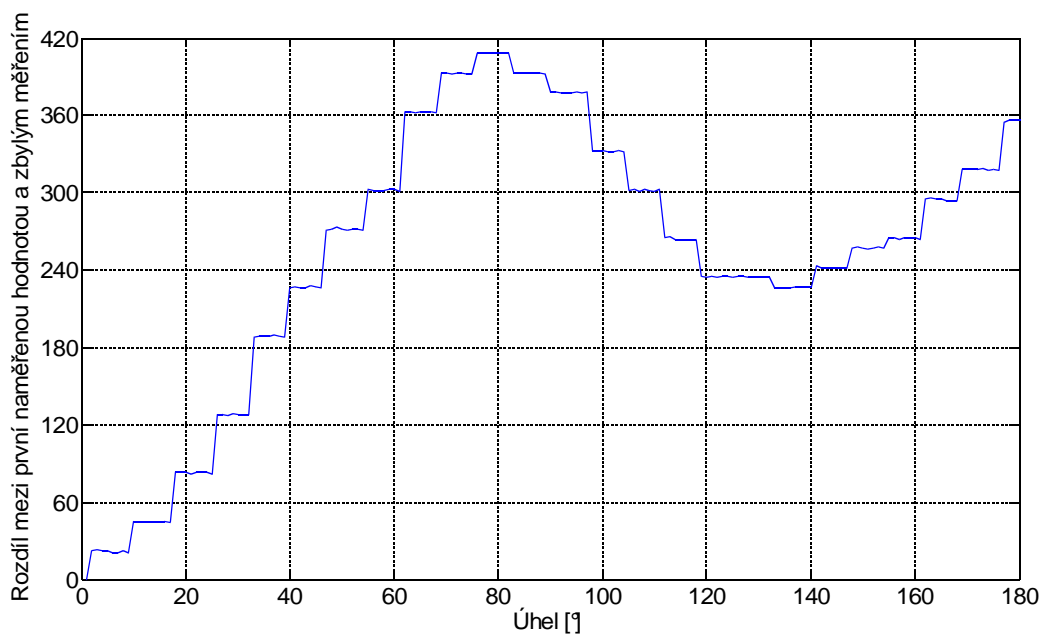
Obr. 5 Fotografie fyzické realizace..



Obr. 6 Ukázka fyzické komunikace, přenos datového paketu.

2.5.2 UART

Pro komunikaci s PC byla použita sériová linka UART. Na straně PC je možné použít jakýkoliv program pro záznam a zpracování přenášených dat. Data jsou přenášena ve formátu ID senzoru jako první byte následovaný řetězcem 1 byte aktuální úhel a 5 bytů hodnota ze senzoru. Přenos není ukončen žádným speciálním znakem.



Obr. 7 Vizualizace přenesených dat do programu Matlab

Id senzoru	Úhel	Data	Úhel	Data	-----	Úhel	Data
1byte	1byte	5bytů	1byte	5bytů		1byte	5bytů

Obr. 8 Přenos dat po UART, znázornění formátu přenášených dat

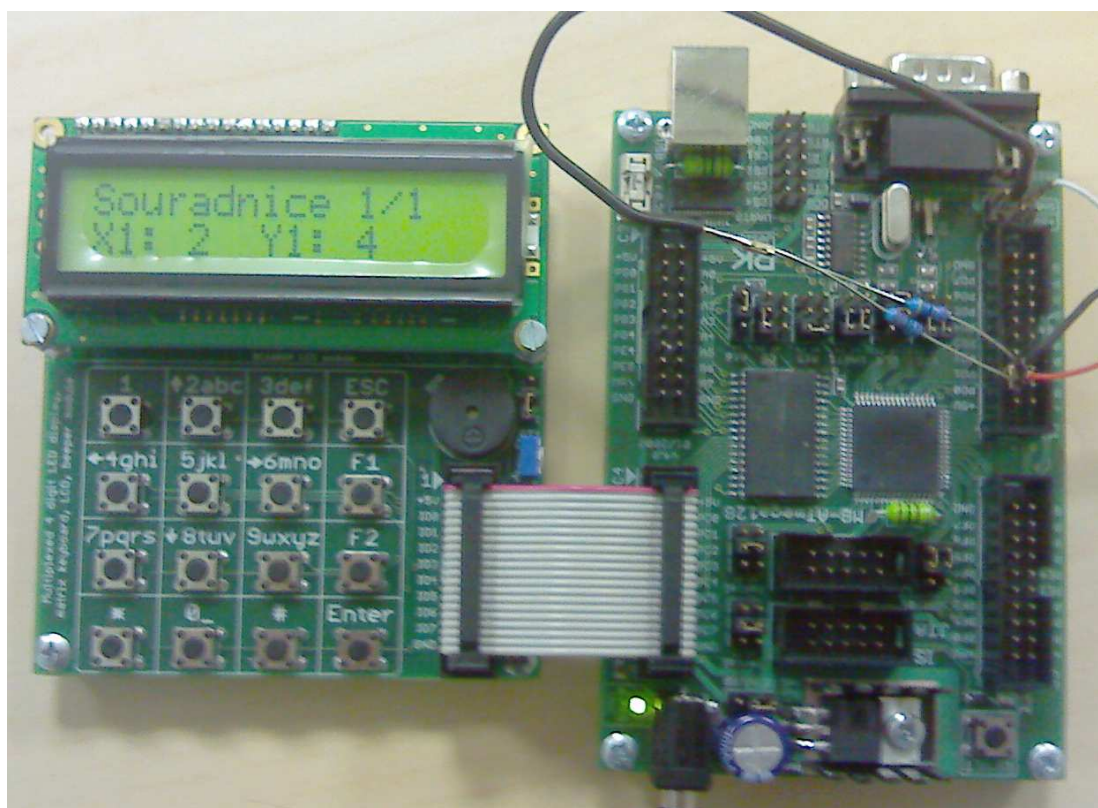
0x10	0	0	1	22	2	23
------	---	---	---	----	---	----

Tabulka 1 Ukázka přenášených dat do PC pomocí UART

3 PROGRAMOVÁ REALIZACE ISU

3.1 ISU Master

Hlavní náplní práce jednoty Master je sloužit jako uživatelské rozhraní k celému systému, obsluhovat komunikaci mezi jednotlivými jednotkami a zpracovávat výsledky. Pro komunikaci s uživatelem slouží připojená maticová klávesnice s dvouřádkovým displejem. Pomocí ní jsou vybírány jednotlivé režimy činnosti systému, zadávání požadovaných hodnot a zobrazení výsledků měření.



Obr. 9 Ukázka HMI, zadávání souřadnic senzoru.

Po zadání požadovaných parametřů uživatelem je senzoru pomocí I2C vydán pokyn pro zahájení měření a případně přenos měření do PC. Pro jednoduchost je použito co nejméně datových přenosů. Pro každý senzor je poslán samostatný příkaz. Následovaný časovou pauzou pro měření. Po tomto čase je vyslán pokyn pro vrácení naměřených údajů. Sensory jsou jeden po druhém osloveni s příkazem poslat výsledky.

Ukázka kódu pro čtení dat z jednotek Slave. Při požadavku na data je nejdříve vyslána zpráva sdělující odkud se má číst. Ve znázorněném kódu jsou popsány následující operace, jimiž jsou nové odeslání adresy jednotky spolu bitem značícím úmysl čtení dat a po přijetí daného počtu dat jejich uložení do proměně UhelBuff.

```

if (TWI_operation == REQUEST_DATA)
{
    // Pozadavek/sber dat ze Slave
    messageBufOut[0]=(TWI_targetSlaveAddress[i]<<TWI_ADR_BITS) |
    (TRUE<<TWI_READ_BIT);
    // Prvni byte musi vzdy obsahovat General Call kod nebo TWI slave adresu.

    TWI_Start_Transceiver_With_Data( messageBufOut, 2);
    TWI_operation = READ_DATA_FROM_BUFFER; // Dalsi operace
}
else if (TWI_operation == READ_DATA_FROM_BUFFER)
{
    // Dostan prijata data z bufferu
    TWI_Get_Data_From_Transceiver( messageBufIn, 2 );
    UhelBuf[i] = messageBufIn[1]; // Uloz data na PORTA.
    TWI_operation = FALSE; // Dalsi operace
    cteni = 0;
}

```

Po přijmutí výsledků odevšech jednotek je proveden výpočet polohy. Je prováděn ve třech krocích. Prvním je kombinováním jednotlivých dvojic senzorů získat mezivýsledky. Druhý představuje vyřazení duplicitních mezivýsledků a jejich setřídění před dalším krokem. Pro setřídění se vybere bod P jenž je má nejmenší hodnotu na ose y a současně nejvyšší na ose x. Ostatní body jsou seřazeny podle úhlu, který svírají s bodem P a kladným směrem osy x. Začíná se od nejmenšího úhlu po nejvyšší. Tím vznikne polygon hvězdicového tvaru. Třetím a posledním krokem je určení těžiště vzniklého polygonu, který představuje hledaný bod.

Ukázka kódu pro výpočet polohy těžiště. Jako první je pomocí funkce Centroid3 spočteno těžiště trojúhelníku. Následuje spočtení obsahu daného trojúhelníku. V dalším kroku je přičtena pozice spočteného těžiště do proměných CG a přičtení spočteného obsahu do proměně Areasum2. Toto je opakováno pro zadaný počet bodů. Jako poslední je vypočtena hodnota výsledného těžiště.

```

void FindCG( int n, tPolygoni P, tPointd CG)
{
    int i;
    double A2, Areasum2 = 0;
    tPointi Cent3;

    CG[0] = 0;
    CG[1] = 0;
    for (i = 1; i < n-1; i++)
    {
        Centroid3( P[0], P[i], P[i+1], Cent3 );
        A2 = Area2( P[0], P[i], P[i+1]);
        CG[0] += A2 * Cent3[0];
        CG[1] += A2 * Cent3[1];
        Areasum2 += A2;
    }
    CG[0] /= 3 * Areasum2;
    CG[1] /= 3 * Areasum2;

    return;
}

```


3.2 ISU Slave

Jednotky Slave jsou až do svého oslovení jednotkou Master nečinné a čekají na povely k práci. Po obdržení příslušného pokynu (0x00 – generall call nebo adresa jednotky) provádí jeho zpracování a čekají na další pokyny. Každá jednotka je určena předem zadanou adresou, pod kterou odpovídá na volání. Hlavní činností, kterou jednotka vykonává je měření úhlu pod kterým se nachází tepelný zdroj. K tomu je využito serva a tepelného senzoru. Ze senzoru je kontinuálně přijímán signál PWM, který se vyhodnocuje, jak je znázorněno na ukázkách kódu. Výsledkem zpracování signálu je hodnota úhlu určující směr zdroje tepla. Volitelnou možností při měření je odesílání průběžných dat do PC pomocí sériové linky.

Ukázka kódu pro zpracování PWM signálu ze senzoru. Pro zpracování PWM signálu je použit časovač TIMER1, který je nastaven pro zachytávání přerušení od pinu ICP (Input Capture Unit). Při přerušení dojde k uložení hodnoty časovače do proměnné `icr` a obrácení smyslu zachytávání hrany signálu. Dále je spočtena šířka pulsu a délka periody signálu PWM, šířka pulsu je předána funkci `icp_enq()` pro uložení.

```
icr = ICR1;
do
{
    tcrcrb = ICP_CTL;
    ICP_CTL = tcrcrb ^ (1 << ICP_SENSE);

    if ((tcrcrb & (1 << ICP_SENSE)) == ICP_START_SENSE)
    {
        icp_period = icr - icp_start_time;
        delta = icp_stop_time - icp_start_time;
        icp_start_time = icr;
        icp_enq(delta);

        ICP_OCR = icr + icp_period + 1;
        TIFR = (1 << ICP_OC_IF);
        if ((ICP_PIN & (1 << ICP_BIT)) || (TIFR & (1 << ICP_IF)))
            break;
    }
    else
    {
        icp_stop_time = icr;
        if (((!ICP_PIN & (1 << ICP_BIT))) || (TIFR & (1 << ICP_IF)))
            break;
    }
} while (1);
```

Ukázka kódu pro určení polohy tepelného zdroje. Po zavolání funkce je servo nastavováno do poloh 0 až 180 reprezentující úhly. V každé poloze je zjišťována šířka PWM signálu funkcí `icp_rx()`. Následuje vyhodnocení jestli je v zorném poli senzoru zdroj tepelného záření. Pokud bylo požadováno odesílání dat do PC jsou data pomocí funkce `u_puts()` v každé poloze odeslána.

```
for (char i=0;i<=180;i++)
{
    servo_poloha(i);
    cli();
    temp = icp_rx();
    sei();
    if(c==1)
    {
        neco = temp;
        c=0;
    }
    if (temp < prev) //prave klesla teplota
    {
        // druhu stupen filtru, najit nejteplejsi zdroj
```

```

        if(temp > pom)
        {
            pom = temp;
            if(i == 0)
            {
                uhel = 0;
            }
            else
            {
                uhel = i-1;
            }
        }
    }
    if(n!=0)
    {
        sprintf(data, "%.0f  ", temp-neco);
        u_puts(data);
    }
    prev = temp;
    _delay_ms(10);
}

```

Ukázka kódu pro obsluhu komunikace po I2C ze strany jednotky Slave. Po přijetí vlastní adresy a jejím potvrzení jsou Mastrem poslána data reprezentující příkaz. Příkazy jsou hexadecimální hodnoty. Dále je vyhodnoceno o jaký příkaz se jedná jeho porovnáním s přednastavenými hodnotami. Podle příkazu jsou vykonány patřičné kroky v programu.

```

if ( TWI_statusReg.genAddressCall
{
    //provedeni mereni a vrati buffer s uhlama
    uhelBuf = promereni();
}
else
{
    if (messageBufIn[0] == TWI_CMD_SAVE_POSITION_START_MEASURE_DATA_PC)
    {
        //ulozeni pozice senzoru, prijate souradnice X,Y
        pozice[0] = messageBufIn[1];
        pozice[1] = messageBufIn[2];
        //provedeni mereni a vrati buffer s uhlama
        n = 1;
        uhelBuf = promereni();
    }

    if (messageBufIn[0] == TWI_CMD_SAVE_POSITION_START_MEASURE)
    {
        //ulozeni pozice senzoru, prijate souradnice X,Y
        pozice[0] = messageBufIn[1];
        pozice[1] = messageBufIn[2];
        //provedeni mereni a vrati buffer s uhlama
        n = 0;
        uhelBuf = promereni();
    }

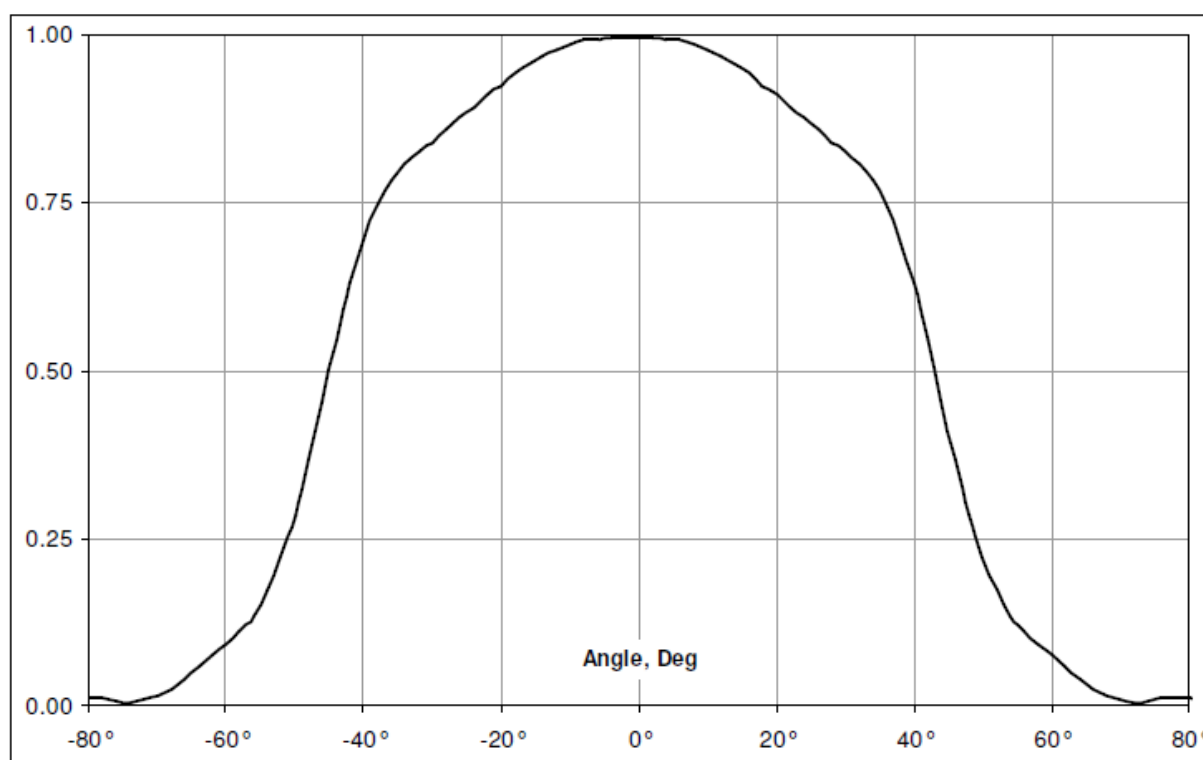
    if (messageBufIn[0] == TWI_CMD_RETURN_RESULT)
    {
        //odeslani zmereneho uhlu zpet masterovi
        messageBufOut[0] = uhelBuf;
        WI_Start_Transceiver_With_Data( messageBufOut, 1 );
    }
}
}

```

4 TEPLOTNÍ SENZOR A TRIANGULACE OBJEKTU

4.1 Senzor

Jedná se o jednozónový infračervený senzor. Je dodáván v několika provedení, vybrán byl ve variantě pro 5Vs jednou zónou ve standardním balení. Mezi jeho výhody patří malá velikost, nízká cena, velká přesnost, možnost komunikace pomocí PWM signálu a SMBus, která je kompatibilní s I2C. Mezi nevýhody se počítá nutnost osazení do tištěného spoje se součástkami nezbytnými pro fungování. Pro správné rozlišení tepelného zdroje je vhodné aby sledovaný zdroj zaplnil celé zorné pole. Čím menší část zorného pole je zaplněna tím horší jsou výsledky měření. Toto lze v případě potřeby upravit pomocí zastínění.



Obr. 10 Rozložení zorného pole senzoru[4].

4.2 Triangulace

Triangulace je způsob zjišťování souřadnic, provádí se pomocí trigonometrických výpočtů. Pro výpočet souřadnic neznámého bodu jsou zapotřebí dva známé body. Z každého bodu je potřeba určit úhel, který svírají spojnice dvou známých bodů a známého bodu s neznámým. V rámci práce představuje neznámý bod zdroj tepla a známé body jsou pozice senzorů. Úhly jsou určeny úhly zdroje tepla.

Výpočty používané v programu vycházejí z 1. a 2. geodetické úlohy. Během výpočtu je nutné určit vzdálenost senzorů A a B podle vzorce (1), následuje určení vzdálenosti senzoru A a zdroje tepla C (2). Poté se určuje orientovaný úhel mezi senzory A a B (3), zbývá určit orientovaný úhel mezi senzorem A a zdrojem tepla C (4). Souřadnice zdroje tepla se spočítají pomocí rovnic (5)(6).

$$s_{AB} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2} \quad (1)$$

$$s_{AC} = \frac{\sin(\beta)}{\sin(\alpha + \beta)} \cdot s_{AB} \quad (2)$$

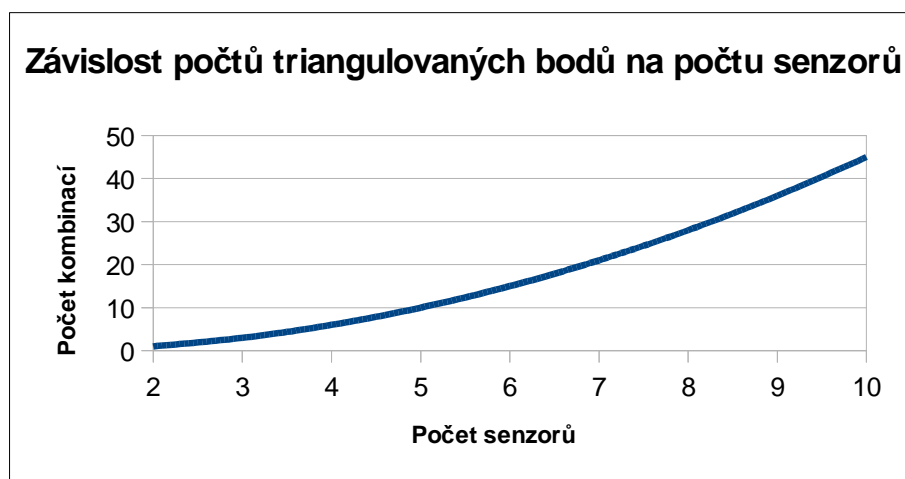
$$\gamma_{AB} = \arctan\left(\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}\right) \quad (3)$$

$$\gamma_{AC} = \gamma_{AB} + \alpha \quad (4)$$

$$X = x_A + s_{AC} \cdot \cos(\gamma_{AC}) \quad (5)$$

$$Y = y_A + s_{AC} \cdot \sin(\gamma_{AC}) \quad (6)$$

Podle počtu senzorů vypočteme triangulované body jejichž počet odpovídá kombinaci všech senzorů. S rostoucím počtem senzorů roste počet triangulovaných bodů, které po výpočtu dostaneme a je nutné je dále zpracovat pro určení polohy zdroje tepla.

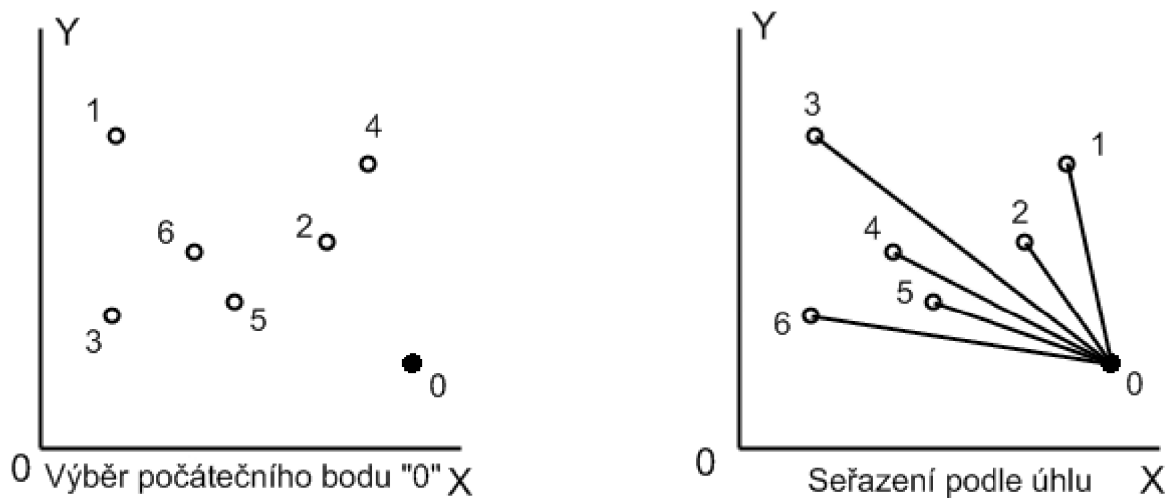


Obr. 11 Závislost počtu kombinací na počtu senzorů.

$$C = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (7)$$

Před dalším zpracováním je nutné získané triangulované body seřadit a odstranit duplicity. Triangulované body jsou seřazeny podle se zvyšujícího se polárního úhlu, který svírají s počátečním bodem a kladným směrem osy X. Jako počáteční bod je vybrán s nejnižší hodnotou na ose Y a v případě více bodů se stejnou hodnotou, ten s nejvyšší hodnotou na ose X. Ukázka výběru počátečního bodu a seřídění je na obr. 11. Výsledkem je polygon u něhož počáteční bod vidí na všechny ostatní body v polygonu.

Jako poslední krok je použit algoritmus pro určení výsledných souřadnic. Seříděné body s předcházejícího kroku jsou využity pro výpočet těžiště. Metoda výpočtu spočívá v rozdělení polygonu na trojúhelníky, výpočet jejich těžiště a obsahu. Následně se jednotlivé souřadnice sečtou a výsledná hodnota se vydělí celkovou plochou polygonu (8)(9)(10).



Obr. 12 Znárodnění vybrání počátečního bodu a seřídění triangulovaných bodů podle úhlu

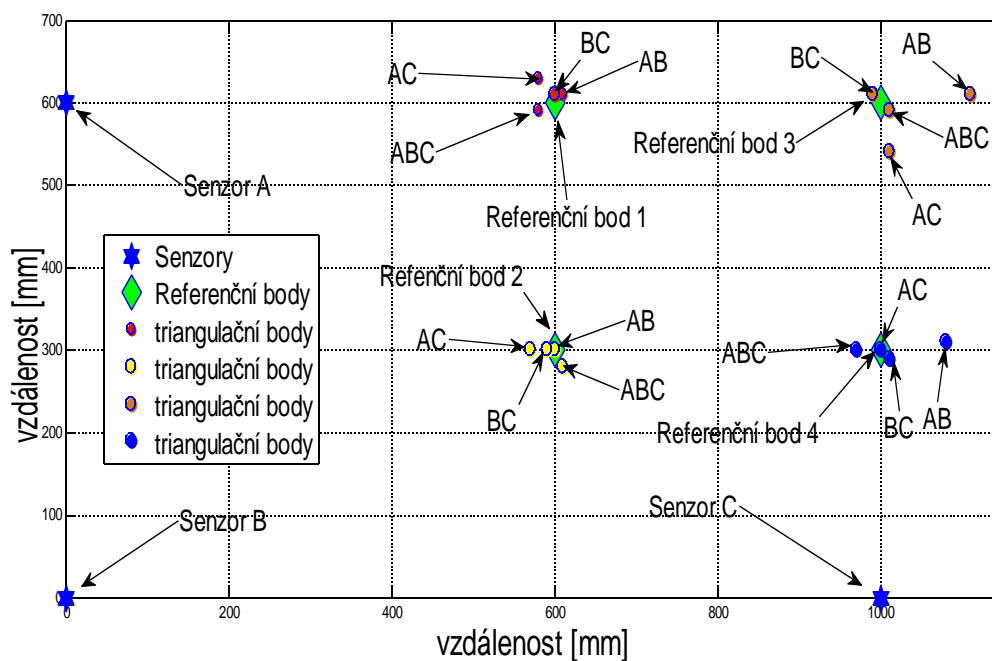
$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i y_i - x_{i+1} y_i) \quad (8)$$

$$X_T = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i + x_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (9)$$

$$Y_T = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i + y_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (10)$$

5 TESTOVÁNÍ

5.1 Rozmístění v rovině



Obr. 13 Rozmístění referenčních bodů a vypočítaných triangulovaných bodů.

Senzory	Triangulovaný bod 1		Triangulovaný bod 2		Triangulovaný bod 3		Triangulovaný bod 4	
	X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]
ABC	-20	-10	10	-20	10	-10	-30	0
AB	10	10	0	0	110	10	80	10
AC	-20	30	-30	0	10	-60	0	0
BC	0	10	-10	0	-10	10	10	-10

Tabulka 2 Poloha triangulovaných bodů vzhledem k referenčním bodům

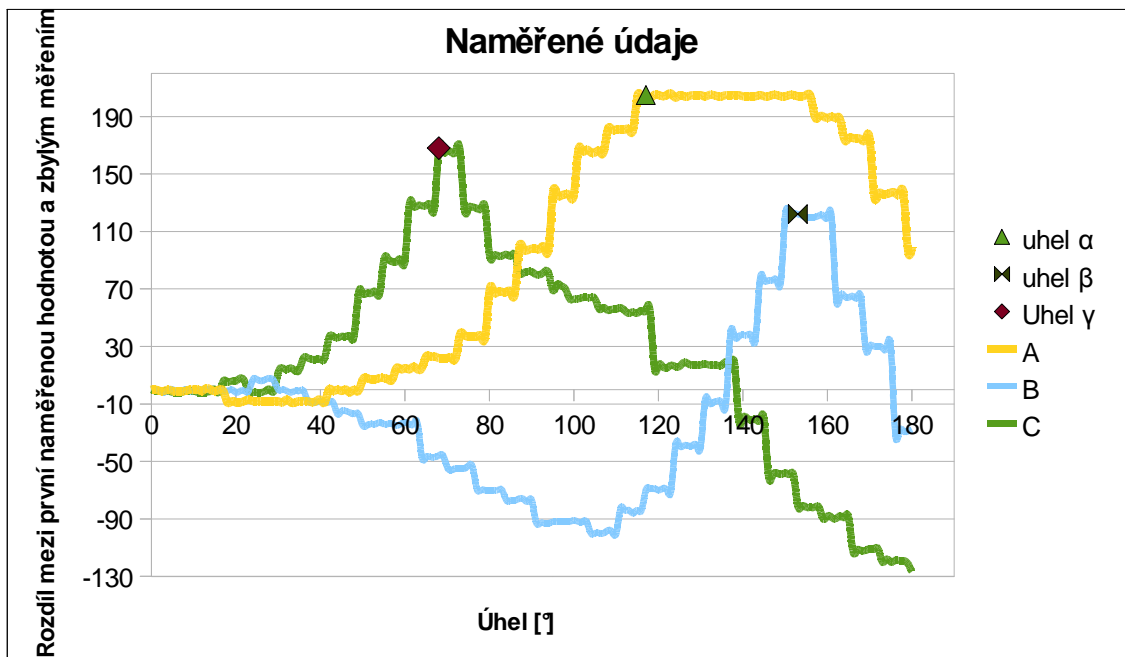
	Referenční bod 1	Referenční bod 2	Referenční bod 3	Referenční bod 4	A	B	C
Pozice X [mm]	600	600	1000	1000	0	0	1000
Pozice Y [mm]	600	300	600	300	600	0	0

Tabulka 3 Poloha referenčních bodů

Konkrétní příklad výpočtu souřadnic.

Měřený bodem je referenční bod č.2. Na ukázkou je uveden výpočet pomocí kombinace senzorů AB. Naměřené uhly:

	α	β
Úhel:	117	153



Obr. 14: Údaje ze senzorů ABC

Po získání úhlů následuje výpočet výsledných souřadnic pomocí 2. geodetické úlohy. Nejprve je nutné upravit získané úhly aby odpovídaly vnitřním úhlům trojúhelníku.

$$\text{Úhel1} = 180 - 117 = 63$$

$$\text{Úhel2} = 153 - 90 = 63$$

Následuje výpočet vzdálenosti mezi senzory AB.

$$s_{AB} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2} = 600$$

Výpočet vzdálenosti mezi senzorem A a hledaným bodem 2.

$$s_{A2} = \frac{\sin(\text{Úhel2})}{\sin(\text{Úhel1} + \text{Úhel2})} \cdot s_{AB} = 660,80678$$

Výpočet orientovaného úhlu γ mezi senzory AB a zohlednění pozice druhého senzorů oproti prvnímu.

$$\gamma_{AB} = \arctan\left(\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}\right) = 0$$

Výpočet orientovaného úhlu γ mezi senzorem A a hledaným bodem 2.

$$\gamma_{A2} = \gamma_{AB} + \alpha = 63$$

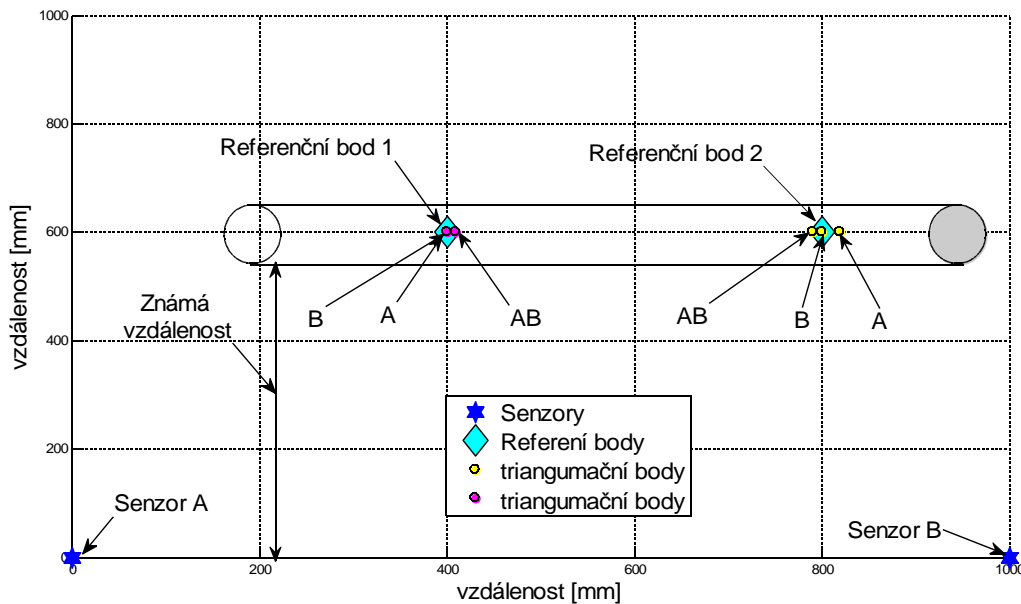
Výpočet výsledných souřadnic.

$$X = x_A + s_{A2} \cdot \cos(\gamma_{A2}) = 600$$

$$Y = y_A + s_{A2} \cdot \sin(\gamma_{A2}) = 300$$

Opakovaným měřením bylo dospěno k závěru, že na dané rozlišovací úrovni jsou rozdíly v měření zanedbatelné.

5.2 Zadaná geometrie



Obr. 15 Rozmístění referenčních bodů a vypočítaných triangulačních bodů.

	Triangulační bod 1		Triangulační bod 2	
Senzory	X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]
A	0	0	10	0
B	0	0	0	0
AB	10	0	-6	0

Tabulka 4 Poloha triangulovaných bodů vzhledem k referenčním bodům

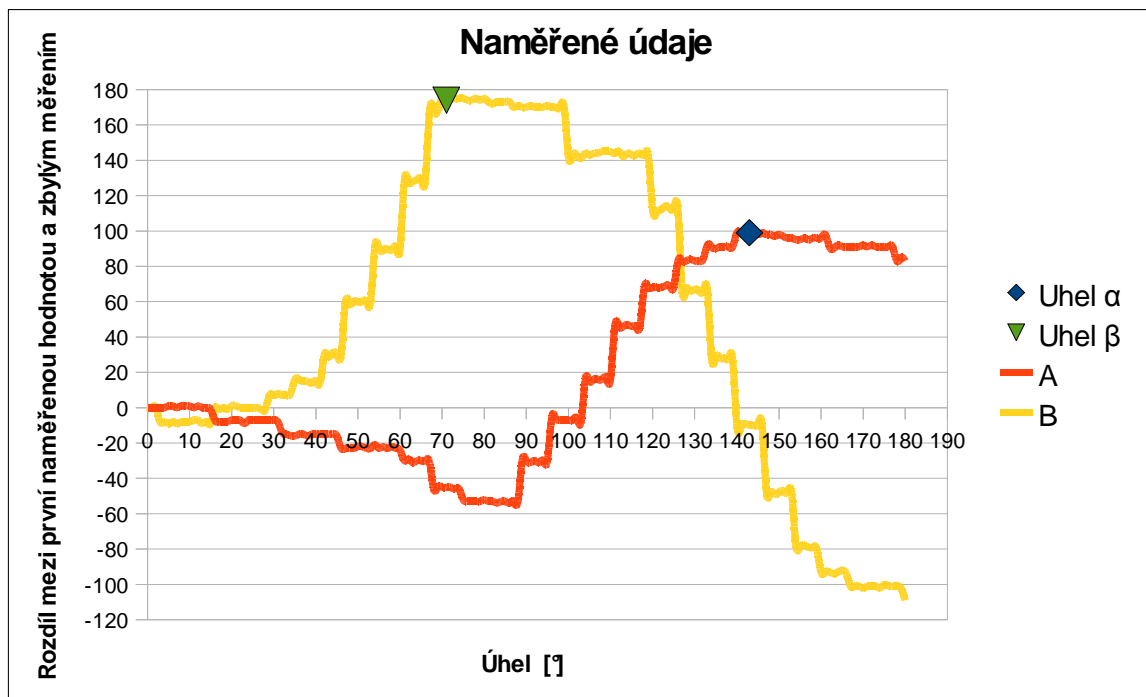
	Referenční bod 1	Referenční bod 2	A	B
Pozice X [mm]	400	800	0	0
Pozice Y [mm]	600	600	1000	0

Tabulka 5 Poloha referenčních bodů

Konkrétní příklad výpočtu souřadnic.

Měřený bodem je referenční bod č.2. Použité senzory jsou v kombinaci ABC. Naměřené uhly:

	α	β
Úhel:	143	71



Obr. 16 Naměřené údaje ze senzorů AB

Po získání úhlů následuje výpočet výsledných souřadnic. Jako první krok se rozhodne na jaké straně proti senzoru leží hledaný bod, pokud se nachází na pravé straně, přepočítá se na vedlejší úhel

$$\alpha' = 180 - 143 = 37$$

Jako další se spočítá výsledná souřadnice pro senzor A a B.

$$x_1 = x_A - (y_{\text{referenční bod2}} - y_A) / \tan(\alpha') = 796$$

$$x_2 = x_B - (y_{\text{referenční bod2}} - y_B) / \tan(\beta) = 793$$

Následuje spočítání aritmetického průměru vypočítaných souřadnic.

$$X = (x_1 + x_2) / 2 = 794$$

Opakovaným měřením jsme dospěli k závěru, že na dané rozlišovací úrovni jsou rozdíly v měření těžko odlišitelné a pro další účel této práce jsou zanedbány. V případě konkrétní realizace by však na základě sady měření byla vypočítána chyba měření, což by byl pro danou sestavu senzorů důležitý údaj.

6 ZÁVĚR

Cílem práce byl návrh inteligentních senzorických jednotek ISU schopných zaměřit zdroj tepelného záření. Tohoto cíle bylo dosaženo, což demonstruje kapitola 5. Jednotka Slave za využití senzoru a serva je schopna odhalit zdroj tepelného záření odlišitelného od pozadí.

Druhým cílem bylo sestavit jednotku ISU Master, která bude obstarávat komunikace mezi jednotkami, provádění výpočtů triangulace a komunikovat s obsluhou. Jednotka je vybavena LCD displejem a klávesnicí. Tohoto cíle bylo dosaženo, jednotka Master je schopna komunikovat s jednotkami, řídit jejich činnost, zpracovávat naměřené údaje a výsledky interpretovat obsluze nebo posílat po UART k dalšímu zpracování.

Komunikace v rámci sítě probíhá pomocí sběrnice I2C. S počtem jednotek, které byly připojeny do sítě nebyly zaznamenány žádné potíže s komunikací. Po celou dobu byla komunikace plynulá a nepřerušovaná. Celkový počet jednotek na sběrnici je omezen pouze množstvím unikátních adres jednotek Slave.

Programová implementace i vlastní návrh umožňují snadné rozšíření o další jednotky. Provedené testy se třemi ISU a danými referenčně pozicovanými objekty potvrdily funkcionální návrh. Výsledky rovněž velmi záleží na vzájemné prostorové konfiguraci polohy senzorů a objektů jak vyplývá z obrázku 13.

Závěrem bych chtěl konstatovat, že jsem si na dané praktické a zajímavé práci značně rozšířil vědomosti z předmětu mikroproc.. a rád bych se uvedené tématice i nadále věnoval.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1]: Základová deska [online], 2009, [cit. 27. května 2011] Dostupné z: <http://pk-design.net/HtmlCz/MB_ATmega128v4.html>
- [2]: Datasheet Atmel [online], [cit. 25. května 2011] Dostupné z: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2467.pdf>
- [3]: Transforming your AVR Microcontroller [online], 2009, [cit. 28. května 2011] Dostupné z: <<http://www.ermicro.com/blog/?p=1239>>
- [4]: Datasheet MELEXIS [online], [cit. 26. května 2011] Dostupné z: <<http://www.melexis.com/Asset/IR-sensor-thermometer-MLX90614-Datasheet-DownloadLink-5152.aspx>>
- [5] Přednáškové texty z Geodézie, Doc. Ing. Václav Čada CSc. [online], [cit. 27. května 2011] Dostupné z: <<http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch07.html>>
- [6] Servo city [online], [cit. 27. května 2011] Dostupné z: <http://www.servocity.com/html/hs-322hd_standard_deluxe.html>
- [7] Novák, P.: Mobilní roboty, BEN technická literatura, Praha, 2005, ISBN 80-7300-141-1

SEZNAM PŘÍLOH

CD s elektronickou verzí bakalářské práce, zdrojové kódy k jednotkám Master a Slave.