



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

SYSTÉM PRO SLEDOVÁNÍ A KLASIFIKACI OBJEKTŮ NA OBLOZE

SYSTEM FOR TRACKING AND CLASSIFICATION OF OBJECTS IN THE SKY

SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

SEMESTRAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Franka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ilona Janáková, Ph.D.

BRNO 2023

Semestrální práce

magisterský navazující studijní program **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Bc. Jakub Franka

ID: 220976

Ročník: 2

Akademický rok: 2023/24

NÁZEV TÉMATU:

Systém pro sledování a klasifikaci objektů na obloze

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Úkolem studenta je navrhnout systém počítačového vidění pro detekci, trasování a klasifikaci létajících objektů na obloze. Zadání zahrnuje řešení po HW i SW stránce. Předpokládá se klasifikace do kategorií typu: letadlo, dron, pták, hmyz, případně dalších. Pro klasifikaci bude testováno i využití konvolučních neuronových sítí.

1. Seznamte se s danou problematikou. Proveďte rešerši existujících přístupů.
2. Navrhněte vhodnou kombinaci a uspořádání hardwarových komponent – kamera s optikou + PC/minipočítač.
3. Navržené zařízení realizujte.
4. Pořiďte dostatečně rozsáhlou a pestrou databázi reálných snímků/sekvencí.
5. Navrhněte algoritmy detekce a trasování objektů.
6. Navrhněte klasifikátor objektů.
7. Implementujte zvolené algoritmy do navrženého zařízení.
8. Vše otestujte. Definujte omezující podmínky. Zhodnoťte.

SP = 1,5,6.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

JUREČKA, Tomáš. Detekce a klasifikace létajících objektů. Brno, 2021. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, FEKT, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Ilona Janáková.

SCHUMANN, Arne, Lars SOMMER, Johannes KLATTE, Tobias SCHUCHERT a Jurgen BEYERER. Deep cross-domain flying object classification for robust UAV detection. In: 2017 14th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS). IEEE, 2017, s. 1-6. ISBN 978-1-5386-2939-0. Dostupné z: doi:10.1109/AVSS.2017.8078558

Termín zadání: 18.9.2023

Termín odevzdání: 4.1.2024

Vedoucí práce: Ing. Ilona Janáková, Ph.D.

doc. Ing. Petr Fiedler, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Abstrakt práce v originálním jazyce

KLÍČOVÉ SLOVÁ

Klíčová slova v originálním jazyce

ABSTRACT

Překlad abstraktu (v angličtině, pokud je originálním jazykem čeština či slovenština; v češtině či slovenštině, pokud je originálním jazykem angličtina)

KEYWORDS

Překlad klíčových slov (v angličtině, pokud je originálním jazykem čeština či slovenština; v češtině či slovenštině, pokud je originálním jazykem angličtina)

ROZŠÍŘENÝ ABSTRAKT

Výtah ze směrnice rektora 72/2017:

Bakalářská a diplomová práce předložená v angličtině musí obsahovat rozšířený abstrakt v češtině nebo slovenštině (čl. 15). To se netýká studentů, kteří studují studijní program akreditovaný v angličtině. (čl. 3, par. 7)

Nebude-li vnitřní normou stanoveno jinak, doporučuje se rozšířený abstrakt o rozsahu přibližně 3 normostrany, který bude obsahovat úvod, popis řešení a shrnutí a zhodnocení výsledků. (čl. 15, par. 5)

FRANKA, Jakub. *Systém pro sledování a klasifikaci objektů na obloze*. Semestrální práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2024. Vedúci práce: Ing. Ilona Janáková, Ph.D.

Vyhlásenie autora o pôvodnosti diela

Meno a priezvisko autora: Bc. Jakub Franka
VUT ID autora: 220976
Typ práce: Semestrálna práca
Akademický rok: 2023/24
Téma závěrečné práce: Systém pro sledování a klasifikaci objektů na obloze

Vyhlasujem, že svoju záverečnú prácu som vypracoval samostatne pod vedením vedúcej/cého záverečnej práce, s využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej záverečnej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto záverečnej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno
.....
podpis autora*

*Autor podpisuje iba v tlačenej verzii.

POĎAKOVANIE

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské/diplomové/disertační práce panu Ing. XXX
YYY, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Obsah

Úvod	12
1 Detekcia objektov v obraze	13
1.1 Prahovanie	13
1.1.1 Globálne prahovanie	13
1.1.2 Lokálne prahovanie	15
1.2 Detekcia hrán	15
1.2.1 Detekcia horizontu pomocou Houghovej transformácie	17
1.3 Detekcia pohybu	18
2 Výsledky studentské práce	20
2.1 Programové řešení	20
2.2 Výsledky měření	20
2.2.1 Etiam quis quam	20
Závěr	23
Literatúra	24
Zoznam symbolov a skratiek	25
Zoznam príloh	26
A Některé příkazy balíčku thesis	27
A.1 Příkazy pro sazbu veličin a jednotek	27
A.2 Příkazy pro sazbu symbolů	27
B Druhá příloha	28
C Příklad sazby zdrojových kódů	29
C.1 Balíček listings	29
D Obsah elektronické přílohy	32

Zoznam obrázkov

1.1	Funkcia prahovania s prahom 0.5 pre svetlé pozadie	13
1.2	Jednoduché prahovanie	14
1.3	Automatické prahovanie (podľa známeho rozloženia)	14
1.4	Adaptívne prahovanie (podľa známeho rozloženia)	15
1.5	Cannyho hranový detektor	17
1.6	Detekcia horizontu pomocou Houghovej transformácie	18
B.1	Alenčino zrcadlo	28

Zoznam tabuliek

A.1	Přehled příkazů	27
-----	---------------------------	----

Zoznam výpisov

C.1	Ukážka sazby zkratek	29
C.2	Příklad Schur-Cohnova testu stability v prostředí Matlab.	30
C.3	Příklad implementace první kanonické formy v jazyce C.	31

Úvod

Úvod studentské práce, např. . .

Nečíslovaná kapitola Úvod obsahuje „seznámení“ čtenáře s problematikou práce. Typicky se zde uvádí: (a) do jaké tematické oblasti práce spadá, (b) co jsou hlavní cíle celé práce a (c) jakým způsobem jich bylo dosaženo. Úvod zpravidla nepřesahuje jednu stranu. Poslední odstavec Úvodu standardně představuje základní strukturu celého dokumentu.

Tato práce se věnuje oblasti DSP (číslicové zpracování signálů – Digital Signal Processing), zejména jevům, které nastanou při nedodržení Nyquistovy podmínky pro *vzorkovací kmitočet* (f_{vz}).¹

Šablona je nastavena na *dvoustranný tisk*. Nebuďte překvapeni, že ve vzniklém PDF jsou volné stránky. Je to proto, aby důležité stránky jako např. začátky kapitol začínaly po vytisknutí a svázání vždy na pravé straně. Pokud máte nějaký závažný důvod sázet (a zejména tisknout) jednostranně, nezapomeňte si přepnout volbu `twoside` na `oneside`!

¹Tato věta je pouze ukázkou použití příkazů pro sazbu zkratk.

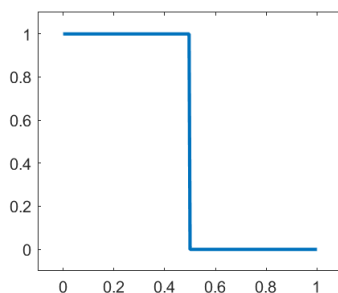
1 Detekcia objektov v obraze

Pre niektoré techniky klasifikácie objektov je nutné najprv v obraze tieto objekty nájsť. Existuje k tomu veľké množstvo metodík, pri čom každá z nich má svoje výhody a nevýhody. Je teda nutnosťou zistiť ktorá metóda najviac vyhovuje použitiu pre túto prácu.

1.1 Prahovanie

Prahovanie je jasová transformácia pri ktorej je šedotónový obraz rozdelený na dve a viac oblastí podľa jasovej úrovne pixelov. O tom, do ktorej z oblastí je daný pixel priradený rozhoduje prah, ktorého hodnotu je treba určiť. Výsledkom je obraz s len dvomi úrovňami jasů - binárny obraz.

Pri správnom predspracovaní obrazu prahovaním, je možné v ňom jednoducho oddeliť objekty od pozadia, v prípade ak sa jas objektu dostatočne líši od jasů pozadia. Ak sa však jasové hodnoty objektu a pozadia príliš podobajú, nemusí existovať dostatočne robustné určenie prahu oddeľujúceho objekty od pozadia.



Obr. 1.1: Funkcia prahovania s prahom 0.5 pre svetlé pozadie

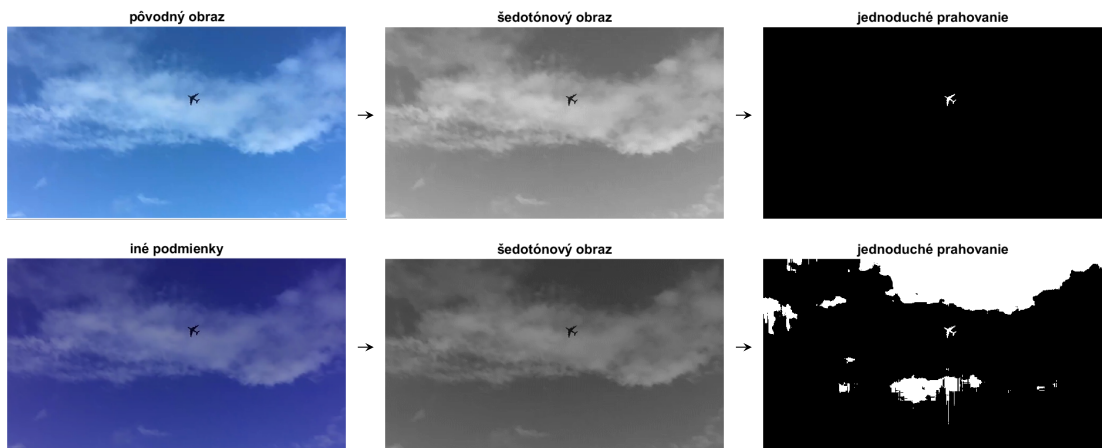
1.1.1 Globálne prahovanie

Globálne prahovanie je často používaná technika pri ktorej je použitý jediný prah na celý obraz, čo nemusí byť vhodné v prípade ak je jasová úroveň pozadia rôzna v rôznych miestach obrazu.

- **Jednoduché prahovanie** je technika pri ktorej je globálny prah určený dopredu ručne. V prípade že sa jasová úroveň pozadia v čase mení, je vhodnejšie použiť techniky s adaptívnym nastavením prahu.
- Prahovanie **podľa známeho rozloženia** predpokladá že poznáme relatívnu veľkosť oblasti ktorú zaberá pozadie v obraze. Ak vieme že objekt je svetlejší ako pozadie, môžeme určiť prah z kumulatívneho histogramu tak, aby relatívny

počet pixelov pod úrovňou prahu bol rovnaký ako oblasť ktorú ma zaberat pozadie.

- Algoritmus **K-Means** (K priemerov) pre zhukovú analýzu, rozdeľuje dáta do skupín s cieľom minimalizovať vzdialenosť bodov v zhuku a maximalizovať vzdialenosť medzi zhukmi. Jedná sa o algorytmus učenia bez učiteľa. Funguje na princípe iterovaného posúvania k stredov zhukov (v prípade binárneho prahovania je $k = 2$), smerom k priemeru hodnôt priradenému danému stredu v aktuálnom kroku.
- **Otsuova metóda** automatického určenia prahu je založená na maximalizovaní vzájomnej odchýlky medzi triedami. Využíva normalizovaný kumulatívny histogram z ktorého určuje vzájomnú rozptyl pre všetky možné hodnoty prahu a vyberá ten optimálny.



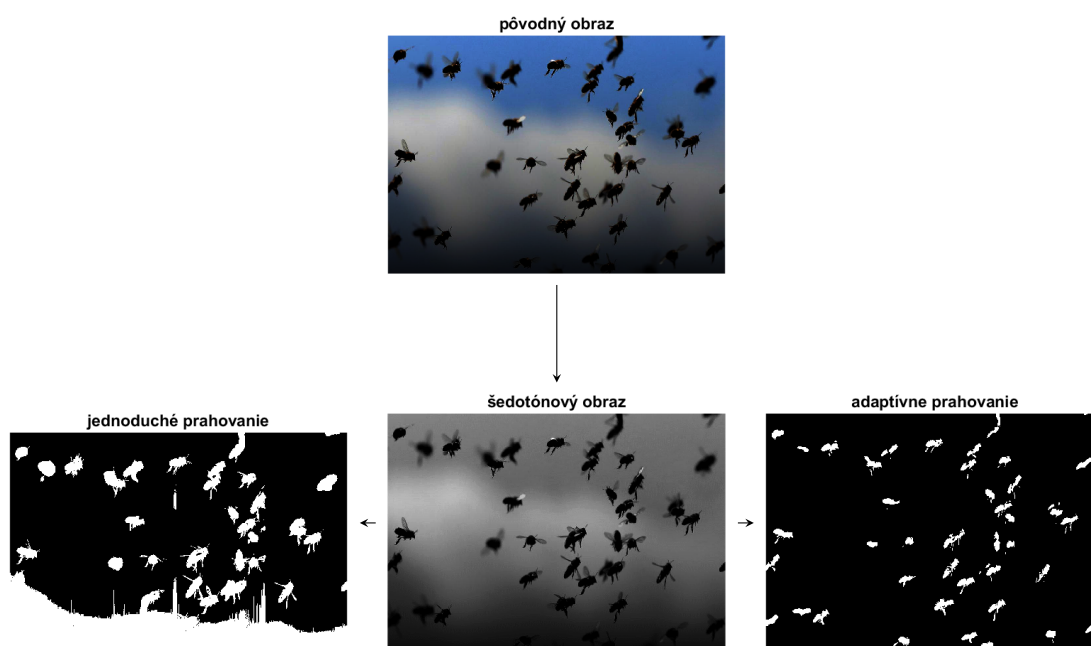
Obr. 1.2: Jednoduché prahovanie



Obr. 1.3: Automatické prahovanie (podľa známeho rozloženia)

1.1.2 Lokálne prahovanie

V prípade že je jas pozadia rôzny v rôznych častiach obrazu, je vhodné určiť hodnotu prahu z jasovej úrovne okolia každého prahovaného pixelu. Toto takzvané adaptívne prahovanie, má síce vyššiu výpočtnú náročnosť ako jednoduchšie globálne prahovanie, keďže je nutné určiť prah pre každý bod obrazu samostatne, je však robustnejšie voči nevhodnému pozadiu.



Obr. 1.4: Adaptívne prahovanie (podľa známeho rozloženia)

1.2 Detekcia hrán

Ako jednu z metód vyhľadávania objektov v obraze je možné využiť obraz hrán a vyhľadať v ňom kontúry objektov. Opäť existuje niekoľko spôsobov ako získať obraz hrán a ako ho využiť k segmentácii obrazu, teda k detekcii objektov.

Na vytvorenie obrazu hrán z nasnímaného obrazu sa používa konvolúcia obrazu s operátorom navrhnutým tak aby aproximovalo deriváciu určitého rádu. Medzi často používané operátory patria Prewittov a Sobelov operátor, ktoré aproximujú prvú deriváciu v určitom smere (horizontálnom, vertikálnom, diagonálne). Druhú deriváciu aproximuje Laplaceov operátor, používa sa tiež v kombinácii s Gaussovým filtrom (LoG operátor), čo má za následok zníženie citlivosti na šum.

Komplexnejšiou metódou detekcie hrán je takzvaný *Cannyho hranový detektor*. Ide o proces vo viacerých krokoch, pre jeden vstupný obraz sa postupuje nasledovne:

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Prewittov
operátor

Sobelov
operátor

Laplaceov
operátor

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -2 & -1 & 0 \\ -1 & -2 & 16 & -2 & -1 \\ 0 & -1 & -2 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

LoG operátor

1. Vstupný obraz býva väčšinou filtrovaný z dôvodu zníženia citlivosti na šum v obraze. Vhodné je k tomu napríklad Gaussove rozmazanie.
2. Použije sa horizontálny a vertikálny Sobelov operátor ako detektor hrán, na získanie obrazu hrán v oboch smeroch I_x a I_y .

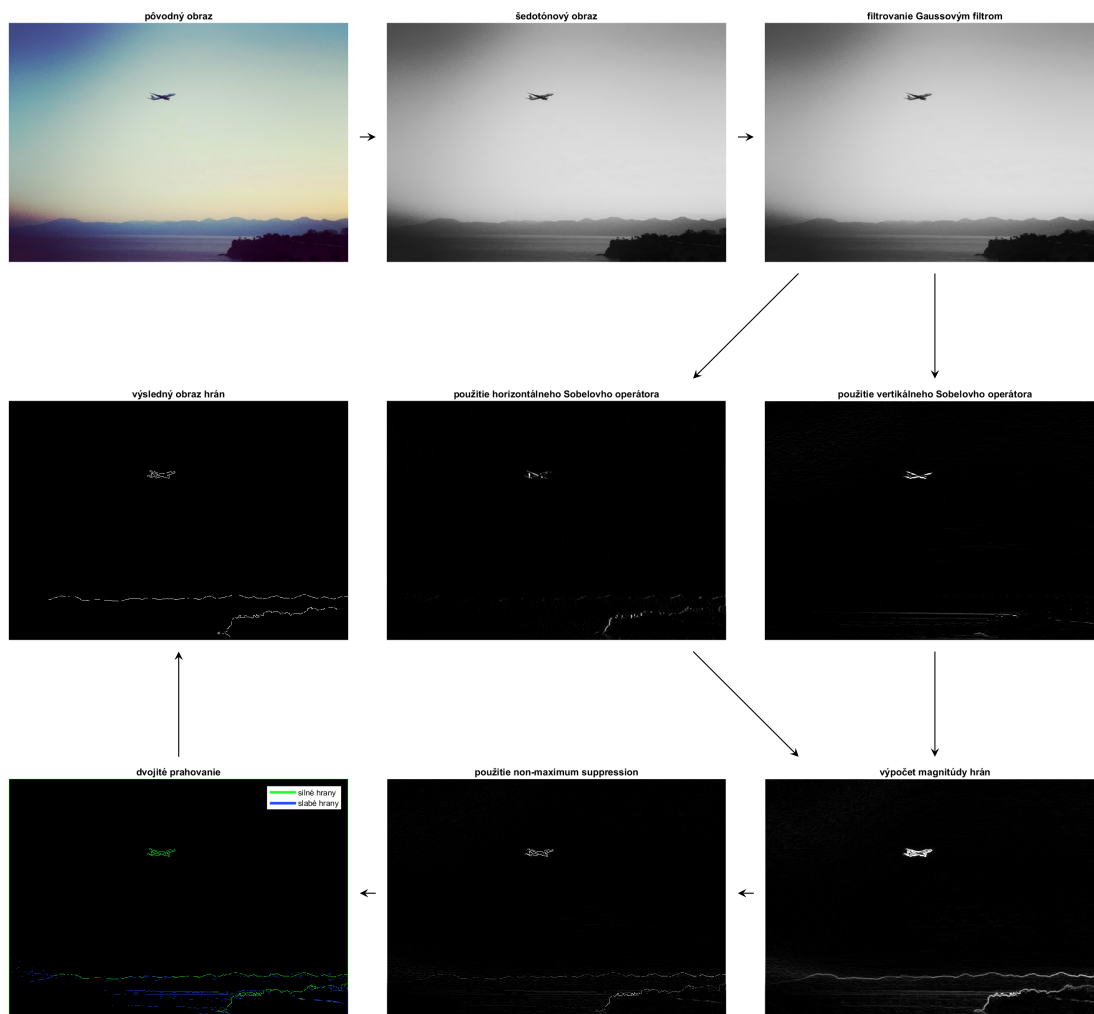
$$I_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * I \quad I_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * I$$

3. Z toho je možné určiť magnitúdu a smer gradientu:

$$G = \sqrt{I_x^2 + I_y^2} \quad \theta = \text{atan2}(I_x, I_y)$$

4. Ku zníženiu redundancie detekovaných hrán sa použije algoritmus *non maxima suppression* (potlačenie nemaximálnej hodnoty). Použitím tohoto algoritmu dôjde k zúženiu hrán, pričom sa ponechajú len tie časti hrán ktorých magnitúda je väčšia ako v ich okolí.
5. Dvojitým prahovaním sa v obraze hrán nájdu tri úrovne:
 - **silné hrany** sú hrany vyššie ako obidva prahy. Do výsledného obrazu hrán sú určite pridané.
 - **slabé hrany** sú hrany medzi dvomi prahmi.
 - **nie hrany** sú tie hrany ktorých magnitúda je nižšia ako obidva prahy.
6. Iteratívne sú slabé hrany dotýkajúce sa silných hrán označované za silné, až kým sa žiadna slabá hrana silnej nedotýka. Vo výslednom obraze sú ponechané len silné hrany.

Obraz hrán je možné ďalej spracovávať, napríklad morfológickými operáciami: otvorením odstrániť krátke nevýznamné hrany, zatvorením spojiť hrany blízko pri sebe.

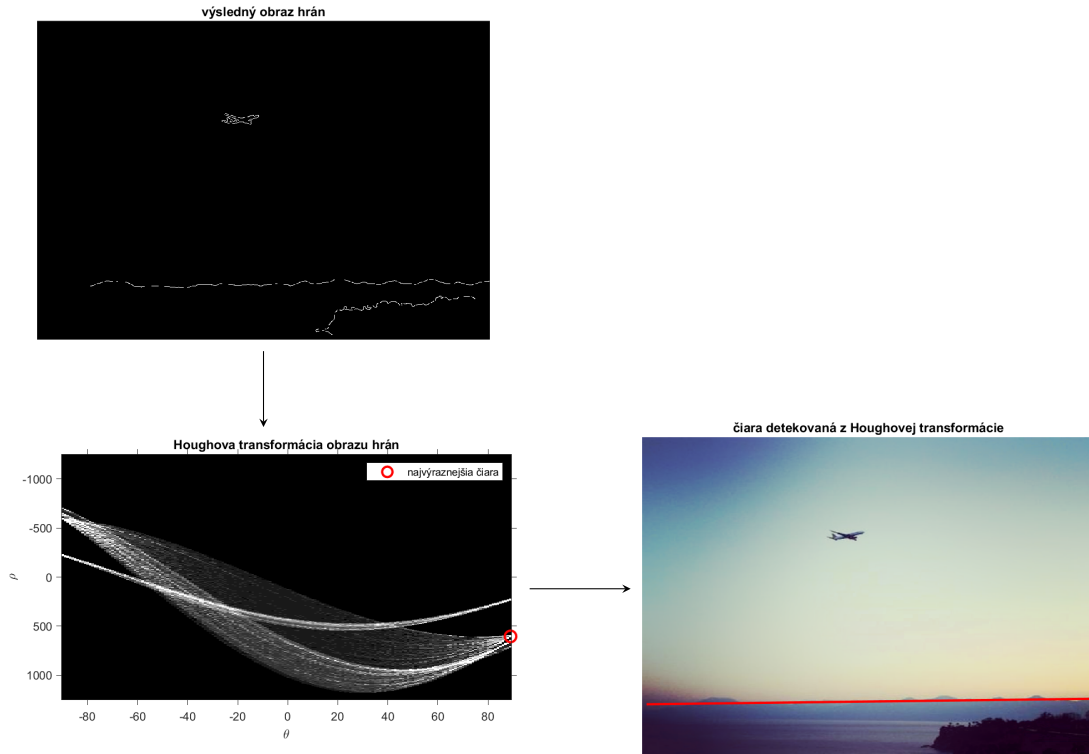


Obr. 1.5: Cannyho hranový detektor

Vyhľadávaním uzavretých kontúr v obraze hrán je možné identifikovať potenciálne objekty v obraze.

1.2.1 Detekcia horizontu pomocou Houghovej transformácie

Pokiaľ časť obrazu obsahuje horizont, je vhodnejšie detekovať lietajúce objekty len na oblohe nad ním, aby sa predišlo falošným detekciám. Horizont je možné detekovať z obrazu hrán pomocou Houghovej transformácie, podľa práce. Vo výsledku Houghovej transformácie sa horizont prejaví ako najvýraznejšia čiara.



Obr. 1.6: Detekcia horizontu pomocou Houghovej transformácie

1.3 Detekcia pohybu

V prípade že je požadovaná detekcia pohybujúcich sa objektov, je možnosťou detekcie práve detekovaním ich pohybu. Jednou z jednoduchých metód detekcie pohybu sú rozdielové metódy, pri ktorých je vypočítavaný rozdielový snímok z viacerých snímkov zo sekvencie $\{I_1, I_2, \dots, I_n\}$. Rozdielový snímok môže byť:

- **jednostranný** - je najjednoduchší nenesie informáciu o smere pohybu, vyhodnocuje sa len v miestach kde $I_1(x, y) > I_2(x, y)$.

$$D(x, y) = \begin{cases} 0 & I_1(x, y) - I_2(x, y) < \epsilon \\ 1 & I_1(x, y) - I_2(x, y) \geq \epsilon \end{cases}$$

- **obojstranný** - dostaneme ho upravením vzťahu pre jednostranný rozdielový snímok, použitím absolútnej hodnoty. Tým je dosiahnutá zameniteľnosť $I_1(x, y)$ a $I_2(x, y)$, vyhodnocuje sa teda na celom obraze. Neodstraňuje nedostatok informácie o smere pohybu, tá však nemusí byť nutnosťou.

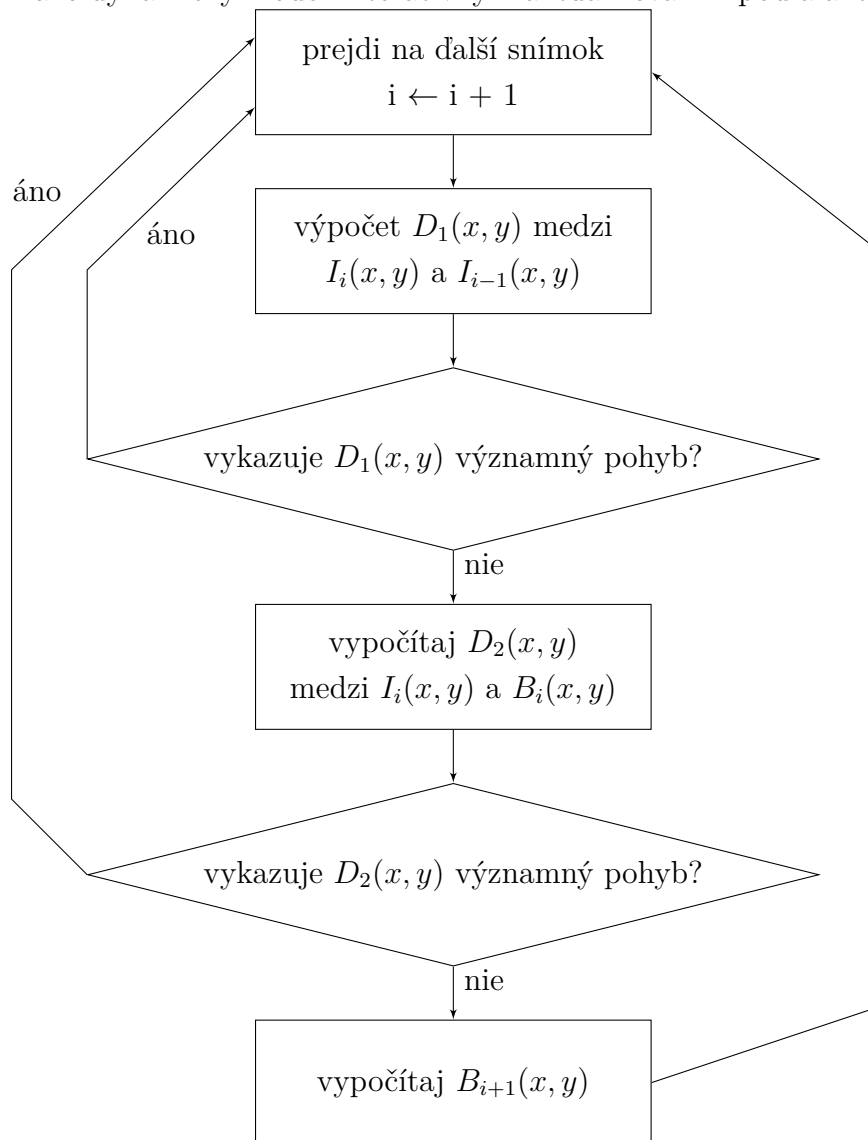
$$D(x, y) = \begin{cases} 0 & |I_1(x, y) - I_2(x, y)| < \epsilon \\ 1 & |I_1(x, y) - I_2(x, y)| \geq \epsilon \end{cases}$$

- **kumulovaný** - je vytvorený váženým súčtom jedno alebo obojstranných rozdielových snímkov. Je teda možné priemerovať pohyb za určitý čas určením každej váhy $\omega = 1/(N - 1)$, alebo určiť rôznym snímkom rôznu váhu a získať tak informáciu o smere pohybu.

$$D(x, y) = \sum_{i=1}^{N-1} \omega_i \cdot D_i(x, y)$$

Komplexnejšiou metódou detekcie pohybu je vytvorenie rozdielového snímku nie medzi nasledujúcimi snímkami, ale aktuálnym snímkom a vytvoreným modelom pozadia. Ten je možné zostaviť:

- ako jeden obraz pozadia bez objektov.
- ako priemerný snímok niekoľkých snímkov pozadia.
- ako dynamický model - iteratívnym aktualizovaním podľa aktuálneho snímku.



2 Výsledky studentské práce

Praktická část a výsledky studentské práce vhodně rozdělené do částí.

2.1 Programové řešení

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nulla pulvinar eleifend sem. Integer in sapien. Etiam sapien elit, consequat eget, tristique non, venenatis quis, ante. In laoreet, magna id viverra tincidunt, sem odio bibendum justo, vel imperdiet sapien wisi sed libero. Phasellus enim erat, vestibulum vel, aliquam a, posuere eu, velit. Aliquam erat volutpat. Nullam faucibus mi quis velit [1].

2.2 Výsledky měření

Fusce tellus odio, dapibus id fermentum quis, suscipit id erat. Fusce tellus. Morbi scelerisque luctus velit. In laoreet, magna id viverra tincidunt, sem odio bibendum justo, vel imperdiet sapien wisi sed libero. Quisque porta. Fusce suscipit libero eget elit. Nulla non lectus sed nisl molestie malesuada. Phasellus faucibus molestie nisl. Integer vulputate sem a nibh rutrum consequat. Proin mattis lacinia justo. Phasellus et lorem id felis nonummy placerat. Etiam ligula pede, sagittis quis, interdum ultricies, scelerisque eu. Cras elementum. Aenean placerat. Donec ipsum massa, ullamcorper in, auctor et, scelerisque sed, est. Aliquam ante. Integer imperdiet lectus quis justo. Vivamus ac leo pretium faucibus. Nullam faucibus mi quis velit.

2.2.1 Etiam quis quam

Neque porro quisquam est, qui dolorem ipsum quia dolor sit amet, consectetur, adipisci velit, sed quia non numquam eius modi tempora incidunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem. Aliquam erat volutpat. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit [1, 6]. Nunc auctor. Neque porro quisquam est, qui dolorem ipsum quia dolor sit amet, consectetur, adipisci velit, sed quia non numquam eius modi tempora incidunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem. Maecenas lorem. Maecenas libero. In laoreet, magna id viverra tincidunt, sem odio bibendum justo, vel imperdiet sapien wisi sed libero. Nullam rhoncus aliquam metus.

Integer rutrum orci vestibulum

Integer rutrum, orci vestibulum ullamcorper ultricies, lacus quam ultricies odio, vitae placerat pede sem sit amet enim. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud

exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Fusce tellus odio, dapibus id fermentum quis, suscipit id erat. Nullam eget nisl. Nunc auctor. Etiam dui sem, fermentum vitae, sagittis id, malesuada in, quam. Fusce dui leo, imperdiet in, aliquam sit amet, feugiat eu, orci. Curabitur vitae diam non enim vestibulum interdum. Aliquam erat volutpat. Pellentesque sapien. Phasellus enim erat, vestibulum vel, aliquam a, posuere eu, velit.

Eger rutrum orci vestibulum

Fusce dui leo, imperdiet in, aliquam sit amet, feugiat eu, orci. Maecenas aliquet accumsan leo. Aliquam ornare wisi eu metus. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam erat volutpat. Donec iaculis gravida nulla. Sed elit dui, pellentesque a, faucibus vel, interdum nec, diam. Temporibus autem quibusdam et aut officiis debitis aut rerum necessitatibus saepe eveniet ut et voluptates repudiandae sint et molestiae non recusandae. Nulla non arcu lacinia neque faucibus fringilla. Phasellus enim erat, vestibulum vel, aliquam a, posuere eu, velit. Praesent vitae arcu tempor neque lacinia pretium [7, 8, 9].

Aliquam erat volutpat. Quisque porta. Integer imperdiet lectus quis justo. Nullam justo enim, consectetur nec, ullamcorper ac, vestibulum in, elit. Nullam faucibus mi quis velit. Fusce tellus. Fusce consectetur risus a nunc. Cras pede libero, dapibus nec, pretium sit amet, tempor quis. Morbi imperdiet, mauris ac auctor dictum, nisl ligula egestas nulla, et sollicitudin sem purus in lacus [2, 3, 4]. Mauris elementum mauris vitae tortor. Neque porro quisquam est, qui dolore ipsum quia dolor sit amet, consectetur, adipisci velit, sed quia non numquam eius modi tempora incidunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem. Quisque porta. Integer vulputate sem a nibh rutrum consequat. Nulla pulvinar eleifend sem. Praesent id justo in neque elementum ultrices [5].

Fusce suscipit libero eget elit. Integer vulputate sem a nibh rutrum consequat. Aliquam erat volutpat. Etiam neque. Nulla turpis magna, cursus sit amet, suscipit a, interdum id, felis. Nullam rhoncus aliquam metus. Etiam dui sem, fermentum vitae, sagittis id, malesuada in, quam. Nunc auctor. Nunc dapibus tortor vel mi dapibus sollicitudin. Praesent in mauris eu tortor porttitor accumsan. Nulla non arcu lacinia neque faucibus fringilla. Nullam lectus justo, vulputate eget mollis sed, tempor sed magna. Maecenas lorem. Aenean placerat. Donec vitae arcu. Maecenas lorem. Donec iaculis gravida nulla. Nulla non lectus sed nisl molestie malesuada.

Duis pulvinar. Nulla est. Duis condimentum augue id magna semper rutrum. Integer pellentesque quam vel velit. Aliquam ante. Nulla quis diam. Proin mattis lacinia justo. Aenean fermentum risus id tortor. Nunc auctor. Nullam justo enim, consectetur nec, ullamcorper ac, vestibulum in, elit. In dapibus augue non sapien.

Etiam bibendum elit eget erat. In sem justo, commodo ut, suscipit at, pharetra vitae, orci. Maecenas libero.

Nulla non lectus sed nisl molestie malesuada. Donec vitae arcu. Aenean fermentum risus id tortor. Praesent in mauris eu tortor porttitor accumsan. Nulla pulvinar eleifend sem. Duis viverra diam non justo. Integer imperdiet lectus quis justo. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. In rutrum. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum. Nulla non lectus sed nisl molestie malesuada. Aliquam erat volutpat. Mauris tincidunt sem sed arcu. Duis bibendum, lectus ut viverra rhoncus, dolor nunc faucibus libero, eget facilisis enim ipsum id lacus. Fusce tellus odio, dapibus id fermentum quis, suscipit id erat. In enim a arcu imperdiet malesuada. Nulla non lectus sed nisl molestie malesuada. Proin mattis lacinia justo.

Aliquam in lorem sit amet leo accumsan lacinia. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Duis sapien nunc, commodo et, interdum suscipit, sollicitudin et, dolor. Suspendisse sagittis ultrices augue. Nullam lectus justo, vulputate eget mollis sed, tempor sed magna. In convallis. Praesent id justo in neque elementum ultrices. Neque porro quisquam est, qui dolorem ipsum quia dolor sit amet, consectetur, adipisci velit, sed quia non numquam eius modi tempora incidunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem.

Pellentesque pretium lectus id turpis. Nemo enim ipsam voluptatem quia voluptas sit aspernatur aut odit aut fugit, sed quia consequuntur magni dolores eos qui ratione voluptatem sequi nesciunt. Curabitur ligula sapien, pulvinar a vestibulum quis, facilisis vel sapien. Praesent dapibus. Sed elit dui, pellentesque a, faucibus vel, interdum nec, diam. Duis viverra diam non justo. Duis ante orci, molestie vitae vehicula venenatis, tincidunt ac pede. Phasellus rhoncus. Maecenas fermentum, sem in pharetra pellentesque, velit turpis volutpat ante, in pharetra metus odio a lectus. Proin pede metus, vulputate nec, fermentum fringilla, vehicula vitae, justo. Fusce aliquam vestibulum ipsum. Nullam at arcu a est sollicitudin euismod.

Závěr

Shrnutí studentské práce.

Literatúra

- [1] VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. *Směrnice č. 72/2017, Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací*. Online. Brno: VUT v Brně, 2017. Úplné znění ke dni 11. 4. 2022. Dostupné z: <https://www.vut.cz/uredni-deska/vnitřni-předpisy-a-dokumenty/smernice-c-72-2017-uprava-odevzdavani-a-zverejnovani-zaverecných-praci-d161410>. [cit. 2023-09-27].
- [2] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN ISO 690:2022 (01 0197), *Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Čtvrté vydání. Praha, 2022.
- [3] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN ISO 7144 (010161), *Dokumentace – Formální úprava disertací a podobných dokumentů*. Praha, 1997.
- [4] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN ISO 31-11, *Veličiny a jednotky – část 11: Matematické znaky a značky používané ve fyzikálních vědách a v technice*. Praha, 1999.
- [5] FARKAŠOVÁ, B. et al. *Výklad normy ČSN ISO 690:2022 (01 0197) účinné od 1. 12. 2022*. Online. První vydání. 2023. Dostupné z: <https://www.citace.com/Vyklad-CSN-ISO-690-2022.pdf>. [cit. 2023-09-27].
- [6] *Pravidla českého pravopisu*. 1. vydání. Olomouc: FIN, 1998. ISBN 80-86002-40-3.
- [7] WALTER, G. G. a SHEN, X. *Wavelets and Other Orthogonal Systems*. 2. vydání, Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2000. ISBN 1-58488-227-1
- [8] SVAČINA, J. Dispersion Characteristics of Multilayered Slotlines – a Simple Approach. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 1999, vol. 47, no. 9, s. 1826–1829. ISSN 0018-9480.
- [9] RAJMIC, P. a SYSEL, P. Wavelet Spectrum Thresholding Rules. In: *Proceedings of the International Conference Research in Telecommunication Technology*. Žilina: Žilina University, 2002. s. 60–63. ISBN 80-7100-991-1.

Zoznam symbolov a skratiek

Šírka levého sloupce Seznamu symbolů a zkratk je určena šířkou
parametru prostředí `acronym` (viz řádek 1 výpisu zdrojáku na str. 29)

KolikMista pouze ukázka vyhrazeného místa

DSP číslicové zpracování signálů – Digital Signal Processing

f_{vz} vzorkovací kmitočet

Zoznam príloh

A	Některé příkazy balíčku <code>thesis</code>	27
A.1	Příkazy pro sazbu veličin a jednotek	27
A.2	Příkazy pro sazbu symbolů	27
B	Druhá příloha	28
C	Příklad sazby zdrojových kódů	29
C.1	Balíček <code>listings</code>	29
D	Obsah elektronické přílohy	32

A Některé příkazy balíčku thesis

A.1 Příkazy pro sazbu veličin a jednotek

Tab. A.1: Přehled příkazů pro matematické prostředí

Příkaz	Příklad	Zdroj příkladu	Význam
<code>\textind{...}</code>	β_{\max}	<code>\$\beta_{\textind{max}}\$</code>	textový index
<code>\const{...}</code>	U_{in}	<code>\$\const{U}_{\textind{in}}\$</code>	konstantní veličina
<code>\var{...}</code>	u_{in}	<code>\$\var{u}_{\textind{in}}\$</code>	proměnná veličina
<code>\complex{...}</code>	u_{in}	<code>\$\complex{u}_{\textind{in}}\$</code>	komplexní veličina
<code>\vect{...}</code>	\mathbf{y}	<code>\$\vect{y}\$</code>	vektor
<code>\mat{...}</code>	\mathbf{Z}	<code>\$\mat{Z}\$</code>	matice
<code>\unit{...}</code>	kV	<code>\$\unit{kV}\$</code> či <code>\unit{kV}</code>	jednotka

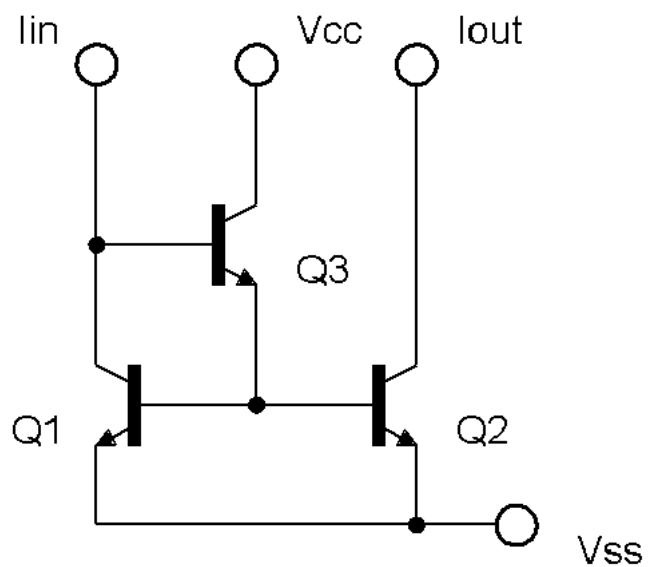
A.2 Příkazy pro sazbu symbolů

- `\E`, `\eul` – sazba Eulerova čísla: e ,
- `\J`, `\jmag`, `\I`, `\imag` – sazba imaginární jednotky: j , i ,
- `\dif` – sazba diferenciálu: d ,
- `\sinc` – sazba funkce: sinc ,
- `\mikro` – sazba symbolu mikro stojatým písmem¹: μ ,
- `\uppi` – sazba symbolu π (stojaté řecké pí, na rozdíl od `\pi`, což sází π).

Všechny symboly jsou určeny pro matematický mód, vyjma `\mikro`, jenž je použitelný rovněž v textovém módu.

¹znak pochází z balíčku `textcomp`

B Druhá příloha



Obr. B.1: Zlepšené Wilsonovo proudové zrcadlo.

Pro sazbu vektorových obrázků přímo v \LaTeX u je možné doporučit balíček **TikZ**. Příklady sazby je možné najít na [T_EXample](#). Pro vyzkoušení je možné použít programy QTikz nebo TikzEdt.

C Příklad sazby zdrojových kódů

C.1 Balíček listings

Pro vysázení zdrojových souborů je možné použít balíček `listings`. Balíček zavádí nové prostředí `lstlisting` pro sazbu zdrojových kódů, jako například:

```
\section{Balíček lstlistings}
Pro vysázení zdrojových souborů je možné použít
  balíček \href{https://www.ctan.org/pkg/listings}%
  {\texttt{listings}}.
Balíček zavádí nové prostředí \texttt{lstlisting} pro
  sazbu zdrojových kódů.
```

Podporuje množství programovacích jazyků. Kód k vysázení může být načítán přímo ze zdrojových souborů. Umožňuje vkládat čísla řádků nebo vypisovat jen vybrané úseky kódu. Např.:

Zkratky jsou sázeny v prostředí `acronym`:

```
6 \begin{acronym}[KolikMista]
```

Šířka textu volitelného parametru `KolikMista` udává šířku prvního sloupce se zkratkami. Proto by měla být zadávána nejdelší zkratka nebo symbol. Příklad definice zkratky f_{vz} je na výpisu C.1.

Výpis C.1: Ukázka sazby zkratek

```
21 \acro{symfvz} % název
22 [\ensuremath{f_{\text{vz}}}] % symbol
23 {vzorkovací kmitočety} % popis
```

Ukončení seznamu je provedeno ukončením prostředí:

```
26 \end{acronym}
```

Poznámka k výpisům s použitím volby jazyka `czech` nebo `slovak`:

Pokud Váš zdrojový kód obsahuje znak spojovníku `-`, pak překlad může skončit chybou. Ta je způsobená tím, že znak `-` je v českém nebo slovenském nastavení balíčku `babel` tzv. aktivním znakem. Přepněte znak `-` na neaktivní příkazem `\shorthandoff{-}` těsně před výpisem a hned za ním jej vraťte na aktivní příkazem `\shorthandon{-}`. Podobně jako to je ukázáno ve zdrojovém kódu šablony.

Na výpisu C.2 naleznete příklad kódu pro Matlab, na výpisu C.3 zase pro jazyk C.

Výpis C.2: Příklad Schur-Cohnova testu stability v prostředí Matlab.

```
1 %% Příklad testování stability filtru
2
3 % koeficienty polynomu ve jmenovateli
4 a = [ 5, 11.2, 5.44, -0.384, -2.3552, -1.2288];
5 disp( 'Polynom:'); disp(poly2str( a, 'z'))
6
7 disp('Kontrola pomocí kořenů polynomu:');
8 zx = roots( a);
9 if( all( abs( zx) < 1))
10     disp('System je stabilní')
11 else
12     disp('System je nestabilní nebo na mezi stability');
13 end
14
15 disp(' '); disp('Kontrola pomocí Schur-Cohn:');
16 ma = zeros( length(a)-1,length(a));
17 ma(1,:) = a/a(1);
18 for( k = 1:length(a)-2)
19     aa = ma(k,1:end-k+1);
20     bb = fliplr( aa);
21     ma(k+1,1:end-k+1) = (aa-aa(end)*bb)/(1-aa(end)^2);
22 end
23
24 if( all( abs( diag( ma.'))))
25     disp('System je stabilní')
26 else
27     disp('System je nestabilní nebo na mezi stability');
28 end
```

Výpis C.3: Příklad implementace první kanonické formy v jazyce C.

```

// první kanonická forma
short fxdf2t( short coef[][5], short sample)
{
    static int v1[SECTIONS] = {0,0}, v2[SECTIONS] = {0,0};
    int x, y, accu;
    short k;

    x = sample;
    for( k = 0; k < SECTIONS; k++){
        accu = v1[k] >> 1;
        y = _sadd( accu, _smpy( coef[k][0], x));
        y = _sshl(y, 1) >> 16;

        accu = v2[k] >> 1;
        accu = _sadd( accu, _smpy( coef[k][1], x));
        accu = _sadd( accu, _smpy( coef[k][2], y));
        v1[k] = _sshl( accu, 1);

        accu = _smpy( coef[k][3], x);
        accu = _sadd( accu, _smpy( coef[k][4], y));
        v2[k] = _sshl( accu, 1);

        x = y;
    }
    return( y);
}

```

D Obsah elektronické přílohy

Elektronická příloha je často nedílnou součástí semestrální nebo závěrečné práce. Vkládá se do informačního systému VUT v Brně ve vhodném formátu (ZIP, PDF ...).

Nezapomeňte uvést, co čtenář v této příloze najde. Je vhodné okomentovat obsah každého adresáře, specifikovat, který soubor obsahuje důležitá nastavení, který soubor je určen ke spuštění, uvést nastavení kompilátoru atd. Také je dobře napsat, v jaké verzi software byl kód testován (např. Matlab 2018b). Pokud bylo cílem práce vytvořit hardwarové zařízení, musí elektronická příloha obsahovat veškeré podklady pro výrobu (např. soubory s návrhem DPS v Eagle).

Pokud je souborů hodně a jsou organizovány ve více složkách, je možné pro výpis adresářové struktury použít balíček `dirtree`.

```
/ .....kořenový adresář přiloženého archivu
├── logo .....loga školy a fakulty
│   ├── BUT_abbreviation_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── BUT_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── FEEC_abbreviation_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── FEKT_zkratka_barevne_PANTONE_CZ.pdf
│   ├── UTKO_color_PANTONE_CZ.pdf
│   ├── UTKO_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── VUT_barevne_PANTONE_CZ.pdf
│   ├── VUT_symbol_barevne_PANTONE_CZ.pdf
│   └── VUT_zkratka_barevne_PANTONE_CZ.pdf
├── obrazky .....ostatní obrázky
│   ├── soucastky.png
│   ├── spoje.png
│   ├── ZlepseneWilsonovoZrcadloNPN.png
│   └── ZlepseneWilsonovoZrcadloPNP.png
├── pdf .....pdf stránky generované informačním systémem
│   ├── student-desky.pdf
│   ├── student-titulka.pdf
│   └── student-zadani.pdf
├── text .....zdrojové textové soubory
│   ├── literatura.tex
│   ├── prilohy.tex
│   ├── reseni.tex
│   ├── uvod.tex
│   ├── vysledky.tex
│   ├── zaver.tex
│   └── zkratky.tex
├── sablona-obhaj.tex .....hlavní soubor pro sazbu prezentace k obhajobě
├── sablona-prace.tex .....hlavní soubor pro sazbu kvalifikační práce
└── thesis.sty .....balíček pro sazbu kvalifikačních prací
```