

Bakalářská práce

Detekce pohybu objektu PIR senzory v polární konfiguraci

Jan Šimíček



Květen 2015

Vedoucí práce: Ing. Jan Zábojník

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická, Katedra řídicí techniky

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra řídicí techniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Jan Šimíček**

Studijní program: Kybernetika a robotika
Obor: Systémy a řízení

Název tématu: **Detekce pohybu objektu PIR senzory v polární konfiguraci**

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou PIR senzorů.
2. Otestujte chování digitálního PIR senzoru ve vývojovém kitu DigiPyro.
3. Implementujte digitální filtr pro vybraný PIR senzor.
4. Vypočtete směr pohybu objektu na základě dat z 6 PIR senzorů v rovnoměrné polární konfiguraci.

Seznam odborné literatury:

- [1] Excelitas – Katalogové listy a informační materiály firmy Excelitas, www.excelitas.com
- [2] STMicroelectronics – Katalogové listy a informační materiály firmy STMicroelectronics, www.st.com
- [3] Křeček Stanislav – Příručka zabezpečovací techniky 2003, Vyd. 2.

Vedoucí: Ing. Jan Zábojník

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

prof. Ing. Michael Šebek, Drsc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 20. 2. 2015

Poděkování

Děkuji vedoucím své bakalářské práce panu Ing. Janu Zábojníkovi a panu Pavlu Hübn-
nerovi za jejich pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování této
bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za neocenitelnou
podporu v tomto období.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl veškeré
použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických
principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 22.5.2015

.....

Abstrakt

Tato práce se zabývá určením polohy objektu pomocí PIR senzorů umístěných do kruhu. V úvodu je popsán princip PIR senzoru společně s digitálními filtry. Další kapitoly jsou věnovány ukázce výstupů získaných pomocí vývojového kitu od výrobce senzorů a návrhu digitálních filtrů používaných při vyhodnocení. V závěru je navržen algoritmus vyhodnocení pohybu a polohy pro 6 senzorů umístěných v rovnoměrné polární konfiguraci.

Klíčová slova

PIR, senzor, polární konfigurace, detekce pohybu, určení polohy, digitální filtry

Abstract

This work deals with motion detection using PIR sensors. Following chapters are dedicated to results acquired by development kit provided by sensor manufacturer. This chapter also contains short description of FIR and IIR filter design used for detection evaluation. In the last chapter a motion detection algorithm that uses 6 PIR sensors in uniform polar configuration is presented and detection quality evaluated.

Keywords

PIR, sensor, polar configuration, motion detection, localization, digital filter

Obsah

Úvod	1
1. PIR senzor	3
1.1. Důvody výběru PIR senzoru	3
1.2. Popis PIR senzoru	3
1.3. Pyroelektrický jev	4
1.4. Princip PIR detektoru	4
1.5. Optika	5
1.5.1. Zrcadlová optika	6
1.5.2. Fresnelovy čočky	6
1.6. Varianty detekčních charakteristik	7
1.7. Výběr senzoru	8
1.8. Teorie digitálních filtrů	8
1.8.1. Dolní propust	8
1.8.2. Horní propust	9
1.8.3. Pásmová propust	10
1.8.4. Pásmová zadrž	10
1.8.5. Dělení číslicových filtrů	10
1.8.6. FIR filtry	11
1.8.7. IIR filtry	11
2. Testování chování digitálního PIR senzoru ve vývojovém kitu DigiPyro	13
2.1. Popis vývojového kitu	13
2.1.1. Hardware	13
2.1.2. Popis výrobcem dodané aplikace	14
2.2. Testování	14
2.2.1. Podmínky testování	15
2.2.2. Postup zpracování testování	15
2.2.3. Ověření detekce pohybu	15
3. Návrh a implementace digitálního filtru pro vyhodnocení poplachu	17
3.1. Implementace digitálního filtru	19
3.1.1. Popis návrhové funkce	19
3.1.2. Popis filtrační funkce	20
3.2. Ukázka funkčnosti dvou filtrů na výstupních datech senzorů	21
4. Návrh a implementace vyhodnocovacího algoritmu	23
4.1. Popis algoritmu pro vyhodnocení pohybu	24
4.2. Implementované algoritmy	25
4.3. Zobrazení výstupu všech senzorů	25
4.3.1. Popis skriptu	26
4.4. Zobrazení dialogu s polohou objektu	27
4.4.1. Popis skriptu	27
4.4.2. Určení polohy pohybujícího se objektu	28
5. Výsledky testování	29
5.1. Měření na větší vzdálenost	29
5.2. Měření při vzrůstající teplotě	30

5.3. Měření falešných poplachů	32
6. Závěr	35
Přílohy	
A. Výsledky měření	37
B. Obsah CD	41
Literatura	42

Seznam obrázků

1.	Ukázka PIR senzoru typu SMD.	4
2.	Ukázka PIR senzoru.	4
3.	Ukázka principu detektoru (převzato z [2]).	5
4.	Ukázka principu zrcadlové optiky [1].	6
5.	Ukázka principu Fresnelovy čočky [1].	6
6.	Varianty detekčních charakteristik [1].	7
7.	Zorné uhly SMD senzoru Excelitas PYD 5790 [3].	8
8.	Toleranční schéma filtru typu dolní propust [5].	9
9.	Toleranční schéma filtru typu horní propust [5].	9
10.	Toleranční schéma filtru typu pásmová propust [5].	10
11.	Toleranční schéma filtru typu pásmová zádrž [5].	10
12.	Výpočet výstupních dat	11
13.	Schéma výpočtu číslicového filtru typu FIR [6].	11
14.	Výpočet výstupních dat	11
15.	Schéma výpočtu číslicového filtru typu IIR [6].	12
16.	Vzhled vývojového kitu.	13
17.	Vzhled aplikace.	14
18.	Použitý kryt s fresnelovou čočkou.	15
19.	Výstupní signál + vyhodnocení.	16
20.	Používaný hardware	17
21.	Náhled výstupu při teplotě okolí 26 °C.	18
22.	Náhled výstupu při teplotě okolí 70 °C.	18
23.	Ukázka principu filtrů.	19
24.	Ukázka návrhu koeficientů filtrů.	20
25.	Ukázka výstupu filtrů.	21
26.	Ideální výstup senzorů (upraveno z [2]).	23
27.	Reálný výstup senzorů.	23
28.	Zobrazení důležitých bodů pro vyhodnocení.	24
29.	Ideální výstup senzorů při průchodu objektu opačným směrem (upraveno z [2]).	25
30.	Zobrazovací skript showall.m.	26
31.	Zobrazení pásem viditelnosti senzorů.	27
32.	Náhled měření při větší vzdálenosti.	29
33.	Výsledky měření na větší vzdálenost.	30
34.	Výsledky měření při teplotě 26 °C.	31
35.	Výsledky měření při teplotě 50 °C.	31
36.	Výsledky měření při teplotě 70 °C.	32
37.	Rozvržení okolí při měření.	32
38.	Výsledky měření na větší vzdálenost.	37

39.	Výsledky měření při teplotě 26 °C.	38
40.	Výsledky měření při teplotě 50 °C.	39
41.	Výsledky měření při teplotě 70 °C.	40

Zkratky

PIR	Pasivní infračervený detektor (passive infrared detector)
FIR	Digitální filtr s konečnou impulsní charakteristikou (Finite Impulse Response)
IIR	Digitální filtr s nekonečnou impulsní charakteristikou (Infinite Impulse Response)
IR	Infračervené záření

Úvod

Tato práce se zabývá návrhem algoritmu pro určení polohy pomocí 6ti PIR senzorů umístěných po obvodu inteligentního alarmu, jehož primárním úkolem je ochrana prostoru objektu.

V současnosti se prvky ochrany majetku dělím na dvě základní skupiny: prvky prostorové a plášťové ochrany [1].

Prvky plášťové ochrany slouží k detekci narušení pláště hlídaného objektu (např. destrukce oken, dveří, vrat). Tato práce je věnována prvku prostorové ochrany. Tyto prvky slouží k ochraně vnitřních prostor hlídaných objektů. Mezi hlavní body umístění patří centrální prostory budov, schodišťové přístupy, haly, vnitřní komunikační uzly apod.

První část je věnována chování a principu senzoru, výběru specifického senzoru a teoretickému úvodu k digitálním filtrům. Tyto filtry jsou zde popisovány kvůli využití při vyhodnocení. V druhé části je zobrazen výstup ze senzorů získaný pomocí výrobcem poskytnutého vývojového kitu. Následující kapitoly se zabývají implementací digitálního filtru, vyhodnocení signálu ze všech senzorů a určení přibližné polohy objektu pomocí několika senzorů sestavených do kruhu.

V závěru práce je popsána metodika testování a ukázka výsledků.

1. PIR senzor

1.1. Důvody výběru PIR senzoru

V zabezpečovací technice se pro detekci přítomnosti nejčastěji využívají PIR senzory. Tyto senzory reagují na pohyb těles s jinou teplotou, než je teplota v zorném poli.

Mezi podstatné vlastnosti patří [1]:

- snadná montáž,
- malá spotřeba elektrické energie,
- vysoká spolehlivost,
- odolnost vůči planým poplachům,
- nevyzařuje energii - čidlo je těžko detekovatelné z okolí,
- digitální/analogový výstup,
- nízká cena.

Hlavní nevýhody:

- možnost překonatelnosti,
Pokud se narušitel skryje za určitý typ zástěny (např. polystyren) a bude se pohybovat pomalu, nemusí senzor vůbec zareagovat.
- ovlivnění vnějšími faktory,
 - rušení zdrojem světla (např. slunce, světla automobilů),
 - rychlé změny teploty předmětů v detekční zóně (výstupy klimatizace, topení),
 - pohyb zvířat,
 - proudění vzduchu,
- limitovaná detekční charakteristika.

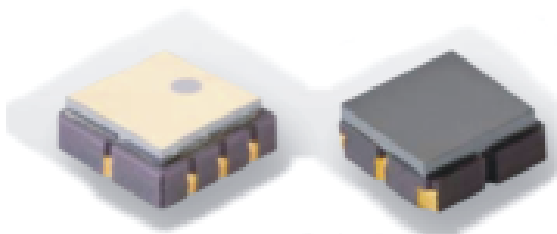
1.2. Popis PIR senzoru

PIR je zkratka pro pasivní infračervená čidla (passive infrared sensors). Jedná se o prvky prostorové ochrany, většinou tvoří doplnění k v současné době nejlepší formě střežení - plášťové ochraně. Pro svou schopnost detekovat pohyb jsou využívány v zabezpečovacích systémech, u automatických dveří nebo například u automatického ovládání světelných systémů.

Tyto senzory řadíme mezi pasivní čidla. Pasivní čidla registrují pouze fyzikální změny ve svém okolí. Oproti tomu aktivní čidla pro zjišťování vniknutí neočekávaného objektu do prostoru vytvářejí pracovní prostředí aktivním působením na své okolí a v tomto prostředí poté detekují změnu [1]. Protože pasivní senzory nepotřebují vyzařovat žádný signál, spotřebují pouze malé množství elektrické energie na svůj provoz.

Využívají skutečnosti, že každé těleso s teplotou vyšší než -273 °C a nižší než 560 °C , je zdrojem vyzařování vlnění v infrapásmu [1]. U těles s vyšší teplotou se spektrum posouvá směrem ke kratším vlnovým délkám, tedy k oblasti viditelného spektra.

1. PIR senzor



Obr. 1. Ukázka PIR senzoru typu SMD.



Obr. 2. Ukázka PIR senzoru.

V praxi se často můžeme setkat s pyrosenzory, které počítají impulsy nutné k vyhlášení poplachů nebo senzory v dvojitém až čtyřnásobném provedení, kde k vyhodnocení dochází paralelně.

Celý detektor využívá pyroelektrického jevu a skládá se z PIR elementu a přidané čočky. Element je polovodičová součástka ze sloučenin na bázi lithia a tantalu. Detektory jsou citlivé na ozáření infračerveným zářením, při kterém se u nich generuje elektrický povrchový náboj. Pokud se změní hodnota dopadajícího záření, změní se tím i hodnota povrchového náboje. Pyroelektrický snímač je citlivý ve velkém vlnovém rozsahu, a proto je předřazen filtr záření, který propouští pouze záření v rozsahu $8 \mu\text{m}$ až $14 \mu\text{m}$. Pro představu: oblečený člověk o přibližné teplotě cca 37°C emituje záření o vlnové délce $9,4 \mu\text{m}$ [1].

1.3. Pyroelektrický jev

Tento jev je založen na deformaci krystalické mřížky změnou teploty. V látkách s jednou polární osou symetrie lze změnou teploty vytvářet dipólový moment, jehož velikost je přímo úměrná změně teploty a má směr této polární osy symetrie.

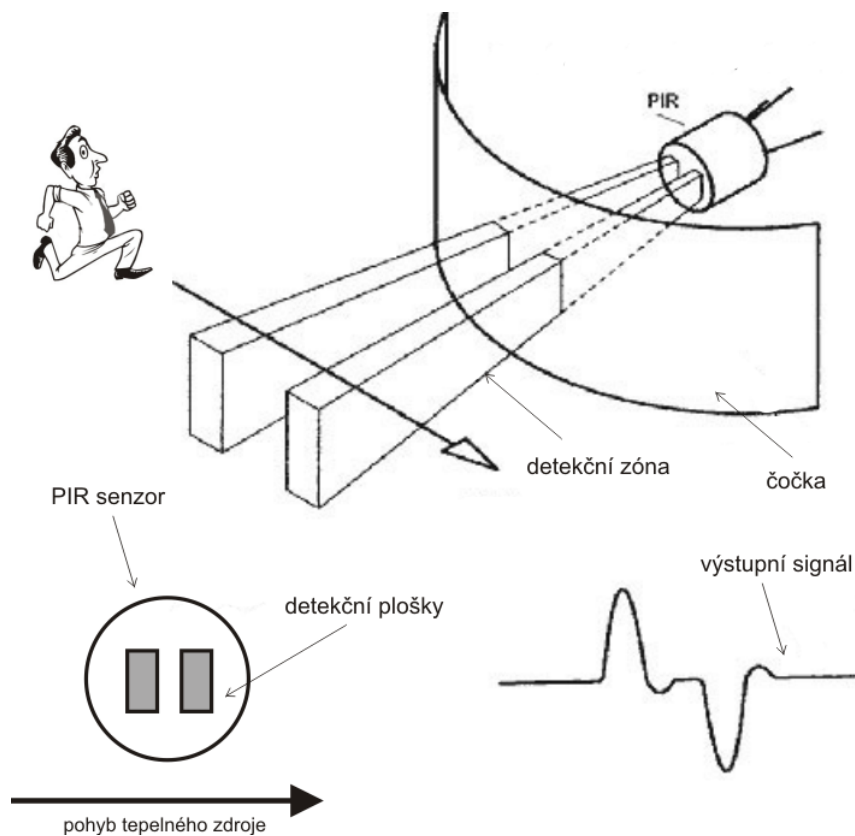
Obecně lze pyroelektrický jev definovat jako schopnost materiálu generovat dočasný elektrický potenciál při změně jeho teploty.

Tento jev je znám od 17. století z pozorování přitahování částic popela k jednomu konci chladnoucího krystalku turmalínu nalézaného v přírodě. Podle řeckého slova pyros = oheň byl jev nazván jevem pyroelektrickým. Pro zajímavost, jelikož pyroelektřina klade vyšší nároky na asymetrii krystalu, jsou všechny pyroelektrické látky současně také piezoelektrické, ale naopak to neplatí [1].

1.4. Princip PIR detektoru

Cílem senzoru je detekovat pohyb ve specifické oblasti. Jak je vidět na následujícím obrázku, tyto senzory obsahují dvě detekční plošky, které jsou citlivé na IR záření.

V případě, kdy obě detekční plošky zachytávají stejné množství IR záření, senzor nedetekuje nic. Pohyb rozpoznáme dle toho, že jsou hodnoty množství rozdílné.



Obr. 3. Ukázka principu detektoru (převzato z [2]).

Základní provedení, kdy senzor obsahuje dvě detekční plošky je pro praxi nedostatečné. Pro realizaci více detekčních zón se využívá rozdělení detektoru na více detekčních plošek, čehož můžeme docílit různými způsoby:

- zvyšováním počtu senzorů,
- využitím předřazených optik.

1.5. Optika

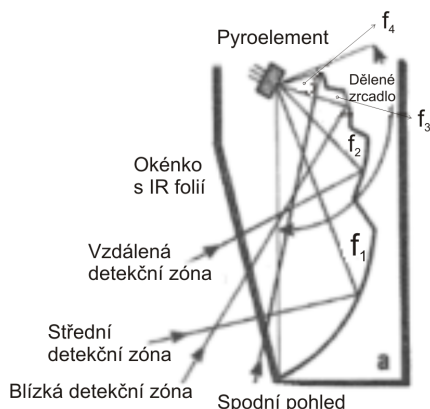
Úkolem optiky je rozdělit snímanou scénu na detekční zóny. Tvar zorného pole záleží na jejím provedení, dosah je závislý na její kvalitě, citlivosti použitého senzoru a způsobu vyhodnocení. Počet detekčních zón je dán počtem segmentů zrcadla nebo počtem čoček, podle druhu detektoru. Záření vyzařované objektem v detekčních zónách je poté směřováno optikou na element. Každý vstup či výstup do jedné z detekčních zón má za následek generování impulzu na výstupu senzoru.

V praxi se nejčastěji využívají dva druhy optik:

1.5.1. Zrcadlová optika

Tato technologie využívá segmentová zrcadla. Tvar detekční charakteristiky je dán geometrií jednotlivých segmentů zrcadla a tím, jak jsou umístěny v prostoru. Tyto segmenty mají různou ohniskovou vzdálenost, což zajišťuje zaostření jednotlivých detekčních zón na element.

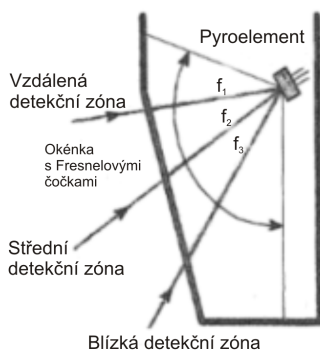
Mezi hlavní výhody zrcadlové optiky patří přesné zaostření detekčních zón a delší dosah. Naopak mezi nevýhody se řadí obtížnější výroba, tudíž vyšší cena, obtížná změna a malé množství typů detekčních charakteristik [1].



Obr. 4. Ukázka principu zrcadlové optiky [1].

1.5.2. Fresnelovy čočky

Tento druh optiky využívá efektu lomu paprsků záření. Fresnelova čočka má při podobných parametrech a stejném materiálu (sklo, plast) podstatně nižší hmotnost než běžná čočka. Navíc je čočka jednoduchá na výrobu. Jedná se o výlisek z plastické hmoty, který obsahuje soustavu čoček. To zajišťuje rozdělené snímané scény na detekční zóny [1].



Obr. 5. Ukázka principu Fresnelovy čočky [1].

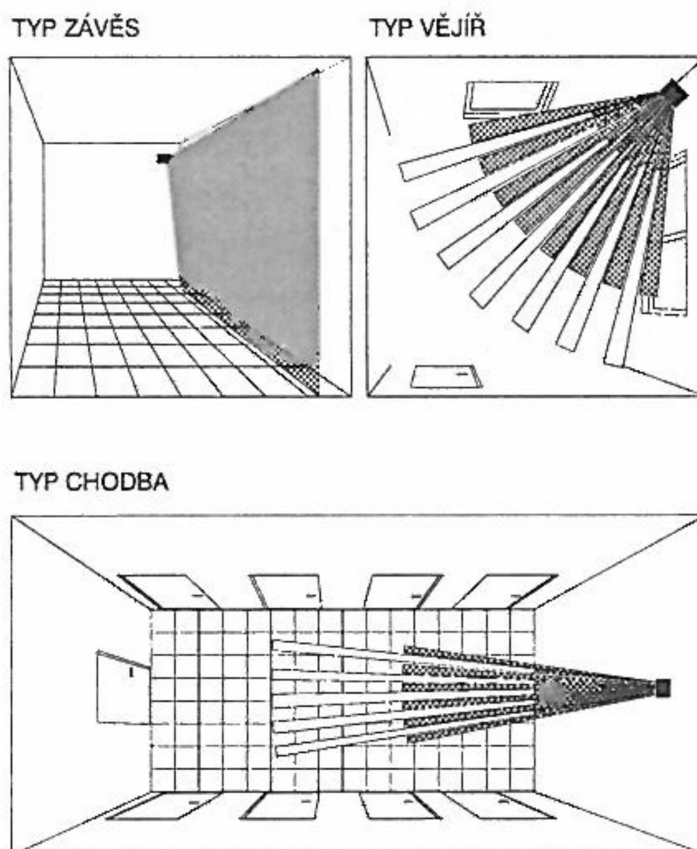
Někteří výrobci navíc nabízejí alternativu v podobě tzv. černých zrcadel. Zrcadla principiálně omezují odrazivost v oblastech mimo požadované infračervené spektrum.

Toto řešení podstatně snižuje náchylnost čidel k planým poplachům vyvolaným vlivem záření o vysoké energii ve viditelném spektru (odlesky slunce, reflektory automobilů apod.) [1]. V této práci jsou sensorům předzazeny fresnelovy čočky. Díky jejich nižším nákladům na výrobu, hmotnosti a parametrům dostaly přednost před použitím zrcadlové optiky.

1.6. Varianty detekčních charakteristik

V praxi se využívá několika základních druhů detekčních charakteristik, které jsou odvozeny od umístění a zorného pole senzoru (viz. 6):

- Typ závěs
Detekční charakteristika má podobu závěsu průchozí zónou,
- Typ vějíř
Senzor většinou umístěný v rohu místnosti v dostatečné výšce zabírá zbytek místnosti. Výška umístění senzoru zde může ovlivnit schopnost detekce senzoru přímo pod montážním místem,
- Typ chodba
Senzor umístěný v čele chodby tak, aby zabíral co nejvíce možných vstupů/výstupů z/do místnosti.



Obr. 6. Varianty detekčních charakteristik [1].

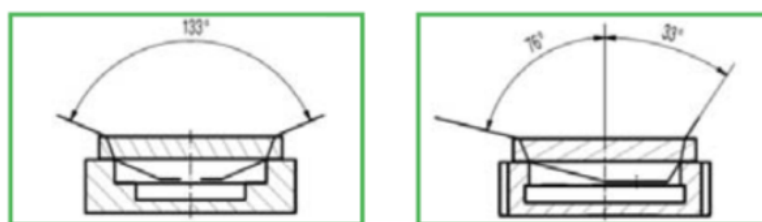
1.7. Výběr senzoru

Při vybírání PIR senzoru pro tento výrobek byly zohledněny další požadavky na senzory jako typ součástky, digitální výstup, ověřený dodavatel a nízká cena.

Po oslovení výrobců byly poskytnuty dva typy senzorů od firmy Excelitas Technologies, v tlt a smd verzi. Díky dostačující funkčnosti obou senzorů s předřazenou fresnelovou čočkou, splňujícím parametrům a přístupu dodavatele byl pro konečný výrobek vybrán smd senzor PYD 5790 od firmy Excelitas (viz. 1).

Tento detektor má dva detekční elementy na bázi lithia - tantalu. Velkou předností senzoru jsou jeho rozměry. Jedná se o SMD senzor s celkovou náročností na prostor $5 \times 5 \text{ mm}^2$ s výškou pouze $1,8 \text{ mm}$ [3].

Zorné úhly jsou znázorněny na obrázcích:



Obr. 7. Zorné úhly SMD senzoru Excelitas PYD 5790 [3].

1.8. Teorie digitálních filtrů

Signál vycházející ze senzorů je ovlivnitelný okolím, např. teplotou. Při vyhodnocení je potřeba určit střední hodnotu signálu. Tato hodnota se musí umět přizpůsobit postupným změnám v okolí. Navíc výstupní signál ze senzorů obsahuje zátky, které by mohly způsobovat při vyhodnocení problémy. V následující části jsou popsány základní vlastnosti digitálních filtrů a vybrán typ pro tuto aplikaci.

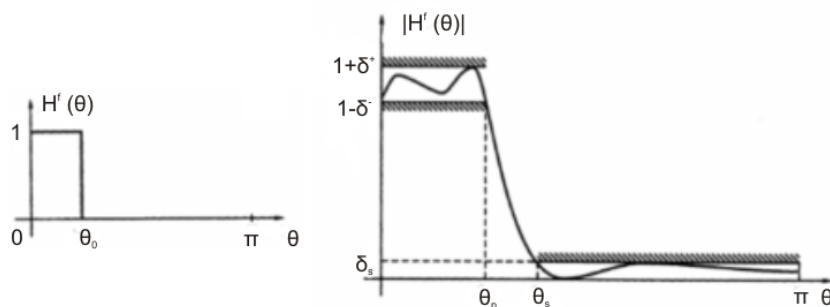
Úkolem digitálních (číslíkových) filtrů je požadovaným způsobem ovlivnit kmitočtové spektrum vstupního signálu. To znamená buď vybrat část kmitočtového spektra, které bude nezměněno a ostatní složky potlačit, anebo tvarovat kmitočtovou charakteristiku (např. napodobit kmitočtové vlastnosti lidského ucha). V časové oblasti můžeme filtr popsat pomocí impulzní odezvy (odezva na jednotkový puls), diferenční rovnice či blokového schéma [4].

Pro vybrání či potlačení spektra existují kmitočtové filtry typu:

- dolní propust - DP,
- horní propust - HP,
- pásmová propust - PP,
- pásmová zádrž - PZ.

1.8.1. Dolní propust

Tento typ bude využíván dále v práci. Jak jeho jméno napovídá, jeho smysl spočívá v propuštění pouze spodních frekvencí signálu. Mezní frekvence určuje hranici, přes kterou již daný filtr signál nepropustí.



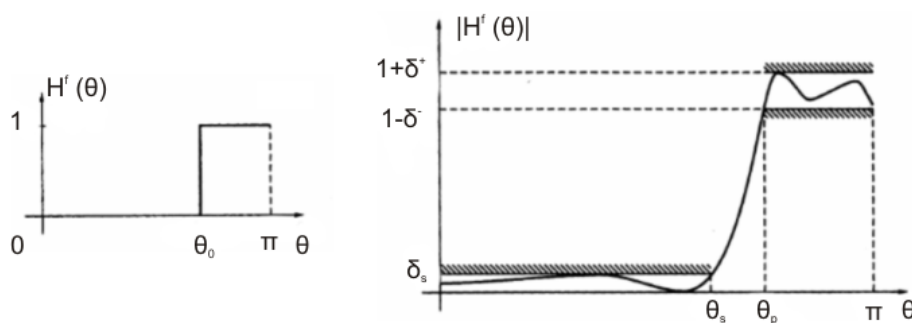
Obr. 8. Toleranční schéma filtru typu dolní propust [5].

Vlevo na obrázku je znázorněno ideální schéma filtru typu dolní propust, kdy filtr propouští pouze od 0 do zlomové frekvence (cut-off) θ_0 , ostatní blokuje. Reálné schéma filtru (znázorněno vpravo) se dělí na několik částí [5]:

- propustné pásmo (pass-band),
pro frekvenční rozsah $0 \leq \theta \leq \theta_p$.
- nepropustné pásmo (stop-band),
pro frekvenční rozsah $\theta_s \leq \theta \leq \pi$.
- přechodové pásmo (transition-band),
pro frekvenční rozsah $\theta_p \leq \theta \leq \theta_s$.
- zvlnění v propustném pásmu (pass-band ripple),
je velikost $\delta_p = \max\{\delta^+; \delta^-\}$, v dB.
- útlum v nepropustném pásmu (stop-band attenuation),
 δ_s v dB.

1.8.2. Horní propust

Tento filtr má své propustné pásmo v horní části frekvenčního spektra. Frekvence, od které propouští signál, je vyjádřena opět mezní frekvencí. Popisky grafů zůstávají stejné jako v předchozím případě.

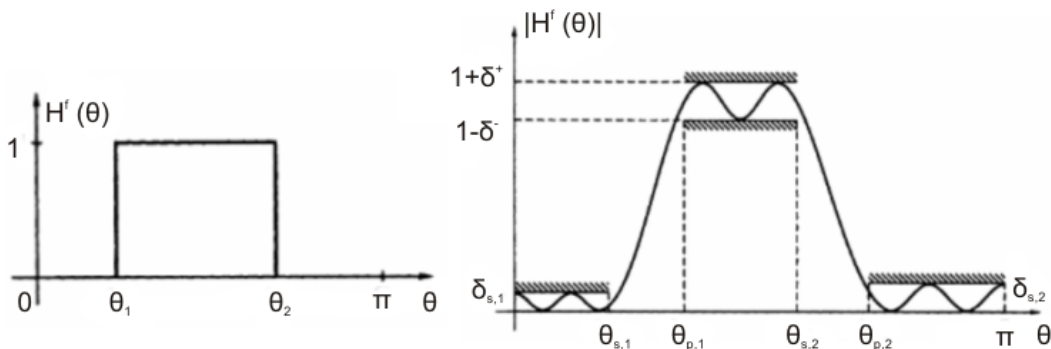


Obr. 9. Toleranční schéma filtru typu horní propust [5].

Vlevo je uvedeno ideální schéma filtru se znázorněnou mezní frekvencí. Vpravo poté reálné schéma.

1.8.3. Pásmová propust

Tento filtr se vyznačuje tím, že propouští pouze určité pásmo frekvencí, které je definováno dvěma mezními frekvencemi.

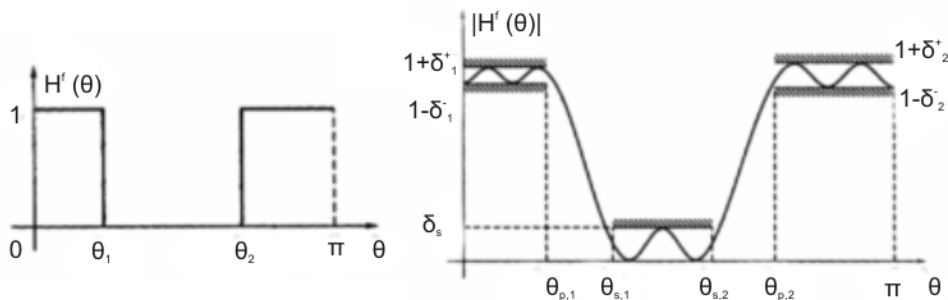


Obr. 10. Toleranční schéma filtru typu pásmová propust [5].

Vlevo je uvedeno ideální schéma filtru se znázorněnými mezními frekvencemi. Vpravo poté reálné schéma.

1.8.4. Pásmová zadrž

Tento druh filtru je opakem k pásmové propusti. Tentokrát je mezními frekvencemi definováno nepropustné pásmo filtru.



Obr. 11. Toleranční schéma filtru typu pásmová zadrž [5].

Vlevo je uvedeno ideální schéma filtru se znázorněnými mezními frekvencemi. Vpravo poté reálné schéma.

1.8.5. Dělení číslicových filtrů

Mimo dalších kritéria můžeme číslicové filtry dělit na dva základní druhy [4]:

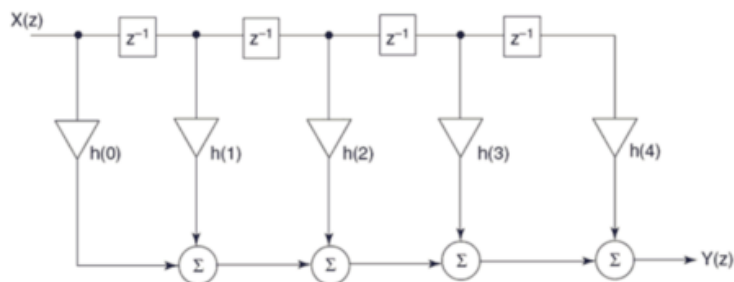
- FIR - finite impulse response s konečnou impulzní odezvou,
- IIR - infinite impulse response s nekonečnou impulzní odezvou.

1.8.6. FIR filtry

FIR filtry jsou jednoduše matematicky popsatelné filtry. Na rozdíl od IIR filtrů nemají v analogové oblasti ekvivalent. Tyto filtry jsou tvořeny zpožďovacími linkami, kterých je vždy o jednu méně než řád filtru. Dále, jak je vidět na obrázku, následuje za každou linkou násobička s příslušným koeficientem filtru a nakonec sčítačka [4].

$$y[n] = b_0x[n] + b_1x[n-1] + \dots + b_Nx[n-N]$$

Obr. 12. Výpočet výstupních dat



Obr. 13. Schéma výpočtu číslicového filtru typu FIR [6].

Výhody FIR filtrů [4]:

- jsou vždy stabilní,
- nemění fázi s ohledem na frekvenci přenášených signálů,
- jednodušší na implementaci vůči IIR filtrům,
- existuje menší riziko saturace aritmetiky procesoru.

Nevýhody FIR filtrů:

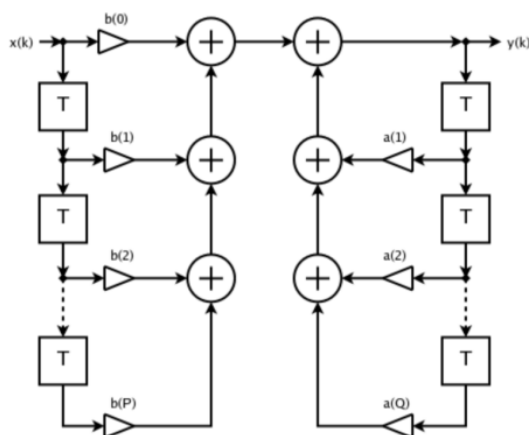
- velký řád filtru - velký počet zpožďovacích linek a násobiček,
- delší doba inicializace filtru - zahození několika prvních vzorků,
- velké nároky na paměť při výpočtu koeficientů a stavových proměnných,
- neexistuje plnohodnotný analogový ekvivalent.

1.8.7. IIR filtry

IIR filtr se od FIR liší v použití zpětné vazby v postupu výpočtu. Ta dovoluje snížit počet zpožďovacích linek, tudíž není potřeba dlouhá inicializace.

$$y[n] = \frac{1}{a_0}(b_0x[n] + b_1x[n-1] + \dots + b_Px[n-P] - a_1y[n-1] - a_2y[n-2] - \dots - a_Qy[n-Q])$$

Obr. 14. Výpočet výstupních dat



Obr. 15. Schéma výpočtu číslicového filtru typu IIR [6].

Výhody IIR filtrů [4]:

- malý řád filtru -> obsahuje zpětnou vazbu -> menší počet zpožďovacích linek vůči FIR,
- kratší doba inicializace,
- malé nároky na paměť při výpočtu koeficientů a stavových proměnných,
- jednoduché metody návrhu využívající vlastností analogových filtrů,
- lze najít analogový ekvivalent.

Nevýhody IIR filtrů:

- nastávají problémy se stabilitou filtru,
- závislost fáze výstupního signálu na frekvenci,
- složitější implementace,
- vlivem zpětných vazeb větší náchylnost k saturaci aritmetiky procesoru.

V obou případech filtrů se při výpočtu využívá koeficientů, které se získávají určitými návrhovými metodami. Tyto metody jsou pro FIR a IIR rozdílné a různě složité.

Jelikož pro návrh těchto koeficientů byla využita Matlab funkce a postup není přímo použit v práci, je dále pouze ukázáno nastavení funkce.

Ve výrobku jsou nakonec používány FIR filtry typu dolní propust. Typ dolní propusti byl zvolen z požadavku vyhlazení signálu u prvního z filtrů. Druhý z filtrů je stejného typu proto, že slouží k nastavení střední hodnoty. Filtry typu FIR byly vybrány pro své vlastnosti - pro svoji stabilitu, jednodušší implementaci - a hlavně u nich existuje menší riziko saturace aritmetiky procesoru. Jelikož výrobek bude běhat funkční dlouhodobě nevádí pomalejší náběh filtrů oproti IIR.

2. Testování chování digitálního PIR senzoru ve vývojovém kitu DigiPyro

Při výběru senzorů byl navíc výrobcem poskytnut vývojový kit DigiPyro pro zobrazení výstupu ze senzoru. Tento kit je zde využíván pro ověření funkčnosti senzorů, seznámení s průběhem výstupu a k navržení jednoduchého vyhodnocovacího algoritmu.

2.1. Popis vývojového kitu

2.1.1. Hardware

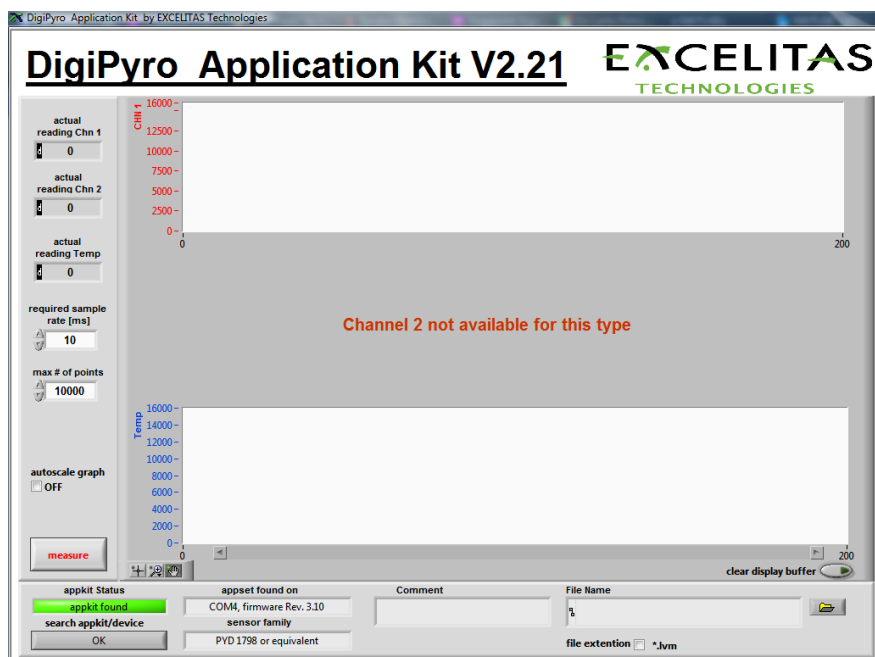


Obr. 16. Vzhled vývojového kitu.

Tento aplikační kit umožňuje uživateli rychle měřit a vyhodnocovat funkce digitálních senzorů pomocí grafického počítačového rozhraní. Senzory je možno připojit buď přímo do konektoru nebo využitím dodávaného kabelu s odpovídající konektorem. Pro komunikaci s počítačem využívá kit USB rozhraní. Celou komunikaci obsluhuje výrobcem instalovaný mikrokontroler umístěný v krabici.

2.1.2. Popis výrobcem dodané aplikace

Vzhled aplikace je velmi jednoduchý. Nachází se zde vše co uživatel potřebuje od základních nastavení až po zobrazení výstupu.



Obr. 17. Vzhled aplikace.

Dodaná aplikace umožňuje několik základních nastavení:

- požadovaný vzorkovací čas,
- maximum naměřených dat,
- ukládání souboru.

Počet zobrazených grafů se odvíjí od typu použitého senzoru. V tomto případě se zobrazuje pouze výstup pro kanál 1 a teplotní výstup senzoru.

2.2. Testování

Cílem testování je ověření správné funkce detektoru.

Jako detektor je zde použit již zmíněný PYD 5790 od firmy Excelitas. Senzor je umístěn v krytu s fresnelovou čočkou. Tento kryt se využívá v praxi pro bezdrátový PIR detektor JA-160PC od zadávající firmy Jablotron.



Obr. 18. Použitý kryt s fresnelovou čočkou.

2.2.1. Podmínky testování

Pro všechny testy se budeme snažit o dodržení následujících atmosférických podmínek:

- Teplota: 15 °C – 30 °C
- Relativní vlhkost: 25 % - 75 %
- Tlak vzduchu: 86 kPa – 106 kPa

Jedná se o zkoušku, která ověřuje pouze kvalitativní provedení detektoru. Smysl této zkoušky je v pohybování tepelného zdroje před zorným polem detektoru.

2.2.2. Postup zpracování testování

K načtení dat je využito aplikace od výrobce DigiPyro Application Kit V2.21. Tato aplikace je navržena v softwaru LabView a podporuje ukládání dat pouze ve formátu lvm. Pro zobrazení a zpracování dat je použit Matlab.

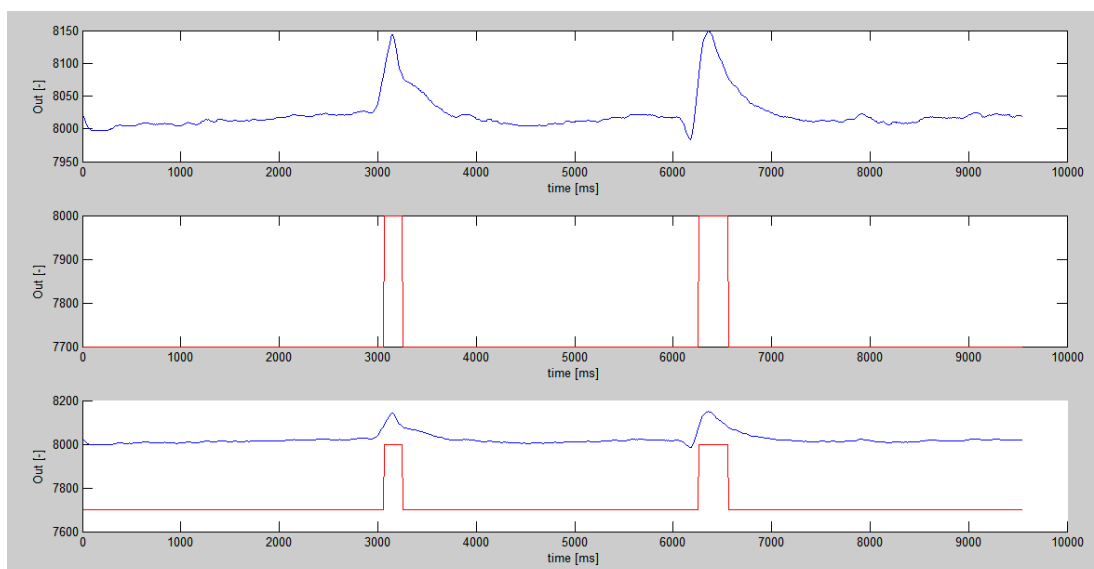
Z důvodu přenosu dat do jiného programu neprobíhá v této části práce vyhodnocení v reálném čase.

2.2.3. Ověření detekce pohybu

V prvním z následujícím grafů (obr. 19) je zobrazen výstup senzoru při pohybu tepelného zdroje. Na modré křivce kolem 4000 ms a 8000 ms je vidět generování očekávaných hodnot při pohybu tepelného zdroje. Druhý z grafů zobrazuje postup reakci jednoduchého algoritmu na pohyb. Tento algoritmus je navržen na principu hranic. Pokud je signál dostatečně vyšší či nižší než průměrná hodnota výstupu senzorů hlásí poplach.

V posledním grafu jsou pouze obě křivky znázorněny dohromady.

2. Testování chování digitálního PIR senzoru ve vývojovém kitu DigiPyro



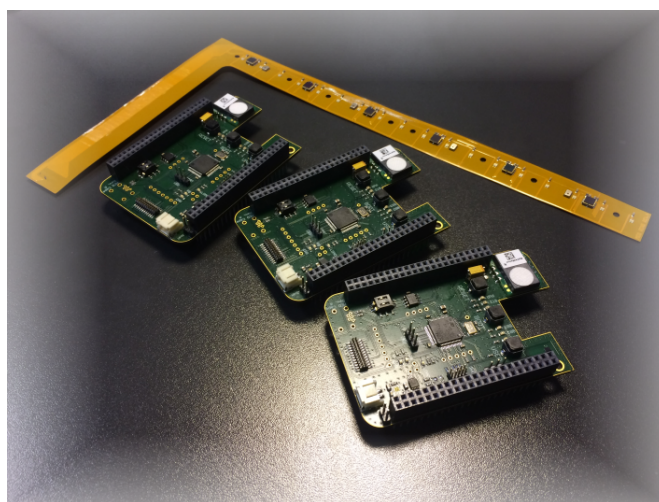
Obr. 19. Výstupní signál + vyhodnocení.

Toto vyhodnocení není příliš vhodné pro použití v normálním provozu. Střední hodnota signálu není stabilní po celou dobu detekce a navíc senzory generují na svých výstupech občas zákmity, které bez řádné filtrace a přizpůsobení algoritmu způsobují poplach. Kvalitnější metoda vyhodnocení je popsána a otestována v následujících kapitolách.

3. Návrh a implementace digitálního filtru pro vyhodnocení poplachu

V předešlé kapitole bylo uvedeno chování PIR senzoru na jednoduchém testování pomocí vývojového kitu. Použitý způsob vyhodnocení není příliš použitelný v praxi díky svému nulovému přizpůsobení ke změnám v okolí senzorů.

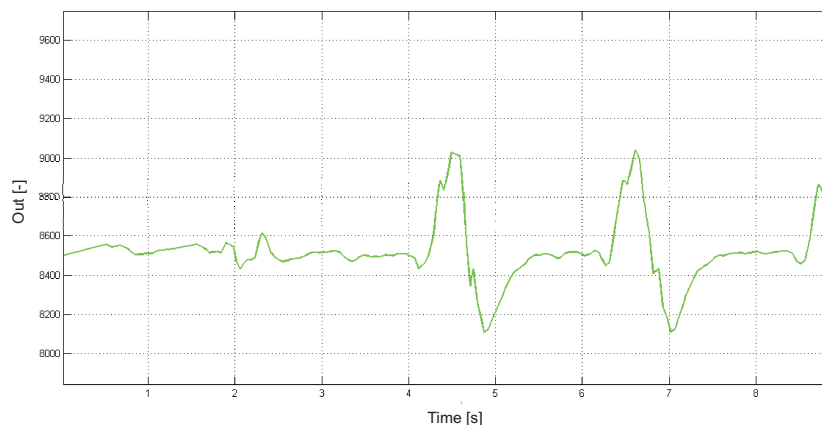
V této a následujících kapitolách je veškeré měření prováděno na pásku osazeném senzory, který bude vložen i do konečného výrobku. Čtení ze senzorů a komunikaci s algoritmu v Matlabu zajišťuje BeagleBone black + Cape (obr. 20). Komunikace není předmětem této práce, proto zde popsána není.



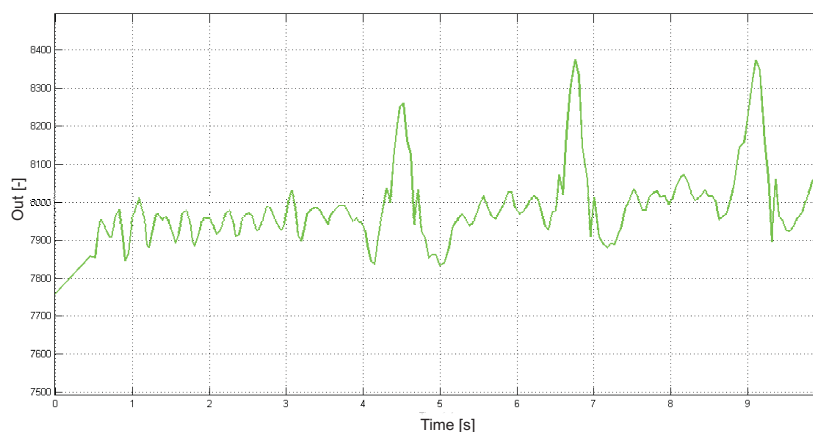
Obr. 20. Používaný hardware

Jedním z problémů při navrhování algoritmu pro detekci pohybu je určení střední hodnoty signálu. Tato hodnota není stabilní a je ovlivnitelná okolím senzorů. Rozdíl je zobrazen na následujících obrázcích, kdy jedno měření bylo provedeno při 26 °C a druhé při 70 °C (měřeno v zařízení před senzory).

3. Návrh a implementace digitálního filtru pro vyhodnocení poplachů



Obr. 21. Náhled výstupu při teplotě okolí 26 °C.



Obr. 22. Náhled výstupu při teplotě okolí 70 °C.

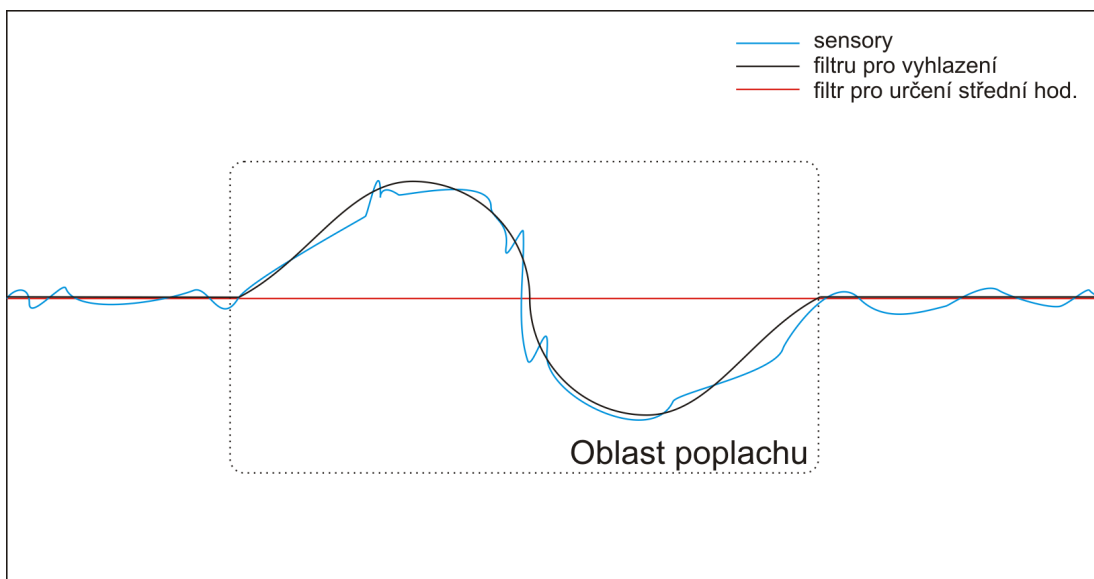
Z grafů je zřejmé, že hodnota výstupu je mimo jiné ovlivňována teplotou. Dále je vidět, že data jsou velmi nestálá, jelikož okolí nebude nikdy zcela beze změn v generování infračerveného záření. Zde vzniká požadavek upravovat výstupní data pro další zpracování filtrací.

Způsob vyhodnocení je založen na použití dvou digitálních filtrů pracujících současně na stejném vstupním signálu. Oba filtry jsou typu FIR dolní propust a liší se v mezní frekvenci a řádu.

První z filtrů slouží k určení přibližné střední hodnoty signálu. Tento filtr nepotřebuje rychlou reakci, tudíž je nastaven vysoký řád filtru. Aby byl filtr minimálně ovlivňován rychlými změnami, např. při pohybu před senzory, je nastavena výrazně nižší mezní frekvence než v případě druhého filtru.

Druhý z filtrů slouží pouze k vyhlazení vstupního signálu. Pro tento požadavek není zapotřebí příliš vysoký řád filtru a mezní frekvence může být vyšší než v prvním případě.

Ideální vzhled filtrů při použití je znázorněno na následujícím obrázku č. 23.



Obr. 23. Ukázka principu filtrů.

3.1. Implementace digitálního filtru

Jak bylo uvedeno výše, pro návrh koeficientů je využita již implementovaná funkce v Matlabu `fir1`. Tyto koeficienty budou uloženy ve výsledném výrobku napevno, tudíž není nutné se příliš zabývat návrhovou metodou.

3.1.1. Popis návrhové funkce

Výstupem návrhové funkce `fir1` jsou koeficienty pro potřebné dva filtry. Pro lepší následnou orientaci nazveme jeden z filtrů `ffast` a druhý `fslow`. První ze zmíněných slouží k vyhlazení výstupních dat přímo ze senzorů a `fslow` se stará o určení střední hodnoty signálu. Pro výpočet koeficientů je nutné uvést vzorkovací periodu, se kterou bude systém pracovat. Ta se následně přepočte na frekvenci a pomocí Shannonova teorému určí maximální kmitočet signálu. Dále je nutné uvést mezní frekvence filtrů.

Funkce `fir1` očekává minimálně dva parametry. Prvním je řád filtru, druhý je tzv. normovaný kmitočet. Jedná se o číslo $\langle 0; 1 \rangle$, kde 1 odpovídá polovině vzorkovací frekvence, tedy horní hranici přenášeného pásma.

3. Návrh a implementace digitálního filtru pro vyhodnocení poplachu

Jednotlivé parametry v ukázce byly určeny pomocí testování.

```
%navrh filtru
T=0.015; %vzorkovaci frekvence

%vzorkovaci kmitocet
fs = 1/T;
%mezni kmitocet dolni propusti
fds = 4;
fdf = 60;
%max kmit. (shannon)
fm = fs/2;
%normovany kmitocet
Wns = fds / fm;
Wnf = fdf / fm;
%rad filtru
Ns = 40;
Nf = 2;
%navrh low pass pomoci fir1
fslow = fir1(Ns, Wns);
ffast = fir1(Nf, Wnf);
```

Obr. 24. Ukázka návrhu koeficientů filtrů.

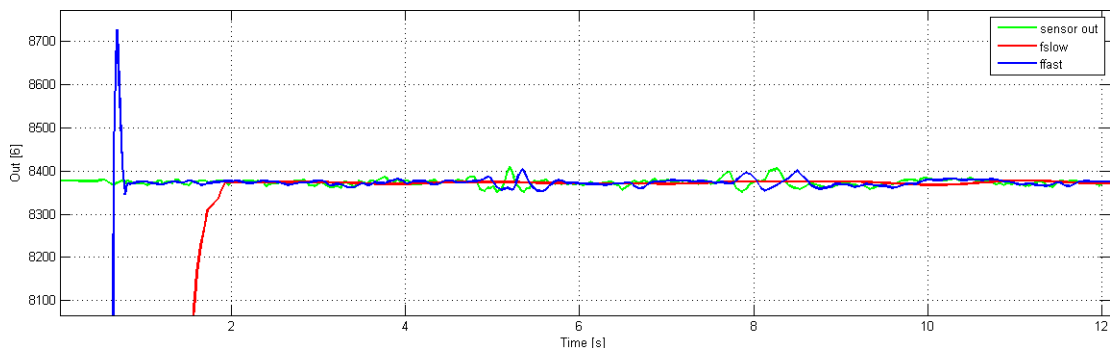
Matlab umožňuje zajistit i filtrování dat pomocí již implementované funkce. Tuto skutečnost ale nebylo možno využít, neboť ve výrobku bude filtrování implementováno pomocí funkce psané v jazyce C. Skript zajišťující filtraci dat je uložen na příloženém CD (low_pass.m).

3.1.2. Popis filtrační funkce

Uvedená funkce přijímá dvě pole hodnot - výstupní data ze senzorů v poli a koeficienty filtru, který je použit pro filtrování dat. Uvnitř funkce je ve smyčce realizován výpočet hodnot dle výrazu, který je uveden v teorii u filtru typu FIR. Výstupem je pole vyfiltrovaných dat.

Funkce je využívána ve dvou skriptech. První ze skriptů slouží ke zobrazení dat, druhý k výpisu informace o aktuální poloze. Každý ze skriptů očekává jiný rozsah hodnot, tudíž je nutné vybírat správnou návratovou hodnotu, která se ukládá do návratové proměnné.

3.2. Ukázka funkčnosti dvou filtrů na výstupních datech senzorů



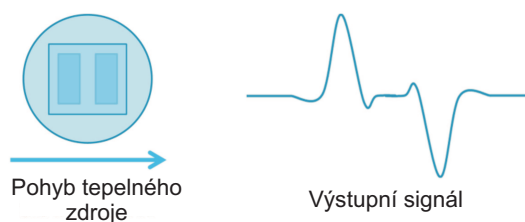
Obr. 25. Ukázka výstupu filtrů.

Na obrázku č. 25 výše je zobrazen zeleně výstupní signál ze senzoru, modře data po filtraci pomocí filtru kopírujícího vstupní signál a červeně data po filtraci pomocí filtru sloužícího k nastavení střední hodnoty.

V první části grafu jsou dobře vidět obě náběhové křivky jednotlivých filtrů. Po uplynutí doby náběhu (u obou filtrů přibližně 2 s) plní oba filtry svoji určenou činnost. Zvlnění křivek mezi 4 - 6 sekundou a kolem osmé může značit pohyb. Jeho správnou detekcí a vyhodnocením se zabývá následující kapitola.

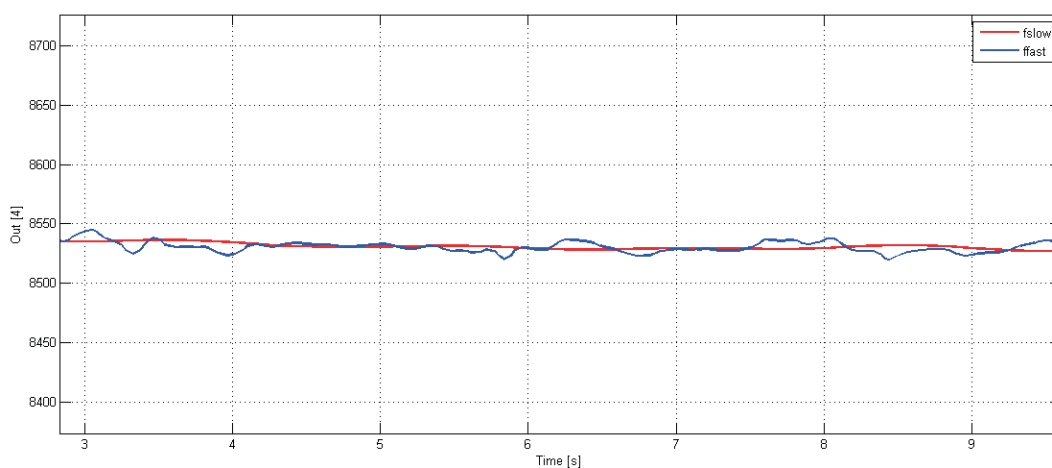
4. Návrh a implementace vyhodnocovacího algoritmu

Pro vyhodnocení signálu už není dále využíváno přímo výstupních dat ze senzorů, ale výstupních dat z navržených filtrů. Jestliže tedy v následujícím textu není jinak upřesněno, vždy jsou výstupem senzorů myšlena již filtrovaná data. Obdobně střední hodnotou signálu jsou myšlena výstupní data z filtru, který je k tomu určen. Jak je uvedeno v kapitole o teorii PIR senzorů, výstup přímo ze senzorů generovaný při pohybu by měl vypadat přibližně následovně:



Obr. 26. Ideální výstup senzorů (upraveno z [2]).

Reálný signál po přefiltrování a s přidáním střední hodnoty signálu vypadá přibližně takto:



Obr. 27. Reálný výstup senzorů.

Tento graf byl pořízen při měření, kdy senzory nebyly ovlivňovány žádným pohybujícím se objektem. Signál, který reprezentuje výstupní signál senzorů (znázorněn modře),

je velmi nestálý. S touto skutečností je nutno při vyhodnocení pohybu počítat a algoritmus tomu musí být přizpůsoben.

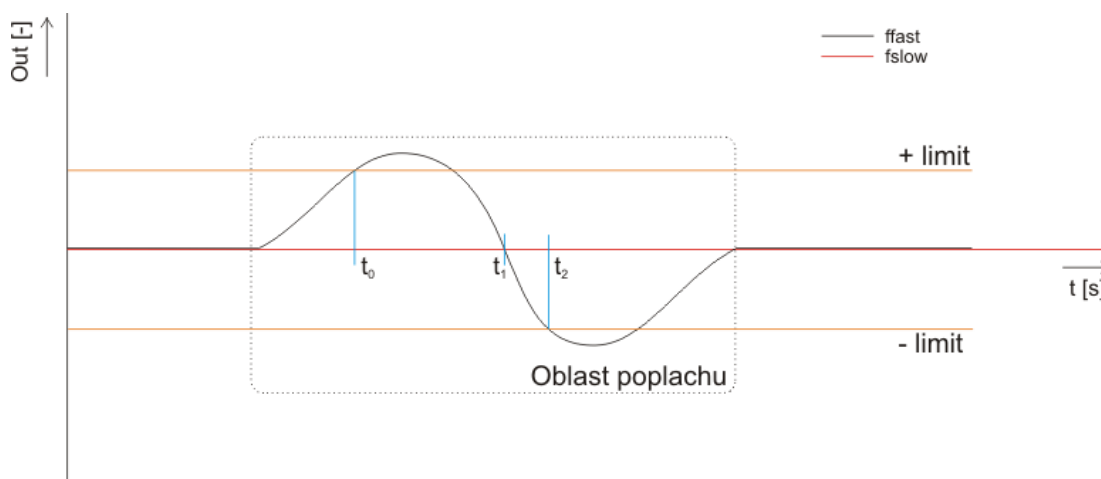
4.1. Popis algoritmu pro vyhodnocení pohybu

Ve výstupních signálech můžeme pozorovat několik příznaků, pomocí kterých můžeme vyhodnocovat poplach.

Například:

- dostatečně velká změna výstupního signálu vůči jeho střední hodnotě,
- počet dostatečně významných změn výstupního signálu oproti jeho střední hodnotě,
- rychlost změny výstupního signálu.

Následující popisovaný algoritmus je složený z několika takovýchto faktorů. Vycházíme z předpokladu, že signály z obou filtrů se chovají a vypadají ideálně, tudíž můžeme vyhodnocení popsat pomocí následujícího obrázku (28).



Obr. 28. Zobrazení důležitých bodů pro vyhodnocení.

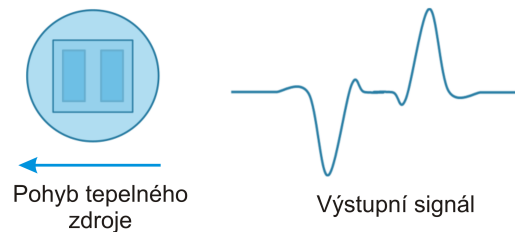
Za předpokladu, že nám střední hodnota výstupního signálu pŕlí oblast poplachu, budeme nazývat horní polovinu kladné oddálení a spodní záporné oddálení. Každá z jednotlivých podmínek je reprezentována příznakem, který říká, jestli je splněna či ne. První podmínkou, kterou musí signál na tomto obrázku splnit, je dostatečné oddálení do kladné poloviny. Čas, při kterém dojde k této události, je zaznamenán a v grafu vyznačen jako čas t_0 .

Druhou mezní podmínkou je bod protnutí výstupního signálu a signálu střední hodnoty. Tento čas je vyznačen jako čas t_1 . Bod t_1 musí být signálem dosažen v určitém čase od bodu t_0 . Jestliže signál nesplní tuto podmínku, vymaže se příznak splnění první z podmínek.

Třetí a poslední podmínkou je dosažení záporného limitu. Čas dosažení, t_2 , je opět zaznamenán a porovnán s časem druhé podmínky t_1 . Jestliže dosáhne tohoto bodu a všechny předchozí podmínky jsou aktivní, vyhlásí se pohyb. Naopak jestliže je rozdíl časů přes určenou mez, nulují se příznaky všech předchozích podmínek.

Dané podmínky musejí za sebou následovat v pořadí, v jakém jsou zde vypsány. Nelze aktivovat příznak určité podmínky, jestliže všechny předchozí nejsou splněny.

Takto fungující postup vyhodnocení by byl funkční pouze na jeden směr průchodu. Při opačném směru je výstupní signál zrcadlový vůči dříve uvedenému - viz. následující obrázek (29).



Obr. 29. Ideální výstup senzorů při průchodu objektu opačným směrem (upraveno z [2]).

Pro tento případ je samozřejmě algoritmus oboustranný. Kód je tomu přizpůsoben a dostatečné oddálení kontroluje na základě absolutních hodnot. Pro určení kladného či záporného oddálení slouží v kódu příznak.

Navržení jednotlivých konstant je, stejně jako u navrhování filtrů, záležitost spíše praktická. Vše bylo navrhováno a laděno na skutečném výrobku. Jejich množství dává možnost široké škály nastavení citlivosti snímání tak, že ať už programátor či koncový uživatel může mít možnost zvolení mezi více úrovněmi citlivosti vyhodnocení.

4.2. Implementované algoritmy

Na přiloženém CD jsou mimo jiné obsaženy dva skripty pro vyhodnocení pohybu. První (showall.m) slouží k zobrazení průběhů všech signálů v grafu a druhý (report.m) slouží pouze k zobrazení informace o poplachu.

Začátek obou skriptů je shodný:

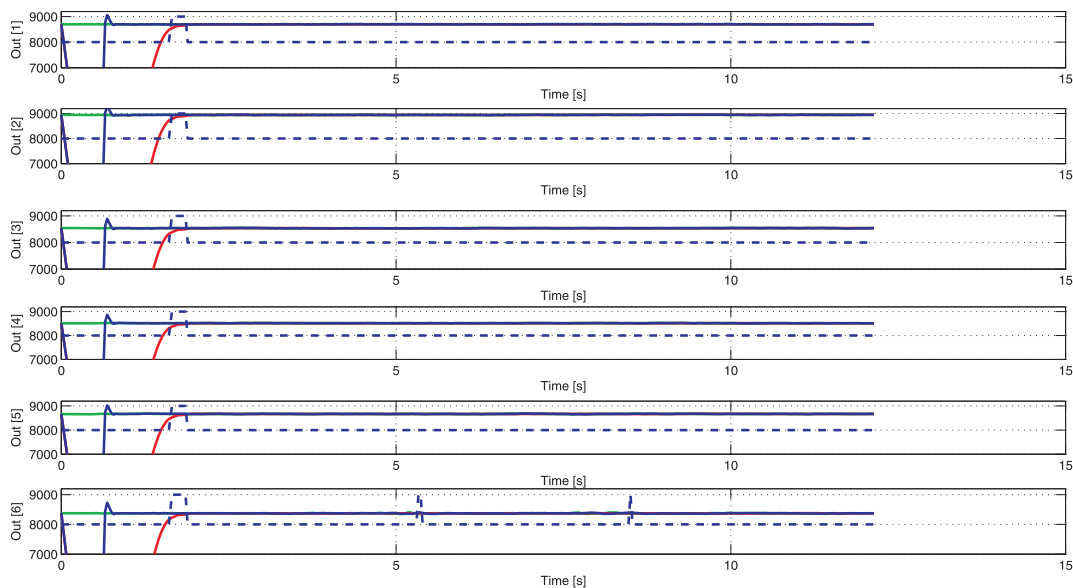
- nastavení jména souboru - všechny měření se automaticky ukládají do souboru pro pozdější vyhodnocení,
- inicializace proměnných,
- generování koeficientů filtrů pomocí fir1.

Další postup se už odvíjí dle konkrétního skriptu.

4.3. Zobrazení výstupu všech senzorů

Jelikož nastavování jednotlivých konstant probíhalo při testování, je dobré vidět, jak probíhající signály vypadají a jak se chovají. K této potřebě slouží první zmiňovaný skript.

4. Návrh a implementace vyhodnocovacího algoritmu



Obr. 30. Zobrazovací skript showall.m.

Na obrázku 30 jsou seřazeny všechny výstupy pod sebou, každý z grafů obsahuje jak výstup přímo ze sensorů (zeleně), výstup z obou filtrů (modrá - ffast, červená - fslow), tak výstup z vyhodnocovacího algoritmu (modrá přerušovaná). Na tomto obrázku je viditelná pomalejší inicializace filtru fslow. U výrobku se předpokládá, že budou senzory spuštěny dlouhodobě, tudíž to nemá velký vliv na funkčnost. Kratší doba inicializace může být zajištěna volbou filtru typu IIR nebo zmenšením řádu filtru. Veškeré grafy je díky ukládání možno v budoucnu otevřít a zkoumat chování jednotlivých sensorů.

4.3.1. Popis skriptu

Skript nejdříve provede inicializaci dat. Následuje nekonečná smyčka, ve které probíhá vlastní funkce.

```
inicializace;  
while 1 do  
    čtení dat ze sensorů;  
    if první průchod then  
        nastavení vlastností grafů;  
    else  
        filtrování dat;  
        if data jsou validní then  
            vyhodnocení alarmu;  
        end  
        zobrazení dat;  
        aktualizace časové osy;  
        uložení dat do souboru;  
    end  
end
```

Algoritmus 1: Algoritmus showall.m

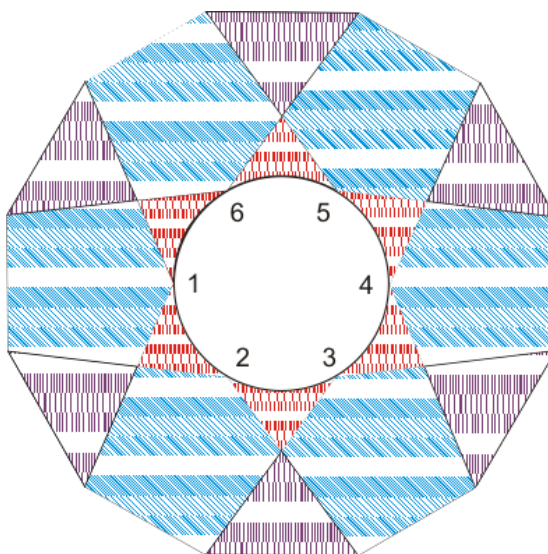
Tento skript umožňuje zobrazovat průběh signálů v reálném čase a tím usnadnit jeho ladění. Jeho velkou nevýhodou je ale jeho pomalá vzorkovací frekvence, která se pohybuje přibližně kolem 80 ms což je přibližně dvojnásobek vůči následujícímu skriptu. Tato skutečnost je způsobena náročnými operacemi jakými je vykreslení hodnot do grafů.

4.4. Zobrazení dialogu s polohou objektu

Druhý ze způsobů je bližší ke konečné implementaci do výrobku. Není zatížen vykreslováním signálů do grafu, čímž se sníží časová náročnost na jednotlivý průběh funkce, a jelikož čtení jednotlivých dat ze senzorů probíhá při každém průběhu na začátku tohoto skriptu, má i vyšší frekvenci vzorkování.

Výstupem skriptu je dialog obsahující polohu objektu. Tato informace je vyjádřena pomocí čísla senzoru.

V dialogu se můžou objevit i dvě čísla sousedních senzorů. Generování dialogu s více senzory znamená, že objekt zachytily ve velmi krátkém časovém rozdílu dva vedle sebe instalované senzory. Tato skutečnost je možná, pohybuje-li se zdroj tepla ve společném poli viditelnosti dvou senzorů (na obrázku značeno fialově) či s dostatečně rychlým přechodem mezi zornými poli jednotlivých senzorů (značeny světle modře). Na obrázku jsou dále zobrazena necitlivá pásma (červeně). Reálná velikost těchto pásem je minimální (viz. obr. 31).



Obr. 31. Zobrazení pásem viditelnosti senzorů.

4.4.1. Popis skriptu

Uvedený skript má přibližně stejný průběh jako předchozí:

- načtení dat z jednotlivých senzorů,
- splnění podmínky náběhu obou filtrů,
- vyhodnocení poplachu,
- určení polohy objektu.

4.4.2. Určení polohy pohybujícího se objektu

Komunikace mezi částí kódu, která se stará o zjištění pohybu, a určení polohy objektu, probíhá pomocí dvourozměrné matice o šesti sloupcích a dvou řádcích. Jednotlivé sloupce matice vyjadřují příslušný senzor. Všechny řádky jsou nastaveny v algoritmu pro zjištění poplachu. Každý z nich slouží při určení polohy k jiné činnosti.

První z řádků určuje, zda vznikl poplach a který senzor ho vyvolal. Při vstupu do algoritmu se hledá, zda je nějaký sloupec v této části matice aktivní, pokud ano, je splněna podmínka poplachu a příznak v prvním řádku se maže.

Druhý řádek v matici představuje paměť pro uchování příznaku poplachu. Po splnění podmínky v prvním řádku je zohledněn druhý řádek. Jsou-li v druhém řádku aktivní sousední senzory toho, který vyvolal alarm, znamená to, že objekt je ve společném zorném poli. Aktivní příznak v druhém řádku je možné zachytit, neboť na rozdíl od prvního není nulován ihned po vyhlášení alarmu, ale zůstává aktivní ještě krátký čas. Tento okamžik umožňuje zjištění přesnější polohy objektu případně monitorovat podrobněji jeho pohyb. Kód v pseudokódu vypadá následovně:

```
Data: Data z vyhodnocovacího algoritmu
∀ senzor if matice(1, senzor) == pozitivní then
|   vyber sousední senzor;
|   if matice(2, sousední senzor) == pozitivní then
|   |   dialog s čísly senzorů určující polohu;
|   else
|   |   dialog s číslem senzoru určující polohu;
|   end
|   smaž matice(1, senzor);
end
```

Algoritmus 2: Algoritmus určení polohy objektu

5. Výsledky testování

Jak bylo uvedeno už v první kapitole této práce, PIR senzory mají spoustu závislostí na okolním prostředí. Falešnou detekci může například způsobit i umístění blízko k výdechům topení, mají rozdílné chování při různé teplotě prostředí apod. Úkolem zařízení je samozřejmě co nejvíce těchto faktorů eliminovat a zachovat požadované chování při skutečném alarmu.

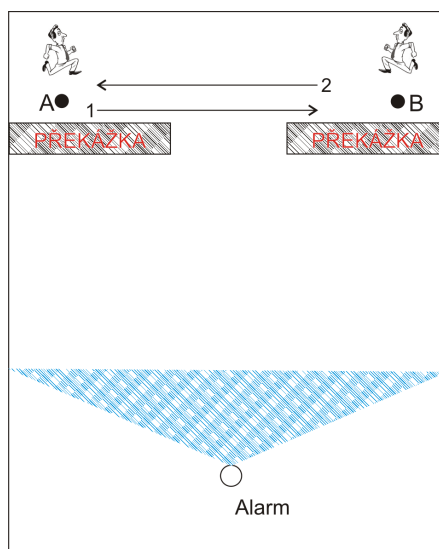
V této kapitole si ukážeme průběh testování pohybu na větší vzdálenost od senzoru, jednotlivé měření při vzrůstající teplotě uvnitř výrobku a ověřování, zda-li alarm nehlásí falešné popluchy při klidném okolním prostředí. Všechny grafy vyplývající z měření jsou k nahlédnutí v příloze A. Je v nich zobrazen jak výstup přímo ze skriptu, tak zaměření na důležité detaily.

5.1. Měření na větší vzdálenost

Pro zajištění co nejkvalitnější ochrany objektu je nutné, aby dosah zařízení byl co největší. Úkolem tohoto měření je ověřit, zda je algoritmus pro vyhodnocení dat schopný reagovat i ve větších místnostech.

Popis testování:

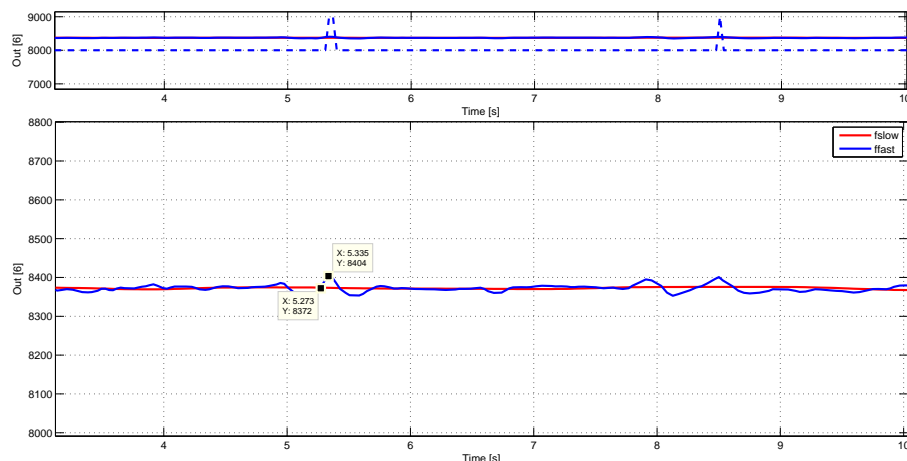
- lidská osoba (tepelný zdroj) vyšla z prostoru za překážkou z bodu A ve změřené vzdálenosti v zorném poli jednoho ze senzorů,
- následně dorazila do bodu B za druhou z překážek,
- po určité době se osoba otočila a prošla zpátky do startovního bodu A.



Obr. 32. Náhled měření při větší vzdálenosti.

5. Výsledky testování

Výsledky měření:



Obr. 33. Výsledky měření na větší vzdálenost.

Oproti předchozím grafům přibyl v tomto výstup z komparátoru (modrá přerušovaná čára v horní části). Jedná se o výstup z algoritmu určeného k vyhodnocení poplachu (skok signálu na hodnotu 9000 [-] = poplach).

Z grafu jsou patrné oba průchody, tudíž závěr z tohoto měření je zřejmý. Senzory jsou schopny reagovat na pohyb vzdálený 10 m od alarmu.

Skutečnost, že jsou senzory schopny reagovat až do takové vzdálenosti, je ale ovlivnitelná okolními faktory. Jak je ukázáno v dalším měření, může mít například teplota v zařízení velký vliv na rozhodovací schopnost.

Důležitou hodnotou pozorovanou při tomto měření je maximální oddálení výstupu obou filtrů. Z kurzorů je patrné, že hodnota rozdílu se pohybuje kolem 20 [-].

Tento test byl opakován několikrát, pokaždé s očekávaným, tudíž úspěšným výsledkem.

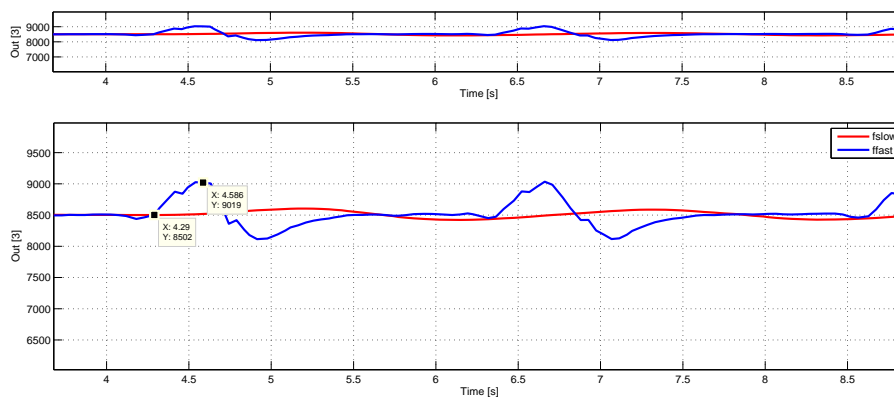
5.2. Měření při vzrůstající teplotě

Konečný výrobek, ve kterém budou tyto PIR senzory použity, neobsahuje sám o sobě pouze tento systém. Mezi jeho další výbavu patří LED pásek, kamera, moduly pro komunikaci apod. Všechny tyto systémy vydávají při své práci teplo a zahřívají uzavřené prostředí celého alarmu.

Pro tyto účely bylo měřeno, zda je instalovaný systém vyhodnocení schopný reagovat jak při normální pokojové teplotě, čili 25 °C, i při zahřátí až do 70 °C. V následujících grafech je ukázáno výsledné chování postupně v rozmezí mezi těmito teplotami.

Pozn.: teplota byla měřena v těsném okolí snímače PIR senzorů.

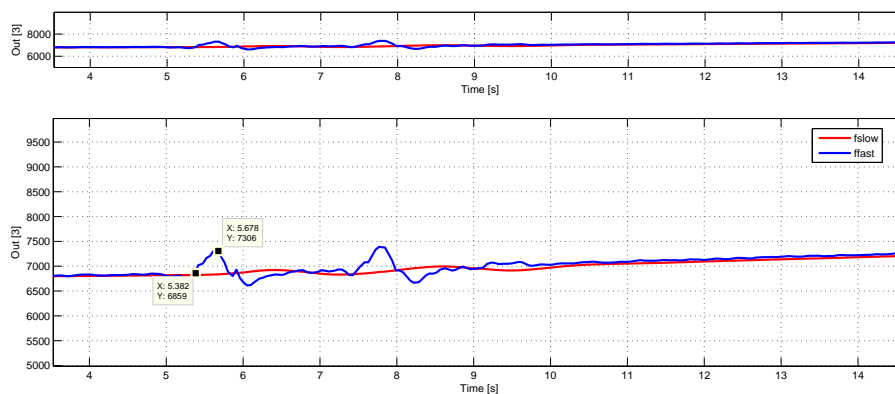
- měření při teplotě 26 °C



Obr. 34. Výsledky měření při teplotě 26 °C.

Při tomto měření jsou zřejmé oblasti pohybu. Důležitým parametrem, který je zde pozorován, je velikost změny mezi jednotlivými výstupy filtrů. V tomto případě se jedná o rozdíl přibližně 500 [-]. Tento rozdíl je zásadní při určování limitu do vyhodnocovacího algoritmu. Zde je rozdíl veliký díky blízkosti tepelného zdroje. Minulé měření znázorňovalo jak tento rozdíl ovlivní vzdálenost pohybujícího se objektu, nyní je pozorována jeho změna díky teplotě.

- měření při teplotě 50 °C

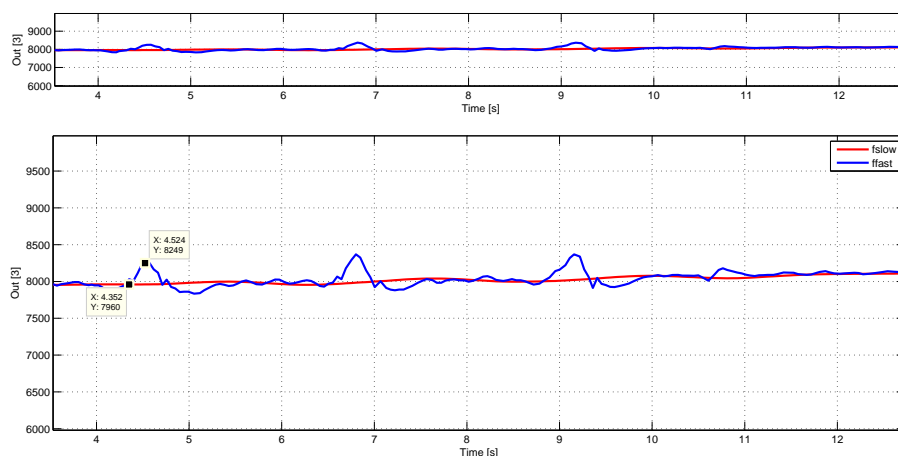


Obr. 35. Výsledky měření při teplotě 50 °C.

Při 50 °C je velikost maximálního oddálení při pohybu přibližně 500 [-]. Důležitým, zde pozorovatelným jevem, je postupné ovlivňování střední hodnoty signálu. To je způsobeno zahříváním, které můžeme pozorovat od 10 s dále.

5. Výsledky testování

- měření při teplotě 70 °C



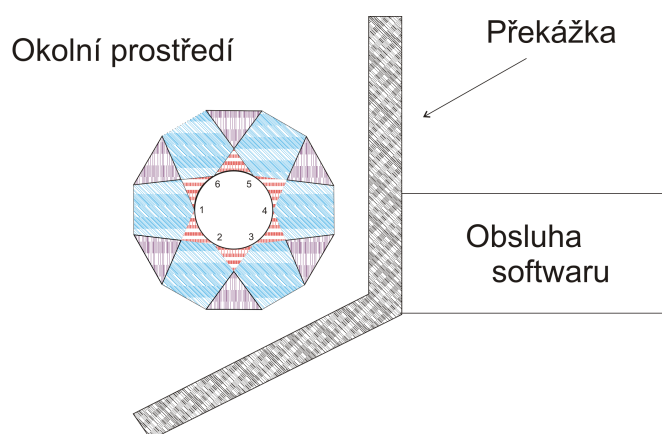
Obr. 36. Výsledky měření při teplotě 70 °C.

V tomto grafu už je vidět výrazné ovlivnění změny výstupního signálu, které kleslo na průměrnou hodnotu 300 [-]. Nicméně je zřejmé, že na vyhodnocovací algoritmus to nemá příliš velký vliv.

5.3. Měření falešných poplachů

Při každé činnosti se falešným poplachům snažíme předcházet. Poplach by znamenal jak probuzení řídicích systémů, natáčení kamery, tak spouštění vyhodnocení narušitele. Jelikož bude konečný výrobek vybaven bateriemi, tak by veškeré falešné poplachy vedly ke zbytečné ztrátě energie.

Tento test má jednoduché provedení. Při zakrytém výhledu jednotlivých senzorů do prostorů, kde sedí pozorující člověk, se nechá systém běžet a znamenají se falešné alarmy. Pro zakrytí výhledu bylo použito překážky, která díky svým vlastnostem eliminuje pohyb tepelných zdrojů za materiálem, tudíž senzory nejsou ovlivněny.



Obr. 37. Rozvržení okolí při měření.

Na obrázku 37 je zřejmé, že obsluha softwaru, která kontroluje vyhlašování alarmů, je zcela přehrazena překážkou od viditelných zón alarmu. K této skutečnosti poslouží i obyčejný kus papírové krabice.

Při měření nebyly senzory zakryty úplně, ale pro věrnější napodobení provozu byla část alarmu otevřena okolnímu prostředí testovací místnosti.

Po odladění alarm nevyhlašoval žádné falešné poplachy. Tato skutečnost je velmi závislá na nastavení vyhodnocení. Při nesprávném vyvážení jednotlivých koeficientů může například nastat situace, kdy algoritmus sice nereaguje na žádné falešné poplachy, ale není schopen vyhodnocení na větší vzdálenost.

6. Závěr

Tato bakalářská práce se zaměřuje na používání PIR senzorů v inteligentním alarmu. Sensory jsou používány k detekci pohybu a k určení polohy objektu. V teoretické části prvních dvou kapitol jsou popsány vlastnosti senzorů a nastíněno jejich testování. Dále je zde znázorněn výstup získaný pomocí testovacího kitu dodaného výrobcem, který je přímo určen pro tento druh senzorů.

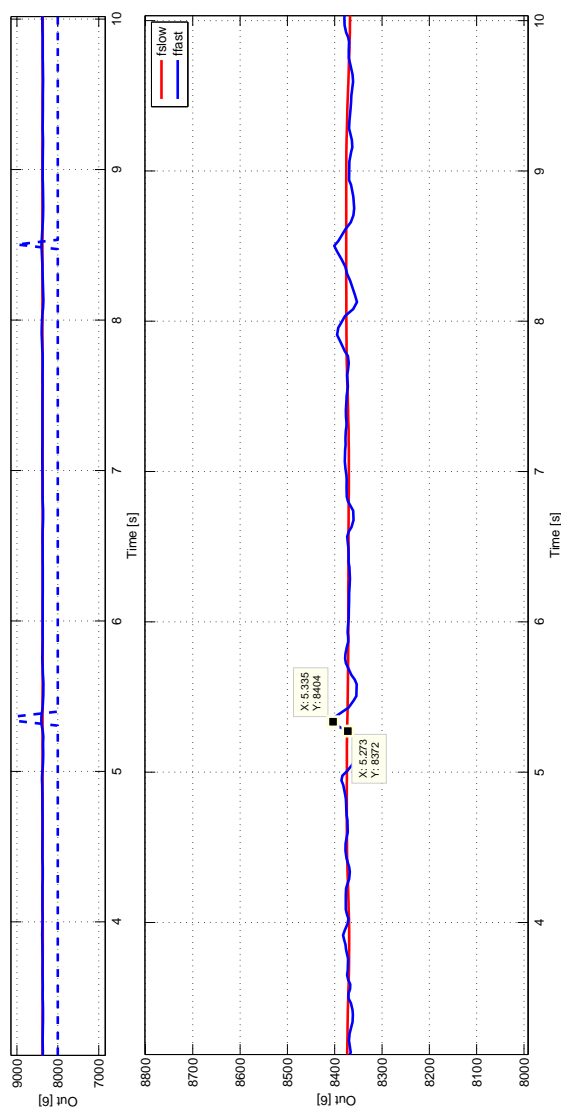
Další část je věnována návrhu digitálních filtrů. Z důvodů uvedených v dané kapitole jsou navrženy a používány dva FIR filtry typu dolní propust. Filtry jsou implementovány do dvou vyhodnocovacích skriptů, kde první, `showall.m`, se stará o zobrazení signálu a druhý, `report.m`, zobrazuje dialog s polohou objektu. Poslední kapitola vyobrazuje průběhy jednotlivých testování a jejich výsledky.

Příložené skripty jsou schopny reagovat na pohyb v zorném poli senzorů. Celý algoritmus je již implementován v mikrokontroléru STM32. Po prvním testování je vyhodnocovací algoritmus schopen určit polohu tepelného zdroje. Navíc díky schopnostem algoritmu je poloha objektu určována nejen v zorných polích jednotlivých senzorů, ale i v přechodových pásmech. Výrobek je schopen natáčet umístěnou kameru za pohybujícím se objektem s dostatečnou přesností na to, aby mohl proces pokračovat identifikací objektu.

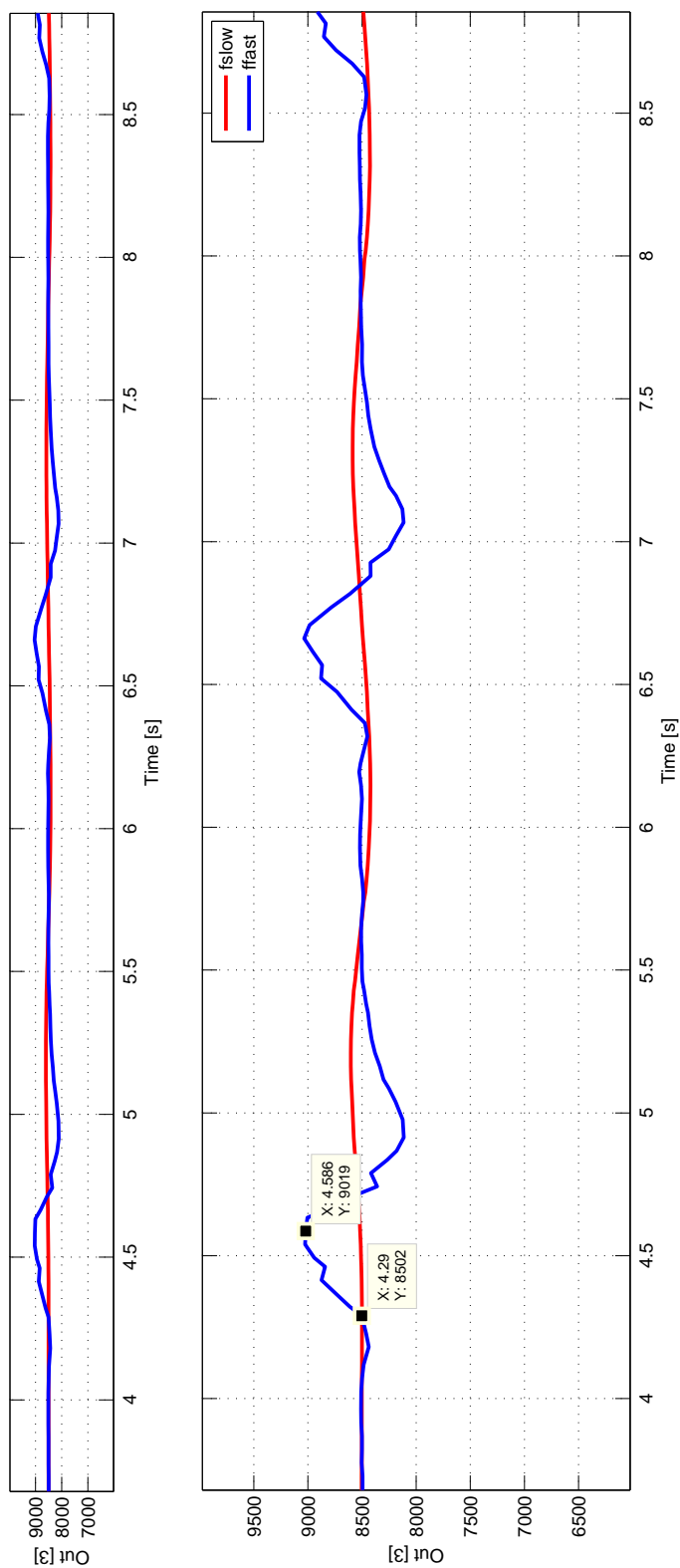
Vložení řídicí struktury do jiného hardwaru ale znamená testování s novým nastavením koeficientů pro vyhodnocení. Po prvních zkouškách bylo zjištěno, že software je náchylnější na změnu prostředí. Pro lepší adaptaci by bylo vhodné v konečné aplikaci definovat několik profilů tak, aby si mohl konečný uživatel zvolit nejvhodnější nastavení pro dané okolí.

Příloha A.

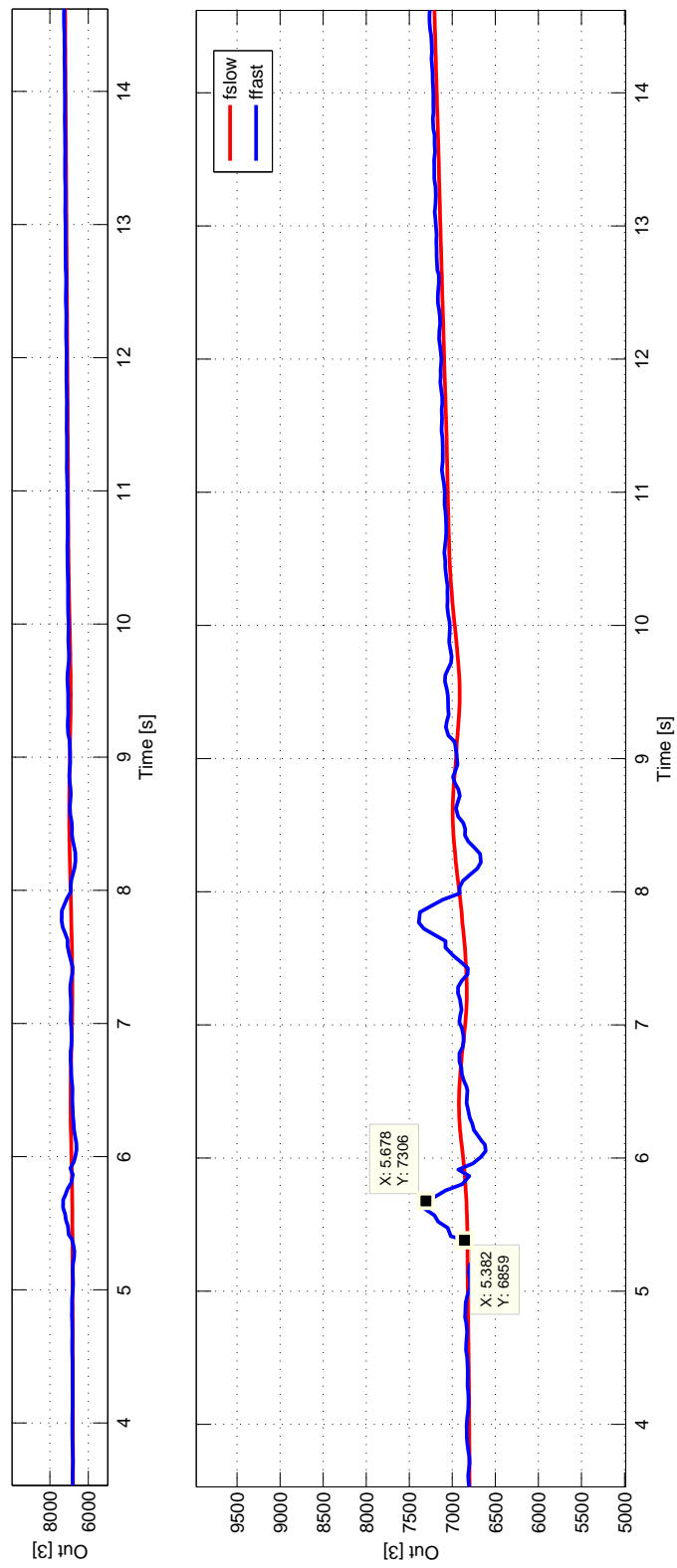
Výsledky měření



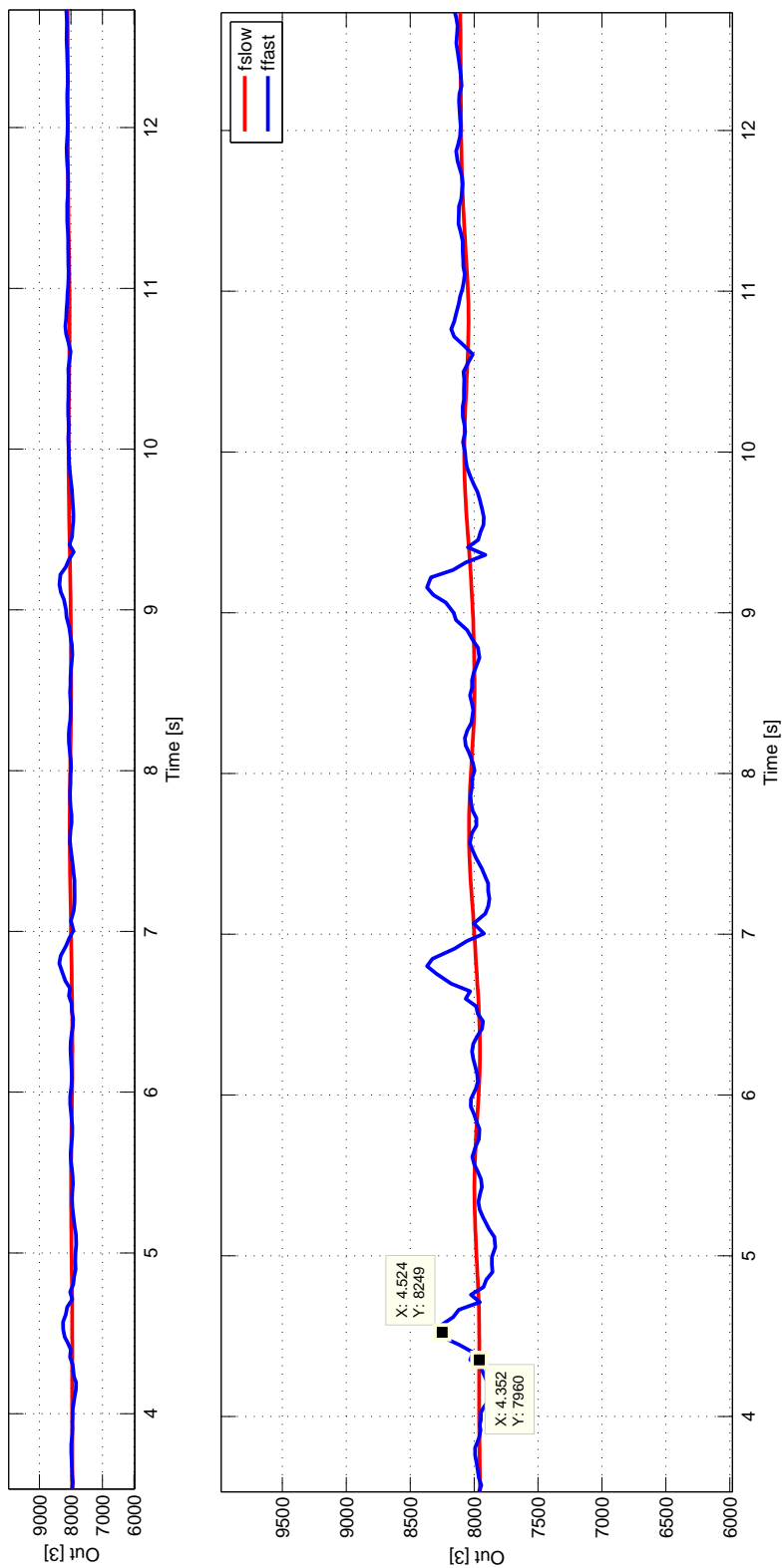
Obr. 38. Výsledky měření na větší vzdálenost.



Obr. 39. Výsledky měření při teplotě 26 °C.



Obr. 40. Výsledky měření při teplotě 50 °C.



Obr. 41. Výsledky měření při teplotě 70 °C.

Příloha B.

Obsah CD

Na CD jsou přiložené následující soubory:

- BP_simicek_2015.pdf *Bakalářská práce v elektronické podobě.*
- runFiles.zip *Zkomprimované soubory potřebné ke zprovoznění skriptů.*
- showall.m *Skript sloužící k zobrazení a vyhodnocení signálu.*
- report.m *Skript sloužící k zobrazení dialogu.*
- low_pass.m *Skript sloužící k filtrování dat.*

Literatura

- [1] Stanislav Křeček. *Příručka zabezpečovací techniky*. Edition 2. Cricetus, 2003. ISBN: 80-902938-2-4.
- [2] *Online image buddy*. URL: <http://imgbuddy.com/ir-sensor-working-principle.asp> (cit. 01.05.2015).
- [3] Excelitas Technologies. *Pyroelectric detectors and sensor in smd*. 2012. URL: http://www.excelitas.com/Downloads/BRO_SMD_IR_Sensing.pdf (cit. 04.06.2012).
- [4] Robert Vích a Zdeněk Smékal. *Číslicové filtry*. Edition 1. Academia, 2000. ISBN: 80-200-0761-X.
- [5] Jindřich Žďánský. *Úvod do číslicové filtrace*. 2008. URL: http://itakura.ite.tul.cz/zbynek/dwnld/Introduction_to_digital_filters.pdf (cit. 21.05.2008).
- [6] Ondřej Karas a Martin Šimeček. *Realizace filtrů FIR a IIR v programovacím jazyce C#*. 2010. URL: <http://programujte.com/clanek/2010050400-realizace-filtru-fir-a-iir-v-programovacim-jazyce-c/> (cit. 07.05.2010).