

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

AEROWORKS: VIZUÁLNÍ SYSTÉM IDENTIFIKACE REŽIMŮ LETOUNU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

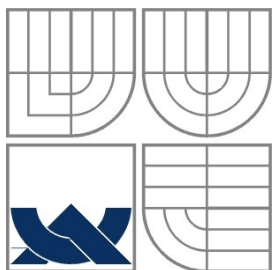
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

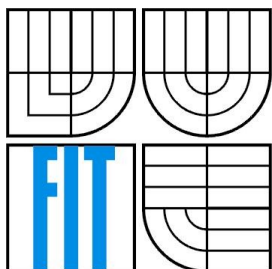
AUTHOR

JURAJ KARDOŠ

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

AEROWORKS: VIZUÁLNÍ SYSTÉM IDENTIFIKACE REŽIMŮ LETOUNU

AEROWORKS: VISUAL IDENTIFICATION OF AIRCRAFT FLIGHT REGIMES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JURAJ KARDOŠ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETER CHUDÝ, Ph.D. MBA

BRNO 2012

Abstrakt

Tato práce se zabývá vizuální detekcí režimů letounu. Obsahuje popis modelu prostorového pohybu letounu a způsoby vizualizace letových parametrů prostřednictvím letových přístrojů. Práce podává návrh systému pro vizuální detekci režimů letounu. Navrhnutý systém postupně zpracovává každou snímku ve dvou fázích, nejdřív vykoná stabilizaci videa a následně se provede vizuální identifikace hodnot ukazatelů stavových veličin letounu. Stabilizace videa je založená na detekci zájmových bodů a výpočtu optického toku. Snímky jsou transformovány tak aby se co nejvíce překrývali a minimalizoval se tak nežádoucí pohyb kamery. Detekce hodnot, zobrazovaných na letových přístrojích, je založená na Houghově transformaci. V práci je zahrnut popis vytvořené aplikace, která na videozáznamu z pilotní kabiny letounu dokáže rozpoznat hodnoty zobrazené na specifikovaných letových přístrojích.

Abstract

This Bachelor thesis deals with the visual identification of an aircraft flight's regimes. It describes the spatial motion of an airplane along with the visualization of flight parameters and also proposes a system for a flight regime visual identification. The system processes the input video on a frame by frame basis in two steps. Initially, the video is being stabilized and the system subsequently proceeds in identification of flight related quantities describing the current flight state. Video stabilization is based on feature points detection and an optical flow calculation. Video frames are transformed in order to achieve sufficient consecutive frames overlap and thus to minimize the parasitic oscillations of the video acquisition system. Identification of values indicated by flight instruments is based on the Hough line transform approach. The thesis also includes a description of an application that analyzes a video from the cockpit of an aircraft and is able to recognize the instrument values displayed on specified flight instruments.

Klíčová slova

Zájmové body, optický tok, stabilizace videa, Houghova transformace, letoun, letové parametry, letové přístroje, režimy letounu, vizualizace, strojové vidění, analýza videa, OpenCV.

Keywords

Feature points, optical flow, video stabilization, Hough transform, aircraft, flight parameters, flight instruments, aircraft flight regimes, visualization, computer vision, video analysis, OpenCV.

Citace

Kardoš Juraj: AeroWorks: Vizuální systém identifikace režimů letounu, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2012

AeroWorks: Vizuální systém identifikace režimů letounu

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Chudého Ph.D. MBA. Další informace mi poskytl Ing. Lukáš Polok. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Juraj Kardoš
14. května 2012

Poděkování

Ďakujem Ing. Petrovi Chudému, Ph.D. MBA za všetok svoj čas venovaný konzultáciám a za realizáciu experimentálneho letu. Ing. Lukášovi Polokovi ďakujem za odborné konzultácie.

© Juraj Kardoš, 2012.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

1	Úvod.....	2
2	Priestorový model pohybu lietadla a vizualizácia letových parametrov.....	3
2.1	Súradnicové systémy	3
2.2	Priestorový pohyb lietadla	4
2.3	Pohyb lietadla vzhľadom na prúdenie vzduchu.....	5
2.4	Vizualizácia letových veličín.....	7
3	Analýza video záznamu a metódy sledovania záujmových bodov	9
3.1	Detekcia záujmových bodov.....	9
3.2	Detekcia pohybu záujmových bodov.....	12
3.3	Detekcia úsečiek a priamok v obraze	13
3.4	Súčasný stav.....	16
3.4.1	Stabilizácia videa	16
3.4.2	Detekcia objektov vo videu a ich sledovanie.....	16
4	Návrh aplikácie vizuálnej detekcie	17
4.1	Požiadavky na aplikáciu	17
4.2	Stabilizácia videa	17
4.3	Detekcia hodnôt letových parametrov	19
4.3.1	Segmentácia videa	19
4.3.2	Oddelenie indikátorov hodnoty letových parametrov od pozadia	20
4.3.3	Detekcia indikátorov letových veličín	22
5	Implementácia a vyhodnotenie výsledkov	28
5.1	Implementácia aplikácie	28
5.2	Testovanie a vyhodnotenie výsledkov aplikácie	31
5.2.1	Vyhodnotenie stabilizácie videa	32
5.2.2	Vyhodnotenie vizuálnej detekcie.....	34
6	Záver	40

Kapitola 1

Úvod

Letecký priemysel je odvetvím s charakteristickým dôrazom na spoľahlivosť systémov riadenia letu a prístrojov zobrazujúcich hodnoty letových veličín. Pred tým, ako je zahájená sériová výroba nového modelu prebehne veľké množstvo testov letových systémov. Poslednou fázou testovania sú experimentálne lety. Počas týchto letov sú systémy lietadla monitorované elektronickými zariadeniami so súčasným záznamom stavových veličín popisujúcich priebeh letu.

V dôsledku požiadavku na možnosť porovnať výsledky týchto meraní s odozvou meraných veličín na letových prístrojoch, potrebujeme zaznamenať zobrazené hodnoty na letových prístrojoch. Túto informáciu by bolo možné získať tak, že pilot by počas letu tieto hodnoty pozoroval a zaznamenával ich ručne. Tento spôsob je však pre pilota značne nepohodlný a v niektorých prípadoch aj veľmi ťažko realizovateľný, napr. pri vykonávaní manévrov s veľkým preťažením. V tomto prípade by bolo ideálne použiť systém, ktorý by na základe videozáznamu z experimentálneho letu dokázal požadované údaje automaticky rozpoznať.

Experimentálne lety nie sú jedinou príležitosťou, kedy je potrebné získať hodnoty letových parametrov zobrazovaných na prístrojoch. Tieto údaje môžu byť potrebné napr. pri rekonštrukcii trajektórie letu a jeho následnej analýze. Vizualná detekcia je jedným z možných riešení ako tieto dáta získať. Navyše je to spôsob, ktorý je finančne veľmi dostupný. Ceny zariadení, ktoré by letové údaje dokázali zaznamenať sa pohybujú v rádoch stoviek tisíc korún a navyše sa oproti vizualnej detekcii vyznačujú radou nevýhod. Sú náchylné na elektromagnetické rušenie a vo väčšine prípadov vyžadujú zásah do palubnej inštalácie. U certifikovaných lietadiel je však akýkoľvek zásah do konštrukcie podmienený schválením úprav úradom pre civilné letectvo.

Nástroj vizualnej identifikácie režimov lietadla by bolo možné použiť aj v rámci iných prevádzkových konceptov. Mohol by slúžiť ako kontrola pilota v reálnom čase, napríklad dodržanie povolených maximálnych hodnôt letových parametrov vyplývajúcich z technickej konštrukcie lietadla alebo pri plnení príkazov pridelených riadiacou vežou.

Táto práca podáva návrh a implementáciu systému vizualnej detekcie režimov lietadla. Systém na videozázname letových prístrojov dokáže rozpoznať zobrazené hodnoty a podať ich užívateľovi prijateľným spôsobom.

Kapitola 2

Priestorový model pohybu lietadla a vizualizácia letových parametrov

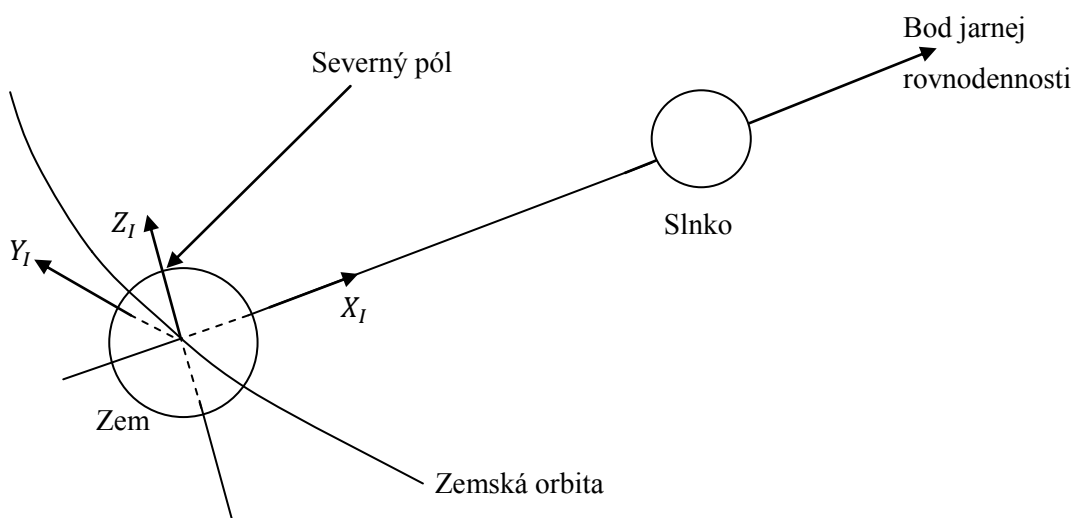
Pre správnu vizuálnu analýzu hodnôt ukazateľov letových parametrov je nutné sa najskôr oboznámiť s princípom zobrazovania týchto veličín. V tejto kapitole budú popísané rôzne letové prístroje nachádzajúce sa v pilotnej kabíne a bude popísaný spôsob, akým sú zobrazované hodnoty letových parametrov. Pre korektnú interpretáciu významu hodnôt reprezentujúcich pohyb lietadla, je dôležité definovať priestorový model jeho pohybu.

Podkapitoly 2.1-2.3 vychádzajú z normy [1].

2.1 Súradnicové systémy

Z dôvodu konceptu presnej navigácie vznikla potreba zaviesť notáciu podľa ktorej by bolo možné jednoznačne určiť poloha lietadla v priestore. V dôsledku vyššie uvedeného bolo štandardizovaných niekoľko súradnicových systémov, na základe ktorých sa poloha určuje.

Geocentrický inerciálny súradnicový systém má počiatok umiestnený v strede Zeme. Systém je určený vzhľadom na rovník a bod jarnej rovnodennosti. Os X_I je orientovaná smerom k stredu Slnka, ktorý v prípade jarnej rovnodennosti leží v rovine určenej Zemským rovníkom. Os Z_I ukazuje v smere zemského severného pólu a je paralelná s rotačnou osou Zeme. Os Y_I je doplnená tak aby jej orientácia bola v súlade s pravidlom pravej ruky.



Obrázok 2.1: Geocentrický inerciálny súradnicový systém (prevzaté z [1])

Geocentrický súradnicový systém fixný vzhľadom na Zem je systém, ktorý má počiatok v strede Zeme a súr. osi rotujú spoločne so zemským povrchom. Os X_G pretína zemský povrch v priesečníku Greenwichského poludníku a rovníku. Os Z_G je orientovaná paralelne s rotačnou osou Zeme smerom k severnému pólu a os Y_G dopĺňa tento systém tak, aby splňoval pravidlo pravej ruky. Systém je označovaný aj ako ECEF.

Geocentrický normálový súradnicový systém vychádza z vyššie uvedeného systému (ECEF). Jedinou zmenou je orientácia osi Z_G , ktorá je opačne orientovaná, smeruje teda smerom do stredu Zeme. Osi systému sa značia $x_0y_0z_0$ ($x_gy_gz_g$).

Normálový súradnicový systém s počiatkom v ťažisku lietadla je súradnicový systém, ktorého osi sú orientované rovnakým smerom ako osi korešpondujúceho normálového systému fixného vzhl'adom na Zem, ale počiatok systému je umiestnený v ťažisku (hmotnom bode reprezentujúcom lietadlo) a pohybuje sa spolu s lietadlom. Používa sa rovnaké značenie osí ako u geocentrického normálového systému fixného vzhl'adom na Zem, $x_0y_0z_0$ ($x_gy_gz_g$).

2.2 Priestorový pohyb lietadla

Lietadlo môže za letu voľne rotovať okolo hmotného bodu, reprezentujúceho stred hmoty lietadla. Na základe tohto poznatku môžeme definovať trojrozmerný súradnicový systém s počiatkom v tomto bode. Osi tohto systému sú definované nasledovne (viď. Obrázok 2.2):

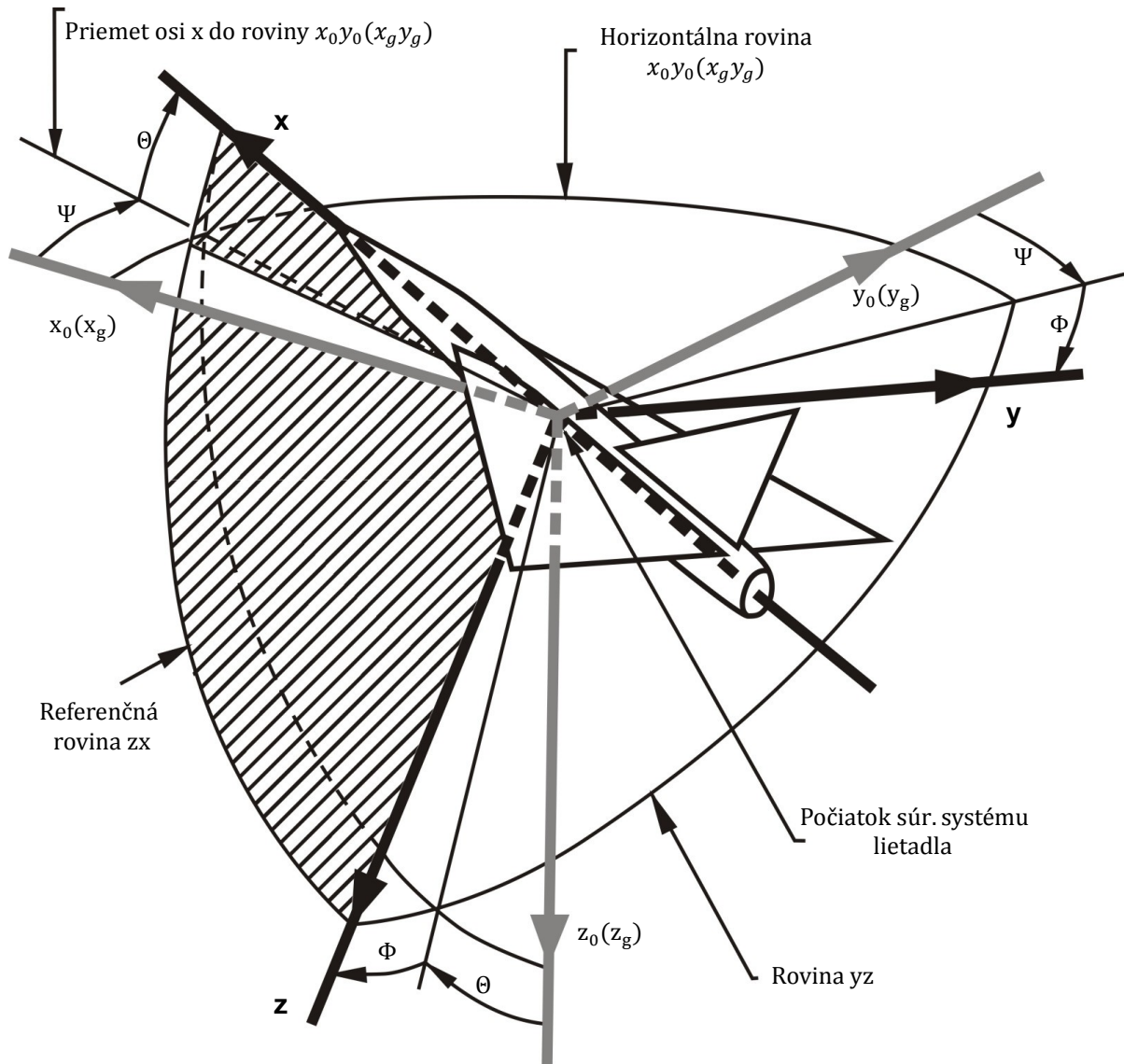
- os x smeruje z počiatku systému smerom k nosu lietadla,
- os y leží v rovine krídel, kladná časť leží v rovine pravého krídla,
- os z je kolmá na rovinu krídel a smeruje smerom pod lietadlo.

Súradnicový systém lietadla je fixný vzhl'adom na orientáciu lietadla, rotuje spoločne s lietadlom. K vymedzeniu presnej orientácie lietadla v priestore sa používajú polohové uhly bočenie, klopenie, klonenie. Tieto uhly označujú tri rotácie systému $x_0y_0z_0$ ($x_gy_gz_g$) s počiatkom v ťažisku lietadla definovanými tak, aby sa jeho osi prekrývali s osami súr. systému lietadla xyz :

Bočenie (angl. *yaw*) definuje rotáciu okolo osi bočenia $z_0(z_g)$, tak aby sa os $x_0(x_g)$ prekrývala s priemetom osi x do horizontálnej roviny x_0y_0 (x_gy_g). Jednoducho povedané, je to pohyb nosu lietadla vpravo a vľavo. Ako pozitívna hodnota sa berie rotácia smerom vpravo z pohľadu pilota. Bočenie sa riadi vychyľovaním smerového kormidla a používa sa k zmene smeru letu. Podľa konvencie sa uhol bočenia udáva v rozmedzí $-\pi < \Psi \leq \pi$.

Klopenie (angl. *pitch*) definuje pohyb okolo osi klopenia $y_0(y_g)$. Je to priečna os lietadla ležiaca v rovine krídel. Hodnota klopenia sa udáva relatívne k lokálnemu horizontu. Ako pozitívna rotácia sa berie hodnota pri ktorej chvost lietadla klesá a predok lietadla stúpa. Klopenie sa riadi výškovým kormidlom a používa sa hlavne pri stúpaní a klesaní. Hodnota sa udáva v rozmedzí $-\frac{\pi}{2} < \Theta \leq \frac{\pi}{2}$.

Klonenie (angl. *roll*) definuje natočenie lietadla okolo osi klonenia $x_0(x_g)$, tak aby sa vychýlená os $y_0(y_g)$ zarovnala s osou y . Hodnota sa taktiež udáva vzhl'adom na horizont a ako pozitívna hodnota sa berie rotácia kedy pravé krídlo klesá. Klonenie je možné docieľiť vychýlením krídeliek, ktoré pracujú párovo – ak je jedno hore, druhé je dole. Vychýlením krídeliek sa dosahuje rozdielneho vztľaku na krídlach, čím je spôsobená rotácia lietadla okolo osi klonenia. Klonenie sa používa pri zmene kurzu lietadla. Udáva sa v rozmedzí $-\pi < \Phi \leq \pi$.



Obrázok 2.2: Polohové uhly lietadla Ψ , θ a Φ určujúce jeho orientáciu v priestore. (Prevzaté z [1])

2.3 Pohyb lietadla vzhľadom na prúdenie vzduchu

Pohyb lietadla je možné chápať aj ako pohyb hmotného bodu, ktorý je braný ako referenčný bod dynamickej sústavy. Pri pohybe lietadla vzhľadom na prúdenie vzduchu berieme do úvahy tieto uhly:

Uhol nábehu (angl. *attack angle*) je definovaný ako uhol medzi referenčnou líniou krídla a vektorom, ktorý udáva relatívny smer vetra. Uhol nábehu je kladný, ak vzduch prúdi na krídlo zo smeru pod jeho vzťažnou osou. Od uhla nábehu závisí sila pôsobiaca na krídla lietadla a tým aj celkový vztlak. Podľa konvencie sa udáva v rozmedzí $-\pi < \alpha \leq \pi$.

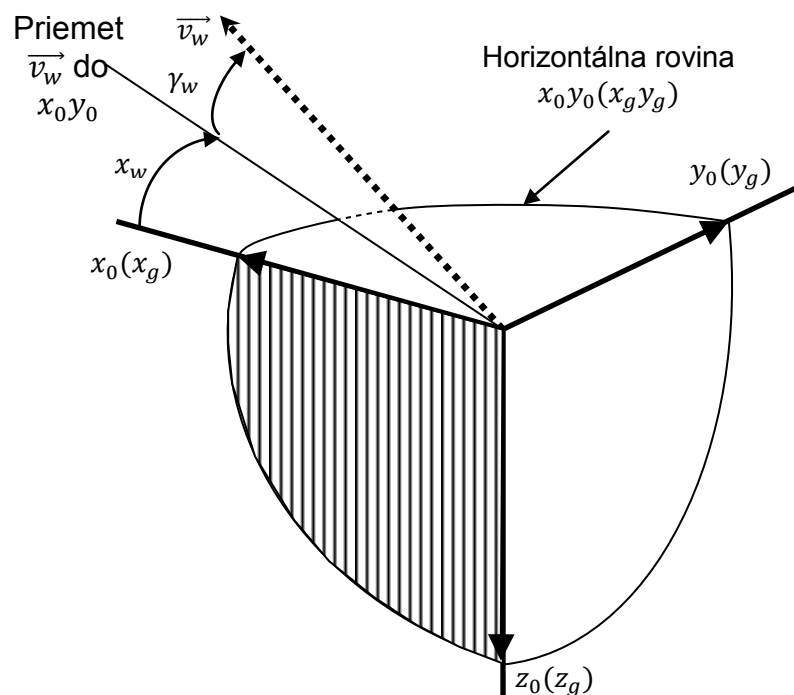
Uhol vybočenia (angl. *sideslip angle*) je určený pozdĺžnou osou lietadla a relatívnym smerom vetra. Uhol vybočenia je kladný v prípade, keď prúd vzduchu dopadá na pravú stranu lietadla. Hodnota uhlu vybočenia sa udáva v rozmedzí $-\frac{\pi}{2} \leq \beta \leq \frac{\pi}{2}$.

Vektor prúdenia vzduchu a jeho orientácia

Orientácia vektoru prúdenia vzduchu \vec{v}_w je v normálovom súradnicovom systéme fixnom vzhľadom na Zem $x_0y_0z_0$ ($x_gy_gz_g$) definovaná pomocou smerového a výškového uhlu.

Smerový uhol vetru (angl. *wind azimuth angle*) značený x_w je uhol medzi kladnou časťou súr. osi x a priemetom vektora prúdenia vzduchu do horizontálnej roviny (viď. Obrázok 2.1). Ako kladná hodnota sa berie uhol v smere hodinových ručičiek. Udáva sa v rozmedzí $0 \leq x_w \leq 2\pi$.

Výškový uhol prúdenia vzduchu (angl. *wind elevation angle*) γ_w je uhol medzi vektorom prúdenia vzduchu a horizontálnou rovinou. Má kladnú hodnotu ak je orientovaný smerom nahor. Jeho hodnota sa udáva v rozpätí $-\frac{\pi}{2} \leq \gamma_w \leq \frac{\pi}{2}$.



Obrázok 2.3: Smer vetra vzhľadom na Normálový súradnicový systém fixný vzhľadom na Zem (prevzaté z [1])

Rýchlosť lietadla

Skutočná rýchlosť (angl. *true airspeed, TAS*) je definovaná ako rýchlosť lietadla vzhľadom na masu vzduchu, v ktorej sa lietadlo pohybuje. TAS sa vypočíta ako rozdiel medzi rýchlosťou lietadla vzhľadom na povrch Zeme a rýchlosťou vetra. Prístroje na palube lietadla však TAS určujú na základe statického a dynamického tlaku a teploty okolitého vzduchu.

Indikovaná rýchlosť (angl. *indicated airspeed, IAS*) je rýchlosť, ktorú ukazuje rýchlomer na palube lietadla. Zisťuje sa na základe tlakov z pitot-statickej trubice.

2.4 Vizualizácia letových veličín

Po tom ako sme si definovali priestorový model pohybu lietadla môžeme sa zamerať na spôsoby vizualizácie jednotlivých letových veličín. Každá zmena pohybu lietadla sa prejaví na hodnotách indikovaných palubnými prístrojmi v pilotnej kabíne. Najčastejšie používané prístroje na zobrazovanie letových veličín sú nasledovné:



Rýchlomer

Indikuje rýchlosť lietadla voči okolitému vzduchu. Rýchlosť sa najčastejšie udáva v *uzloch (kt)* alebo *km/h*. Stupnica môže byť farebne označená, rozdelená do troch zón – zelená, žltá a červená zóna. Zelená zóna označuje rozsah bezpečnej letovej rýchlosti, žltá časť začína maximálnou normálnou dovolenou rýchlosťou a končí maximálnou prípustnou rýchlosťou. Za žltou zónou sa nachádza červená zóna označujúca kritickú rýchlosť. Rýchlosť je odvodená z dynamického tlaku, ktorý sa získa z pitot-statického systému.



Výškomer

Zobrazuje výšku, v ktorej sa lietadlo nachádza. Hodnota výšky sa najčastejšie udáva v *stopách (feet)* alebo v *metroch*. Výška je odvodená na základe hodnoty tlaku okolitého vzduchu. Pri tlakovom výškomere je možné nastaviť referenčný bod – najčastejšie sa používa pre zobrazovanie nadmorskej výšky alebo výšky nad úrovňou letiska. Výškomer môže taktiež môže fungovať ako laserový a rádiolokačný, kedy sa výška odvodí na základe doby zachytenia odrazeného signálu.



Variometer

Ukazuje rýchlosť stúpania resp. klesania, najčastejšie sa udáva v *m/s*, *ft/min* alebo *km/h*. Princíp funkcie variometru je podobný tlakovému výškomeru. Rozdiel je v tom, že funkcia prístroja je založená na meraní veľkosti zmeny statického tlaku okolitého vzduchu. Z tejto hodnoty je následne možné odvodiť rýchlosť stúpania resp. klesania.



Umelý horizont

Zobrazuje skutočnú vodorovnú rovinu, bez ohľadu na dynamické sily pôsobiace na lietadlo. Umelý horizont zohľadňuje klopenie a klonenie lietadla. Umelý horizont sa skladá z troch častí: dvoch polgulí reprezentujúcich zem a vzduch a indikátorov znázorňujúcich orientáciu lietadla vzhľadom k horizontu. Prístroj funguje na princípe gyroskopického zotrvačníka.



Zatáčkomer

Indikuje rýchlosť a smer zatáčky. Ak sa profil lietadla nakloní smerom ku značke „L“ pilot zatáča doľava, „R“ znamená zatáčku doprava a keď lietadlo pilot nezatáča profil lietadla zostáva vo vodorovnej polohe. Poloha tmavej bubliny v trubičke informuje pilota o sklze pri vykonávaní zatáčky. Zatáčkomer nachádza uplatnenie hlavne pri presnom lietaní (napr. pri vykonávaní štandardnej otáčky). Prístroj funguje na princípe zotrvačníka.

Kapitola 3

Analýza video záznamu a metódy sledovania záujmových bodov

V tejto kapitole budú prezentované základne princípy analýzy video záznamu a metódy potrebné k rozpoznaní ukazateľov letových veličín v pilotnej kabíne a hodnôt, ktoré sú na nich zobrazené.

3.1 Detekcia záujmových bodov

Základnou myšlienkou pri analýze video záznamu je detekcia určitých objektov na scéne a ich sledovanie medzi jednotlivými snímkami tvoriacimi video záznam. Každý sledovaný objekt obsahuje istú množinu bodov, ktoré je možné na sekvencii po sebe idúcich snímkov vždy jednoznačne identifikovať. Pokiaľ objekt samotný takéto body neobsahuje, ich vznik je možné zabezpečiť označením objektu tzv. „markermi“, značkami výrazne odlišnými od pozadia. Ak dokážeme sledovať pohyb týchto jednoznačných bodov, dokážeme sledovať aj objekty reprezentované týmito bodmi. Takéto jednoznačné body sa nazývajú záujmové body (angl. *feature point, corner*) [3].

Úvodný problém spočíva v tom, ktoré body prehlásiť za záujmové a ako ich identifikovať. Je zrejmé, že ak za záujmový bod prehlásime pixel, ktorý je veľmi podobný so svojim okolím, bude veľmi náročné ten istý bod nájsť aj v nasledujúcom video snímku. Ak však vyberieme bod, ktorý je v rámci snímku, resp. určitej časti snímku unikátny, pravdepodobnosť opätovného nájdenia takéhoto bodu je značne vyššia ako v predchádzajúcom prípade. Záujmový bod sa teda musí výrazne líšiť od bodov vo svojom bezprostrednom okolí.

Detektor záujmových bodov

Harris v [3] definuje záujmový bod ako pixel s veľkou zmenou intenzity vo všetkých smeroch. Záujmový bod je definovaný ako matica smerových derivácií druhého rádu intenzít snímku s veľkými hodnotami.

$$(\partial^2 x, \partial^2 y, \partial x \partial y) \quad (1)$$

Nosným princípom tejto metódy je voľba malej časti obrázku, okna $w(x, y)$ a jeho posunutie $I(x + u, y + v)$ oproti pôvodnému obrázku $I(x, y)$ a vypočítanie chyby E , ktoré spôsobí posunutie okna $w(x, y)$ o u, v :

$$E(u, v) = \sum_{x, y} w(x, y) [I(x + u, y + v) - I(x, y)]^2 \quad (2)$$

Hľadáme tie časti obrázku, v ktorých je rozdiel intenzít I spôsobený miernym posunutím okna dostatočne veľký, tj. $E(u, v)$ má čo najväčšiu hodnotu. Posunuté okienko $I(x + u, y + v)$ aproximujeme Taylorovou radou pričom do úvahy berieme iba parciálne derivácie prvého rádu, ostatné zanedbáme:

$$E(u, v) \approx \sum_{x, y} w(x, y) [I(x, y) + uI_x + vI_y - I(x, y)]^2 \quad (3)$$

Po odčítaní $I(x, y)$ a následnom umocnení dostaneme:

$$E(u, v) \approx \sum_{x,y} w(x, y) [u^2 I_x^2 + 2uv I_x I_y + v^2 I_y^2] \quad (4)$$

Rovnicu (4) prepíšeme do maticového tvaru:

$$E(u, v) \approx [u \ v] M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (5)$$

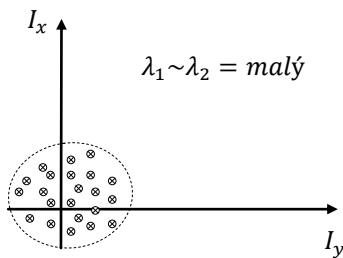
kde M je:

$$M = \sum w(x, y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

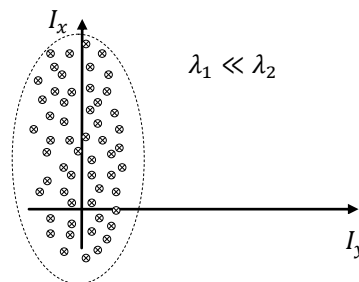
Váhové okno $w(x, y)$ v najjednoduchšom prípade určuje či sa daný pixel nachádza v okne alebo mimo neho, tj. či sa pixel berie do úvahy pri počítaní zmeny intenzity posunutých častí obrázku. Najčastejšie sa používa Gaussove váhové okno, ktoré zabezpečí to, že pixely v blízkosti stredu okna a najviac ovplyvňujúce výpočet, majú najväčšiu váhu. Váha pixlov v smere od stredu okna exponenciálne klesá.

Podľa Harrisovej definície [3] sú záujmové body tie časti obrázku, kde matica M druhých derivácií má dve veľké vlastné čísla (angl. *eigenvalue*). Tieto čísla môžu byť chápané ako veľkosť hlavnej a vedľajšej polosi λ_1, λ_2 elipsy, ktorá ohraničuje smerové derivácie I_x, I_y . Pixle snímku môžeme na základe hodnôt λ_1, λ_2 klasifikovať na:

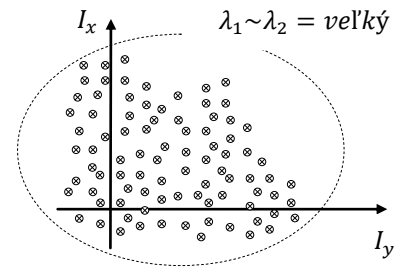
- oblasti bez výraznej zmeny intenzity (Obr. 3.1)
- oblasti so zmenou intenzity v jednom smere (Obr. 3.2)
- oblasti s veľkou zmenou intenzity vo všetkých smeroch (Obr. 3.3)



Obrázok 3.1: Oblasť bez výraznej zmeny intenzity.



Obrázok 3.2: Oblasť so zmenou intenzity v jednom smere.



Obrázok 3.3: Oblasť s veľkou zmenou intenzity vo všetkých smeroch.

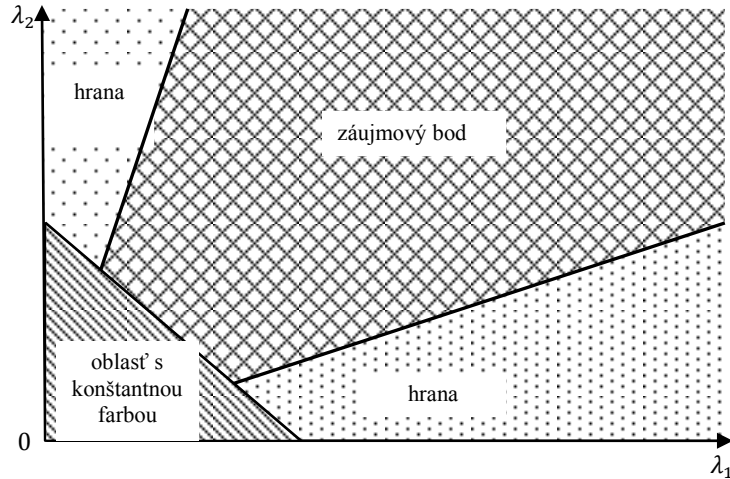
Harris [3] určuje záujmový bod na základe hodnoty R , ktorá musí byť väčšia ako nejaká určená hodnota, prah. Hodnota R je vypočítaná pre každý pixel snímku na základe posúvania malého lokálneho okna. R sa vypočíta ako:

$$R = \det M - k(\text{trace} M)^2 \quad (7)$$

kde k je empiricky určená konštanta 0.04 – 0.06 a:

$$\det M = \lambda_1 \lambda_2 \quad (8)$$

$$\text{trace} M = \lambda_1 + \lambda_2 \quad (9)$$



Obrázok 3.4: Klasifikácia záujmových bodov podľa Harris na základe charakteristických hodnôt (prevzaté z [3])

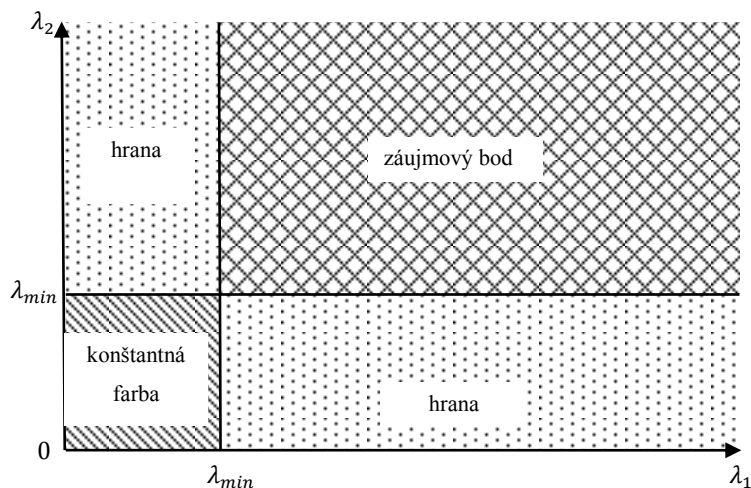
Modifikácia detektoru záujmových bodov

Shi a Tomasi [4] navrhli detektor záujmových bodov, ktorý má rovnaký princíp činnosti ako detektor navrhnutý Harrisom [3]. Jediná odlišnosť je v klasifikácii záujmových bodov na základe charakteristických hodnôt λ_1, λ_2 . Harris na základe charakteristických hodnôt počíta „skóre“ R , podľa ktorého sa rozhodne či bude daný pixel prehlásený za záujmový bod. Charakteristické hodnoty sa dosadia do funkcie ako parametre a tá vráti vypočítané ohodnotenie pre daný pixel. Shi a Tomasi navrhli, aby sa táto funkcia odstránila a aby sa rozhodovalo o tom, či má pixel vlastnosti záujmového bodu čisto na základe hodnôt charakteristických čísel.

Zmena je teda v počítaní „skóre“ R . Shi a Tomasi určujú R ako:

$$R = \min(\lambda_1, \lambda_2) \quad (10)$$

Shi a Tomasi experimentálne demonštrovali, že tento výpočet hodnotiaceho kritéria R vykazuje v mnohých prípadoch lepšie výsledky ako tie vypočítané pomocou Harrisovho hodnotiaceho kritéria.



Obrázok 3.5: Klasifikácia záujmových bodov podľa Shi-Tomasi na základe charakteristických hodnôt

3.2 Detekcia pohybu záujmových bodov

Ako bolo povedané v úvode kapitoly, objekty a scéna sú identifikované množinou záujmových bodov. Ak chceme sledovať pohybujúce sa objekty, musíme disponovať aparátom na sledovanie pohybu reprezentatívnych záujmových bodov.

Jedným zo spôsobov ako detekovať pohyb na snímku je optický tok. Optický tok sa snaží pre každý pixel obrazu zistiť akým smerom sa daný pixel pohybuje medzi snímkami videozáznamu. Táto metóda je výpočtovo veľmi náročná a nerieši problém s oblasťami vyplnenými konštantnou farbou, v ktorých sa nedokáže odhaliť pohyb. Tento výpočet, ktorý zisťuje pohyb pre každý pixel sa v literatúre nazýva hustý optický tok (*dense optical flow, DOF*).

Existuje však aj metóda nazývaná riedky optický tok (*sparse optical flow, SOF*), ktorá zisťuje pohyb iba pre niektoré pixle obrazu. Ideálne body na sledovanie sú tie, ktoré je možné jednoznačne identifikovať na postupnosti videosnímkov. Túto vlastnosť splňujú záujmové body. Táto verzia optického toku sa snaží nájsť zobrazenie čo najväčšej podmnožiny záujmových bodov z jedného snímku na čo najväčšiu podmnožinu záujmových bodov z druhého snímku. Najpoužívanejšou technikou *SOF* je metóda Lucas-Kanade.

Metóda Lucas-Kanade

Máme danú množinu bodov, u ktorej budeme pre zjednodušenie uvažovať jednoprvkový charakter. Metóda Lucas-Kanade [2] sa pre zadaný bod $[u_x, u_y]^T$ v snímku I_1 snaží nájsť taký bod $[u_x + \Delta x, u_y + \Delta y]^T$ v snímku I_2 , ktorý minimalizuje ε :

$$\varepsilon(\Delta x, \Delta y) = \sum_{x=u_x-w_x}^{u_x+w_x} \sum_{y=u_y-w_y}^{u_y+w_y} (I_1(x, y) - I_2(x + \Delta x, y + \Delta y)), \quad (11)$$

kde w je lokálne okno vrámci ktorého sa snažíme detekovať pohyb. Lucas-Kanade ďalej uvažuje splnenie týchto predpokladov:

1. **Konštantná svetlosť.** Pixel na nejakom objekte v scéne nemení svoj vzhlád pri pohybe medzi snímkami. Pre obrázky v stupňoch šedi to znamená, že pixel si pri pohybe zachová svoj stupeň šedi (Lucas-Kanade taktiež môže byť aplikovaný na farebné obrázky).
2. **Temporálna perzistencia** alebo *malé pohyby*. Pohyb sledovaných objektov je relatívne pomalý vzhlľadom na snímkovú frekvenciu videozáznamu. tj. pohyb objektu medzi snímkami je malý.
3. **Priestorová koherencia.** V praxi to znamená, že susediace body na scéne patria jednému objektu, pohybujú sa podobne a sú priemetnuté v tesnej blízkosti vedľa seba na priemetni.

Na základe predpokladov 1. a 2. môžeme pre pohyb sledovaného pixlu v jednorozmernom priestore odvodiť vzťah:

$$I_x v + I_t = 0, \quad (12)$$

kde I_x je priestorová derivácia cez prvý obrázok, I_t je zmena medzi obrázkami v čase a v je hľadaná rýchlosť pohybu. Rýchlosť v je v rovnici (12) jedinou neznámou, preto nebude zložitú ju dopočítateľ. Po zovšeobecnení rovnice pre pohyb v dvojrozmernom priestore dostaneme:

$$I_x v_x + I_y v_y + I_t = 0 \quad (13)$$

I_x a I_y sú priestorové derivácie v smere osí x a y , I_t je podobne ako v jednorozmernom priestore zmena medzi obrázkami v čase. Neznámymi v rovnici sú zložky rýchlosti v smere osí x , y v_x a v_y . Máme teda jednu rovnicu s dvomi neznámymi. Východiskom z tejto situácie je predpoklad č.3, priestorová koherencia. Ak sa skupina pri sebe ležiacich bodov pohybuje koherentne, potom môžeme

vypočítať pohyb centrálného pixlu zostavením sústavy rovníc. Ak napríklad použijeme lokálne okno veľkosti 5×5 okolo centrálného pixlu, pre výpočet jeho pohybu zostavíme sústavu 25 rovníc.

$$\underbrace{\begin{bmatrix} I_x(p_1) & I_y(p_1) \\ I_x(p_2) & I_y(p_2) \\ \vdots & \vdots \\ I_x(p_{25}) & I_y(p_{25}) \end{bmatrix}}_A \underbrace{\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix}}_d = - \underbrace{\begin{bmatrix} I_t(p_1) \\ I_t(p_2) \\ \vdots \\ I_t(p_{25}) \end{bmatrix}}_b \quad (14)$$

Tento systém má viac rovníc ako neznámych, preto sa k riešeniu použije metóda najmenších štvorcov, rieši sa teda minimalizovaná rovnica:

$$(A^T A)d = A^T b \quad (15)$$

Z rovnice (15) sme už schopní vypočítať zložky rýchlosti v_x a v_y . Po detailnejšom rozpísaní tejto rovnice dostaneme:

$$\begin{bmatrix} \sum I_x I_x & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y I_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \sum I_x I_t \\ \sum I_y I_t \end{bmatrix} \quad (16)$$

Po vyjadrení neznámych teda dostaneme vzťah pre výpočet hľadaného pohybu sledovaných pixlov:

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (17)$$

Táto rovnica je riešiteľná za predpokladu, že k $(A^T A)$ existuje inverzná matica $(A^T A)^{-1}$. Tá existuje vtedy, ak sú všetky stĺpce štvorcovej matice $(A^T A)$ lineárne nezávislé, tj. jej determinant je nenulový (takáto matica je označovaná aj ako regulárna matica). Táto vlastnosť je splnená ak matica obsahuje dva veľké vektory vlastných čísel (angl. *eigenvectors*). A tie bude obsahovať v prípade, keď lokálne okienko, v ktorom detekujeme pohyb, bude centrované okolo vybraného záujmového bodu.

Metóda Lucas-Kanade má však jeden nedostatok. Aby pracovala správne, pohyb objektov medzi snímkami musí byť pomalý a koherentný. Pri súčasnej situácii, kedy väčšina kamier sníma obraz na frekvencii 30Hz je však dodržanie týchto parametrov problémom. Ak chceme zachytiť rýchly pohyb musíme voliť veľké okno, ktoré však často porušuje predpoklad koherencie pohybu. Riešením tohto problému je použitie pyramíd obrázkov. Najskôr detekujeme pohyb na veľkých rozmeroch, globálne a postupne zostupujeme pyramídou dole až na úroveň jednotlivých pixlov.

3.3 Detekcia úsečiek a priamok v obraze

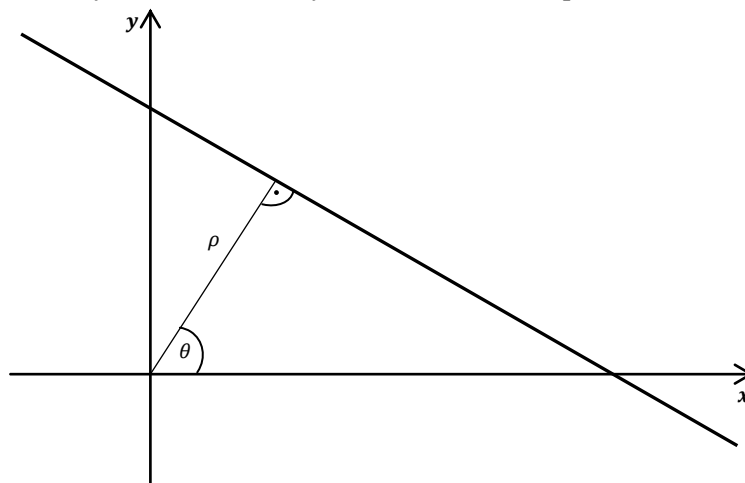
Nosnou časťou systému pre vizuálnu detekciu režimov lietadla je detekcia zobrazovaných hodnôt na letových prístrojoch. Ak predpokladáme klasické, analógové prístroje kruhového tvaru s inidátorom upevneným v strede prístroja a pohybujúcim sa okolo tohto fixného bodu tak detektor musí viesť tieto indikátory najsť a sledovať ich počas analýzy. Poloha indikátorov reprezentuje aktuálne hodnoty letových parametrov. Z hľadiska spracovania obrazu môžeme indikátory prístrojov definovať ako úsečky pohybujúce sa vo vopred známej ploche, určenou polohou konkrétneho letového prístroja. Detekciu teda môžeme zovšeobecniť na detekciu úsečiek, resp. priamok v obraze. Algoritmus určený k hľadaniu priamok v obraze je Houghova transformácia priamok (*Hough line transform*, HLT).

Houghova transformácia priamok

Základným princípom HLT [7] je transformovanie reprezentácie priamky v klasickom súradnom systéme (x, y) , definovanom osami x a y , do priestoru (θ, ρ) definovaného parametrami priamky. Pôvodná verzia tohto algoritmu [8] reprezentuje priamku pomocou parametrov k a q ako $y = kx + q$, kde k je smernica priamky a posunutie q označuje y -ovú súradnicu priesečníku priamky s osou y . Takáto reprezentácia priamky ale nie je pre účely algoritmu najvhodnejšia, pretože hodnoty oboch parametrov sú neohraničené, čo komplikuje aplikáciu transformácie. Duda a Hart v [7] preto navrhujú alternatívnu reprezentáciu priamky, tzv. normálová parametrizácia. Priamka je v tejto reprezentácii definovaná pomocou uhlu θ normály k priamke a vzdialenosti ρ priamky od počiatku súradného systému (viď. Obrázok 3.6). Rovnica priamky v tejto reprezentácii vyzerá nasledovne:

$$x \cos(\theta) + y \sin(\theta) = \rho \quad (18)$$

Ak bude uhol θ normály k priamke obmedzený na interval $< 0, \pi$) tak normálové parametre pre každú priamku budú jedinečné. Na základe tohto obmedzenia je každá priamka v súradnom systéme (x, y) reprezentovaná unikátnym bodom v súr. systéme definovanom parametrami θ a ρ .



Obrázok 3.6: Normálové vyjadrenie priamky pomocou parametrov θ a ρ (prevzaté z [7])

Predpokladajme množinu n bodov $\{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}$ nejakého obrázku pre ktoré chceme nájsť priamku, na ktorej ležia. Keď tieto body (x_i, y_i) transformujeme do súr. systému (θ, ρ) dostaneme množinu sínusoid definovaných ako:

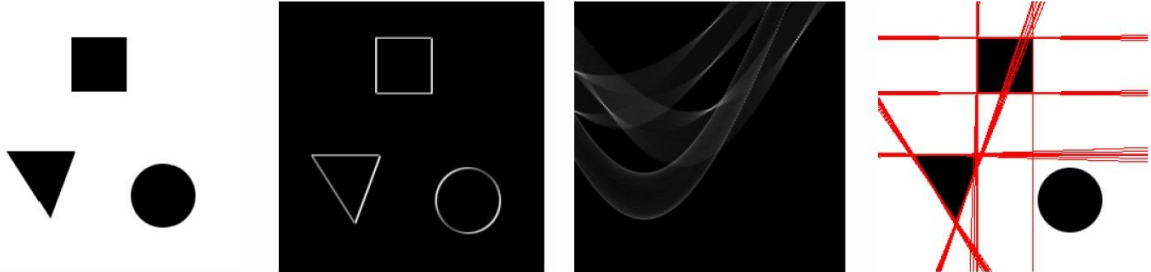
$$\rho = x_i \cos(\theta) + y_i \sin(\theta). \quad (19)$$

Každá jedna takáto sínusoida reprezentuje množinu všetkých potenciálnych priamok, ktoré prechádzajú bodom (x_i, y_i) . Takže hľadaná priamka v systéme (x, y) , ktorá prechádza všetkými n bodmi bude v súr. systéme (θ, ρ) reprezentovaná spoločným priesečníkom sínusoid. Inak povedané, body ležiace na jednej priamke v súradnom systéme (x, y) odpovedajú sínusoidám prechádzajúcimi nejakým spoločným bodom v systéme (θ, ρ) . Tento spoločný bod jednoznačne určuje priamku v systéme (x, y) , na ktorej tieto body ležia.

Aby sme našli všetky priamky v obraze, tak každý potenciálny pixel obrazu, ležiaci na nejakej priamke, transformujeme do súr. systému (θ, ρ) . Vo všeobecnosti, n sínusoid sa bude pretínať v $n(n - 1)/2$ bodoch reprezentujúcich priamky medzi všetkými dvojicami bodov. Tento prístup je výpočtovo veľmi náročný, zložitosť rastie kvadraticky s počtom bodov v obraze. V praxi sa používa kvantifikácia roviny (θ, ρ) na mriežku akumulátorov. Pre každý bod (x_i, y_i) v pôvodnom súr. systéme je do mriežky akumulátorov vložená jemu odpovedajúca sínusoida, daná vzťahom (19), prírastkom hodnoty v príslušných bunkách mriežky. Bunky tejto mriežky teda zaznamenávajú počet sínusoid, ktoré daným bodom prechádzajú. Ak hodnota akumulátoru na pozícii (θ_i, ρ_i) obsahuje hodnotu k , znamená to, že na priamke reprezentovanej parametrami (θ_i, ρ_i) leží práve k bodov. K nájdeniu

priamok vo vstupnom obrázku stačí nájsť lokálne maximá v mriežke akumulátorov, ktoré sú väčšie ako nejaká konštanta. Tieto maximá reprezentujú hľadané priamky vo vstupnom obrázku.

Prístup, kedy sa kvantifikuje rovina súr. systému (θ, ρ) síce znižuje výpočetnú zložitosť ale iba za cenu zmenšenia presnosti. Veľkosť chyby závisí na hustote mriežky akumulátorov, čím hustejšia mriežka tým väčšia presnosť. Na druhej strane si však treba uvedomiť, že príliš hustá mriežka opäť zvyšuje výpočtovú zložitosť, treba preto zvoliť vyvážený pomer medzi presnosťou a zložitosťou výpočtu.



Obrázok 3.7: Princíp HLT: na vstupnom obrázku (a) sa nájde množina potenciálne kolineárnych bodov (b), a tie sa transformujú do súr. systému (θ, ρ) (c). Vizualizácia nájdených priamok (d). (Prevzaté z [9])

3.4 Súčasný stav

Táto podkapitola obsahuje zhrnutie súčasného stavu a používaných prístupov k stabilizácii videa a detekcii objektov vo videu.

3.4.1 Stabilizácia videa

Hlavným cieľom stabilizácie videa je odstránenie nechceného pohybu kamery pri snímaní obrazu. V poslednom období nachádza stabilizácia uplatnenie hlavne na poli mobilných technológií. Kvalita optiky v týchto zariadeniach dosiahla výrazného zlepšenia, čo spôsobilo prudký nárast ich popularity. Mobilné zariadenia sú prevažne používané bežnými užívateľmi, ktorí natáčajú videá v neprofesionálnych podmienkach, držaním kamery v ruke. Kvalita takýchto videí je tak značne degradovaná nechceným trasľavým pohybom, ktorý je potreba eliminovať.

K odstráneniu, prípadne k minimalizácii nechceného pohybu kamery existuje viacero prístupov. Morimoto [10] navrhuje použiť 2D model pohybu tuhého objektu, zloženého zo základných transformácií obrazu (translácia, rotácia atď.) v kombinácii s použitím pyramídálnej štruktúry k nájdeniu vektorov pohybu obrazu na sub-pixelovej úrovni. Litvin [11] uplatnil pravdepodobnostný model pohybu kamery a aplikoval Kalmanov filter [2] k redukcii neželaného pohybu kamery. Chang [5] prezentuje prístup k sledovaniu objektov na základe optického toku, vypočítaného medzi snímkami videa. Pohyb kamery je odhadnutý na základe jednoduchého afinitého modelu s použitím metódy najmenších štvorcov. Pohyb kamery je eliminovaný transformovaním snímok videa na základe vypočítanej afinítnej transformácie. Hu a kol. [12] predkladá prístup k stabilizácii videa pomocou invariantných vlastností obrazu (SIFT) nezávislých na mierke obrazu a jeho transformáciách. Tieto vlastnosti sú použité k odhadu pohybu kamery, pričom rozlišuje nechcenú vibráciu kamery od jej úmyselného pohybu. Hu sa zaoberá aj kompenzáciou nevyplnených miest obrazu, spôsobených stabilizáciou obrazu. K rekonštrukcii týchto oblastí používa rozšírenú mozaikovú metódu.

3.4.2 Detekcia objektov vo videu a ich sledovanie

Podobne ako u stabilizácie videa aj v tejto oblasti bol spôsobený rozmach vývoja zlepšením kvality video zariadení a ich cenovou dostupnosťou pre širšiu verejnosť. Detekcia objektov a ich sledovanie má veľmi široké spektrum využitia, zatiaľ však nachádza uplatnenie prevažne v oblasti bezpečnostných a monitorovacích zariadení (napr. sledovanie pohybu osôb, automobilov, atď.).

Základným prístupom k sledovaniu objektov je ich oddelenie od pozadia a následne vyhodnotenie pohybu. Tento postup používa Wang a kol., vo svojej práci [13] sa sledovaním pohybujúcich objektov snažia dosiahnuť efektívnejšiu kompresiu videa v štandarde MPEG-4. Po oddelení objektov od pozadia sa pre objekty vypočítajú parametre na základe ich veľkosti, pozície, rozloženia stupňov šedi a prítomnosti textúr na objektoch. Sledovanie objektov medzi snímkami videa je založené na systéme pravidiel a hodnote parametrov jednotlivých objektov. Weng a kol. [14] sledujú objekty na základe extrakcie ich dominantnej farby a použitia adaptívneho Kalmanovho filtra [2] k predikcii pohybu objektu. K počiatkovej detekcii objektov používajú takzvaný semi-automatický systém, kde je od užívateľa aplikácie vyžadované aby označil pohybujúce sa objekty ktoré chce sledovať. Gu a Lee [15] predkladajú návrh systému, ktorý sa zameria na nejaký konkrétny objekt a ten potom sleduje. Detekcia objektov prebieha v dvoch fázach: najskôr prebehne segmentácia obrazu s učiteľom (angl. *supervised frame segmentation*), kde sa nájdu presné hranice objektu na základe kombinácie asistencie človeka a morfológického segmentačného nástroja. V druhej fáze sa objekty hľadajú na základe odhadu globálneho pohybu a pozície objektu na predchádzajúcom snímku.

Kapitola 4

Návrh aplikácie vizuálnej detekcie

Táto kapitola popisuje predpokladané použitie aplikácie a podmienky, v ktorých by mala aplikácia vedieť správne pracovať. V ďalšej časti kapitoly je popis návrhu aplikácie pre vizuálnu detekciu stavového popisu režimov lietadla, kde je popísaný princíp činnosti a spôsoby detekcie jednotlivých letových prístrojov.

4.1 Požiadavky na aplikáciu

Primárnou požiadavkou na funkčnosť aplikácie je vizuálna detekcia režimov lietadla, tj. rozpoznanie hodnôt zobrazovaných na letových prístrojoch v pilotnej kabíne. Aplikácia má na vstupe videozáznam letových prístrojov a jej cieľom je rozpoznanie hodnôt zobrazovaných na týchto prístrojoch. Výstupom aplikácie je súbor s detekovanými hodnotami, prípadne upravený videozáznam s vyznačenými indikátormi. Takto upravený videozáznam bude možné použiť pri spätnej kontrole správnosti detekcie.

Videozáznam z pilotnej kabíny nie je štandardnou záležitosťou, preto aplikácia nemôže počítať s vysokou kvalitou videozáznamu. Naopak, musí predpokladať, že kvalita záznamu bude pomerne nízka, vo vysokej miere sa bude prejavovať chvenie kamery a taktiež sa bude meniť osvetlenie scény. Aplikácia musí zvládať stavy s veľkými zmenami jasů videozáznamu. Letové prístroje na videu môžu byť dočasne prekryté rukami pilota dotýkajúceho sa prístrojovej dosky, napr. pri vykonávaní potrebných letových úkonov. Vizuálna detekcia by mala takéto situácie rozpoznať a po odznení poruchového príznaku bezporuchovo pokračovať v detekcii.

Zmýšľané použitie aplikácie je v oblasti rekonštrukcie priebehu letu, s analýzou videozáznamu po ukončení letovej činnosti posádky. Aplikácia teda nemusí nutne spracovať videozáznam v reálnom čase, no vzhľadom na použiteľnosť aplikácie je dôležité, aby analýza prebehla čo najrýchlejšie. Pre použiteľnosť je taktiež dôležité aby aplikácia dokázala analyzovať čo najväčší rozsah letových prístrojov s čo najväčšou citlivosťou.

4.2 Stabilizácia videa

Videozáznam letových prístrojov, natočený počas letu v pilotnej kabíne, je vplyvom mechanických záchvevov a vonkajších síl roztrasený a destabilizovaný. Takéto poruchy môžu byť spôsobené poryvmi vetra počas letu alebo pohybom lietadla po nerovnom povrchu pri pohybe po letiskových prevádzkových plochách. Ďalším faktorom, spôsobujúcim výrazné chvenie kamery, sú vibrácie od motora. Tie pôsobia na celú konštrukciu lietadla. Vplyv faktorov spôsobujúcich chvenie obrazu vo videozázname, je prakticky nemožné úplne eliminovať, preto je nutná korekcia samotného videa. Fakt, že video bude pred samotnou fázou detekcie hodnôt letových parametrov stabilizované znateľne uľahčí realizáciu tejto detekcie. Môžeme predpokladať, že pozícia analyzovaných letových prístrojov sa medzi snímkami videozáznamu nebude meniť a stačí ak ich polohu zistíme iba na začiatku analýzy.

Stabilizácia videa je realizovaná tak, že v každom snímku sa nájdu záujmové body a vypočíta sa posun týchto bodov medzi dvomi po sebe idúcimi snímkami. Tento posun je potom kompenzovaný posunutím druhého obrázku tak, aby sa čo najviac prekrýval s prvým obrázkom.

Výsledky a kvalita stabilizácie závisia na povahe algoritmu detekcie záujmových bodov. Pohyb kamery je určený na základe pohybu nájdených záujmových bodov medzi snímkami videozáznamu, preto by v ideálnom prípade na každom snímku mali byť nájdené rovnaké body. Ak algoritmus vyberie body, ktoré sú podobné svojmu okoliu je veľmi málo pravdepodobné, že rovnaké body budú nájdené aj v ďalšom snímku. Z tohto pohľadu je nutné, aby algoritmus vyberal unikátne body v rámci ich okolia. Takýmto algoritmom je detektor záujmových bodov navrhnutý Harrisom [3], prípadne jeho mierna modifikácia [4].



Obrázok 4.1: Nájdené záujmové body pri použití algoritmu *Shi-Tomasi*

Vo video snímku v čase t sa teda pomocou algoritmu *Shi-Tomasi* nájde množina záujmových bodov. Aby bolo možné určiť ich pohyb je nutné poznať ich pozíciu v nasledujúcom snímku, v čase $t + 1$. Pozícia bodov v snímku $t + 1$ je zistená výpočtom riedkeho optického toku *SOF* metódou *Lucas-Kanade* [5]. Tá sa pre danú množinu záujmových bodov v prvom obrázku snaží nájsť čo najväčšiu množinu zodpovedajúcich záujmových bodov v druhom obrázku. Ak je teda na videozázname zobrazená vhodná scéna, na ktorej sú statické objekty a pohyb scény je spôsobený nestabilnou kamerou, na základe vypočítaného pohybu záujmových bodov je možné obraz stabilizovať. Videozáznam prístrojov z pilotnej kabíny je takýmto vhodným záznamom.

Máme teda určené záujmové body v prvom snímku a nim odpovedajúce body v druhom snímku. Poslednou fázou stabilizácie je nájdenie zobrazenia, homografie, medzi týmito bodmi a následná spätná transformácia druhého obrázku podľa nájdenej homografie. Cieľom spätnej transformácie je aby sa druhý obrázok čo najpresnejšie zobrazil na prvý obrázok a eliminoval sa tak pohyb spôsobený roztrasenou, nestabilnou kamerou. V ideálnom prípade stabilizovaného videa by sa mali snímky úplne prekrývať a rozdiel by mal byť nulový, resp. mal by sa prejaviť iba v pohybujúcich sa ručičkách prístrojov.

4.3 Detekcia hodnôt letových parametrov

Detekcia hodnôt letových parametrov, zobrazovaných na letových prístrojoch, je rozdelená do niekoľkých fáz. Prvou fázou je segmentácia videa, v ktorej sa určí pozícia letových prístrojov na obraze. Túto pozíciu je možné získať priamo od užívateľa aplikácie, výzvou aby na obraze určil polohu letových prístrojov alebo je možný pokus o ich automatickú detekciu. Druhou fázou detekcie je oddelenie indikátorov letových veličín, ručičiek, od pozadia prístrojov. Odstránené pozadie prístrojov uľahčí detekciu orientácie indikátorov letových veličín, ktorá prebieha v tretej fáze. V poslednej fáze prebehne verifikácia, ktorá na základe niekoľkých predchádzajúcich hodnôt overí, či sú výsledky detekcie správne.

4.3.1 Segmentácia videa

K segmentácii videa sa dá pristupovať dvomi diametrálne odlišnými spôsobmi. Buď sa detektor pokúsi o automatické nájdenie pozície letových prístrojov alebo sa tento krok ponechá na užívateľovi a vyžaduje sa od neho ručná definícia pozície jednotlivých prístrojov. Oba prístupy majú svoje silné, ale aj slabé stránky. Ideálnym riešením by bol systém, ktorý by sám dokázal správne rozpoznať letové prístroje a určiť ich presnú polohu. Dosiahnutie takýchto výsledkov však nie je triviálnou záležitosťou a vyžadovalo by to implementovať nielen robustný systém samotnej detekcie, ale aj spoľahlivý verifikátor na overenie správnosti rozpoznania prístrojov. Druhým extrémom je ponechanie určenia polohy prístrojov v plnom rozsahu na užívateľovi, predstavuje to pre neho nadbytočnú prácu a degradovalo by to použiteľnosť nástroja pre vizuálnu detekciu režimov lietadla. Najlepším riešením je zlúčenie oboch prístupov. Systém sa pokúsi o automatickú detekciu letových prístrojov na základe apriórnej znalosti ich geometrie (kruhového tvaru) a od užívateľa sa bude očakávať kontrola týchto výsledkov a určenie typu jednotlivých prístrojov. Dosiahne sa tým zníženie požiadaviek na užívateľa a zároveň aj na zložitosť segmentačného nástroja pričom sa zachová jeho robustnosť.



Obrázok 4.2: Automatická detekcia polohy letových prístrojov

4.3.2 Oddelenie indikátorov hodnoty letových parametrov od pozadia

Zmyslom tejto fázy je odstránenie pozadia prístrojov (číselnej stupnice, nápisov, atď.) a extrahovania iba tých častí letových prístrojov nesúcich informáciu o aktuálne zobrazovanej hodnote. Na takto upravenom obraze bude jednoduchšie detekovať úsečky reprezentujúce ručičky prístrojov a ostatné časti prístrojov nesúce informáciu o zobrazovanej hodnote letových parametrov.

Existuje viacero prístupov ako dosiahnuť odstránenie pozadia. Implementačne najjednoduchším riešením je odčítanie pozadia, kedy sa vezme vopred pripravené pozadie a to sa odčíta od aktuálnej snímky. Výsledok je taký, že na obraze ostanú iba indikátory prístrojov. Tento prístup však vyžaduje mať vopred pripravené pozadie prístrojov, ktoré by musel užívateľ vytvoriť a vložiť do aplikácie. Prípadne by bolo už vopred pripravené, ale v tom prípade by použiteľnosť aplikácie bola obmedzená iba na konkrétny rozsah typov letových prístrojov. Ďalšou požiadavkou tejto techniky je dokonale stabilizované video. Aj ten najmenší posun medzi aktuálnou snímku a pozadím pri odčítaní vo výsledku spôsobí zvýraznenie hrán. Z výsledkov stabilizácie (tabuľka 5.1) je vidieť že nechcené roztrasenie obrazu je minimalizované, no nie nulové. Táto technika je teda nepoužiteľná.

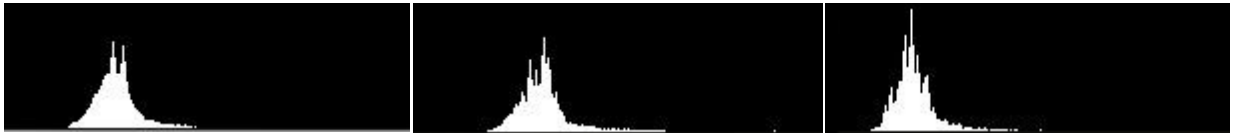
Druhým možným spôsobom je mierna úprava techniky odčítania pozadia. Úprava spočíva v tom, že nebudeme od aktuálnej snímky odčítat vopred pripravené pozadie ale predchádzajúcu snímku. Tým dosiahneme nezávislosť aplikácie od vopred pripravených pozadí prístrojov. Hlavnou myšlienkou tohto prístupu je, že pohybujúca ručička mierne mení svoju pozíciu v sérii po sebe idúcich záberov. Pri ich vzájomnom odčítaní sa prejaví v zvýraznených hranách ručičky na základe ktorých by sa dal detekovať jej pohyb. Táto technika však vyžaduje dokonale stabilizované video, pretože nestabilizované video by vo výsledku spôsobilo zvýraznenie hrán aj v prípade, keď sa ručička medzi snímkami nehýbe a obsahovala by vysokú mieru šumu.

Ani jeden z uvedených prístupov teda nie je samostatne použiteľný kvôli nedokonalej stabilizácii. Je teda žiaduce zvoliť prístup, kedy nám mierny pohyb scény medzi snímkami nevadí. Ak vezmeme do úvahy fakt, že pri prevedení obrázku do stupňov šedi je ručička vlastne skupina pixelov s vysokou intenzitou farby môžeme použiť prahovanie obrázku. Tento postup síce nedokáže odstrániť kompletne celé pozadie, hlavne číselnú stupnicu na prístroji, keďže tá je tiež tvorená pixelmi s pomerne vysokou intenzitou. To by však pri použití kvalitného detektoru čiar na obraze nemalo vadit'. Výsledky prahovania sú silno závislé na voľbe hodnoty prahu. Je zrejmé, že ak zvolíme príliš nízky prah, výsledný obraz bude obsahovať vysokú mieru šumu a pri vysokej hodnote prahu nebude možné správne rozpoznať ručičky na obraze. Navyše je potreba myslieť na to že jas obrazu sa s postupom času môže meniť, preto bude treba v priebehu detekcie meniť hodnotu prahu.

Pre použiteľné výsledky prahovania musíme vybrať vhodnú hodnotu prahu a v priebehu detekcie ju aktualizovať podľa intenzity osvetlenia scény. Na obraze potrebujeme ponechať iba skupinu pixelov s čo najväčšou intenzitou. V programe je výber prahu realizovaný tak, že sa nájde maximum v histograme a to sa spriemeruje s dvomi susednými hodnotami z každej strany. Cieľom počítania priemernej hodnoty je odstránenie ostrých špičiek v histograme a získanie maxima približne hladkej krivky. Od nájdeného maxima sa potom postupuje smerom k väčším indexom histogramu (na obrázku 4.3 smerom vpravo) a vezme sa päť po sebe idúcich hodnôt. Z týchto hodnôt sa vypočíta priemer, opäť kvôli vyhladeniu obrysovej krivky, a pokiaľ je táto hodnota menšia ako súčin spriemerovanej max. hodnoty a relatívnej hodnoty $H_r(20)$ tak index hodnoty prostredného člena z aktuálnej päťice je prehlásený za vhodný prah.

$$\frac{1}{5} \sum_{i=j}^{j+4} H_i < \max(H) H_r \quad (20)$$

Relatívna hodnota maxima H_r je empiricky určená konštanta a jej hodnotu som určil ako $H_r = 0.04$. Táto hodnota sa dá interpretovať tak, že prah je definovaný v mieste, kde početnosť pixlov s rovnakou intenzitou klesne pod 4% početnosti maxima histogramu. Táto konštanta sa v programe ďalej adaptívne prispôbuje intenzite osvetlenia scény.



Obrázok 4.1: Histogram obrazu a jeho zmena v priebehu detekcie: (a)snímka č.1 (b)snímka č.1500 (c)snímka č.3000



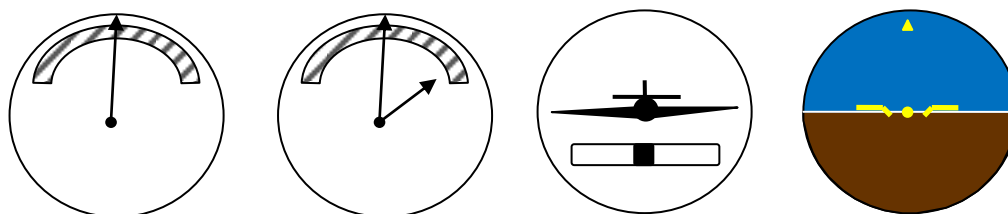
Obrázok 4.2: Prístroje a ich indikátory po vykonaní prahovania

4.3.3 Detekcia indikátorov letových veličín

Predpokladajme, že prebehla automatická detekcia polohy prístrojov a užívateľ vykonal prípadné korekcie, určil typ jednotlivých prístrojov a indikátory letových veličín boli oddelené od pozadia. Z hľadiska vizuálnej detekcie potrebujeme rozlišovať spôsob akým je reprezentovaná hodnota na danom letovom prístroji a podľa tohto spôsobu zvoliť vhodnú metódu detekcie. Musíme rozlišovať minimálne medzi týmito spôsobmi zobrazovania hodnoty letových parametrov:

- Prístroje s jedným indikátorom pohybujúcim sa okolo fixného bodu (napr. variometer, rýchlomer a prístroj zobrazujúci otáčky motoru).
- Prístroj s dvomi indikátormi pohybujúcimi sa okolo fixného bodu (napr. výškomer).
- Zatačkomer, ktorý obsahuje profil lietadla¹ nakláňajúceho sa okolo fixného bodu a priečny relatívny sklonomer, v ktorom sa pohybuje čierna guľôčka.
- Umelý horizont, ktorý obsahuje rotujúcu guľu s farebne odlišenou hornou a dolnou polgouľou. Hranica medzi polgouľami určuje orientáciu lietadla vzhľadom na horizont.

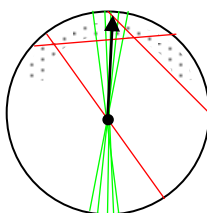
Aby nástroj vizuálnej detekcie režimov lietadla dokázal určiť jeho letový režim, musí vedieť identifikovať hodnoty hore uvedených letových prístrojov.



Obrázok 4.3: Schematický náčrt analyzovaných prístrojov

Detekcia hodnoty na prístrojoch s jedným rotujúcim indikátorom

Detekcia hodnoty zobrazovanej na tomto type prístrojov je plne založená na detekcii úsečiek, resp. detekcii priamok. Na obrázok sa nastaví maska ROI a odstráni sa všetko okrem vnútornej oblasti prístroja. Zmyslom odstránenia vonkajšej oblasti prístroja je to, aby do výpočtu histogramu bola zahrnutá iba relevantná oblasť prístroja a aby bol určený vhodný prah. Po tom ako sa vykoná prahovanie obrázku nasleduje detekcia priamok. K nájdeniu čiar na obraze je použitý algoritmus Houghovej transformácie [7].



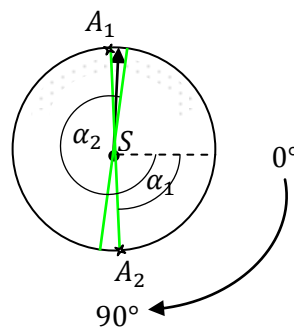
Obrázok 4.4: Schematický náčrt nájdených čiar. Správne nájdené čiary (zelená farba) a nesprávne detekované čiary vplyvom zašumenia obrázku (červená farba).

Detekcia priamok je nastavená s vysokým dôrazom na detail. To sa potenciálne negatívne prejavuje v tom, že na obraze dochádza k nesprávnej detekcii priamky. Tieto nepresnosti sú spôsobené nepresným oddelením indikátorov od pozadia v prípade, keď sa nepodarilo úplne odstrániť pozadie prístrojov. Hlavne číselné stupnice prístrojov sa nedajú úplne eliminovať, pretože majú

¹ pohľad spoza lietadla

podobnú intenzitu farby ako samotné indikátory letových veličín. Takto nesprávne určené priamky je však možné odfiltrovať, jednak na základe ich vzdialenosti od rotačnej osi indikátoru a následne na základe ich orientácie. Ak sa nájdená priamka príliš líši od ostatných nájdených čiar, prípadne od polohy indikátoru na predchádzajúcej snímke, môžeme ju prehlásiť za nesprávne detekovanú a ďalej ju pri spracovaní neuvažovať.

Nesprávne orientované priamky teda dokážeme pomerne presne určiť a odstrániť ich. Oстане nám tak iba množina správne nájdených priamok. Tieto priamky však nemusia byť rovnako orientované (viď. Obrázok 4.7) a už vôbec nemusia byť orientované v smere indikátoru. Určenie správnej orientácie detekovanej priamky (uhol α alebo $180^\circ + \alpha$) prebieha na základe počtu pixlov s maximálnou intenzitou na obrázku s odstráneným pozadím pod dostatočne širokými úsečkami $|SA_1|$ a $|SA_2|$. Úsečka začína v strede S kružnice reprezentujúcej prístroj a A_1, A_2 sú priesečníky kružnice s nájdenou priamkou. Za správnu orientáciu nájdenej priamky sa určí orientácia úsečky, ktorá prekrýva viac pixlov s maximálnou intenzitou. Tieto pixle sa vyskytujú hlavne v oblasti výskytu indikátoru. Na obrázku 4.7 by to bol uhol $\alpha_1 + 180^\circ$ a uhol α_2 .



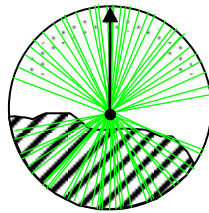
Obrázok 4.5: Príklad možnej orientácie nájdených priamok

Tento spôsob určovania orientácie však nie je nutný v každom snímku. A to na základe predpokladu, že indikátory prístrojov sa medzi dvoma po sebe idúcimi snímkami neotočia o celých 180° . Ak uvažujeme štandardných 25-30 snímkov za sekundu, znamenalo by to že v priebehu 0,03s by sa meraná veličina musela radikálne zmeniť a to v praxi nie je bežné. Stačí teda ak sa vyššie opísaným spôsobom určí orientácia nájdených priamok iba na začiatku analýzy videa, pre niekoľko prvých snímkov. Pre ďalšie snímky sa orientácia určí na základe polohy indikátoru v predchádzajúcom snímku.

Prefiltrované nájdené priamky so správne určenou orientáciou sú ďalej spracované tak, že sa určí ich priemerný uhol orientácie a ten je prehlásený za potenciálny uhol natočenia indikátoru letového prístroja v aktuálnom snímku. Verifikácia detekcie spočíva v porovnaní potenciálneho uhlu orientácie s uhlom natočenia indikátoru v predchádzajúcom snímku a pokiaľ sa potenciálny uhol príliš neodlišuje prehlási sa za novú polohu indikátoru. V prípade že by sa potenciálny uhol indikátoru príliš odlišoval od predchádzajúcej snímky, tj. líšil by sa o viac ako 10° aplikuje sa vyhladenie pohybu. Indikátor sa v tom prípade posunie o 5° v smere nájdeného potenciálneho uhlu. Toto vyhladenie pohybu zabezpečí, že sa zmierni kmitanie úsečiek reprezentujúcich hľadaný indikátor.

Ďalej môže nastať situácia, kedy na snímku nie sú zdetekované žiadne priamky. V takomto prípade sa použije nájdená orientácia indikátoru z predchádzajúcej snímky. Tento spôsob aproximácie hľadanej hodnoty je výpočtovo veľmi nenáročný a pomerne presný. Ale iba v prípade, že výpadok nastane raz za čas. Ak sa žiadne priamky nenájdu na viacerých snímkach po sebe program na to zareaguje postupným znižovaním hodnoty prahu obrázku. Zníženie prahu spôsobí, že indikátory budú na obrázku zreteľnejšie, no zvýši sa aj miera nežiaduceho šumu.

V programe sa tiež uvažuje s náhodným prekrytím indikátorov cudzím objektom. Aby sa mohla správne určiť počiatočná poloha indikátoru musí byť prístroj na začiatku analýzy na niekoľkých snímkach plne viditeľný. Prekrytie prístroja cudzím objektom je možné rozpoznať na základe veľkého množstva nájdených priamok. Zvyčajne sa na prístroji detekuje niekoľko jednotiek až desiatok priamok, no v prípade prekrytia prístroja toto číslo prudko vzrastie, do rádov stoviek. Keď takáto situácia nastane, nastaví sa príznak potenciálneho prekrytia prístroja a ďalej pokračuje spracovanie nájdených priamok bežným spôsobom. Po uplynutí istého času, zhruba 2s sa skontroluje počet nájdených priamok a spočítajú sa ich štatistické vlastnosti – priemerný uhol orientácie a jeho rozptyl. Ak je rozptyl nájdených priamok menší ako 20° a ich počet opäť klesol do normálnych hodnôt prístroj je prehlásený za plne viditeľný a vypočítaný priemerný uhol orientácie reprezentuje orientáciu indikátoru prístroja.



Obrázok 4.6: Čiastočné prekrytie prístroja cudzím objektom spôsobí prudký nárast množstva nájdených priamok

Detekcia hodnoty na prístrojoch s dvoma rotujúcimi indikátormi

Detekcia hodnoty zobrazovanej na prístrojoch s dvoma rotujúcimi indikátormi má množstvo črt zhodných s prístrojmi s jedným indikátorom. Detekcia je plne založená na detekcii priamok, eliminácia nesprávne nájdených čiar je navrhnutá rovnako, tak ako aj určenie orientácie nájdených čiar. V čom sa však analýza tohto prístroja líši je roztriedenie nájdených čiar do dvoch skupín a určenie ku ktorému indikátoru čiary patria.

K detekcii hodnoty na tomto prístroji môžeme pristupovať dvomi spôsobmi. Prvým možným prístupom je sledovanie oboch indikátorov počas analýzy celého videa. Tento prístup si vyžaduje určenie oboch zhlukov nájdených čiar reprezentujúcich indikátory pri spracovaní každého video snímku. V programe sa rozlišuje hľadanie zhlukov na prvom snímku analýzy a v ostatných snímkach. Po nájdení počiatočnej polohy sa k určeniu príslušnosti do zhuku využíva informácia o polohe indikátoru na predchádzajúcom snímku. Počiatočné hľadanie zhlukov prebieha tak, že nájdené priamky sa najskôr usporiadajú podľa ich uhlu natočenia, priamka s najmenším natočením je zaradená do prvého zhuku a ďalej sa postupuje podľa nasledujúceho pseudokódu:

```

while (uholAktuálnejPriamky = nájdenéPriamky.get_first())
{
    if (uholAktuálnejPriamky - uholPredchádzajúcejPriamky > 10°)
        nájdenýNovýZhuk++;

    if (nájdenýNovýZhuk == 0)
        zhuk1.push(uholAktuálnejPriamky)
    else if (nájdenýNovýZhuk == 1)
        zhuk2.push(uholAktuálnejPriamky)
    else
        viacZhukov = true;
}

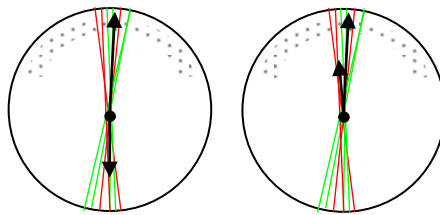
```

```

    uholPredchádzajúcejPriamky = uholAktuálnejPriamky;
}

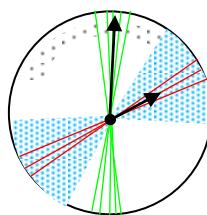
```

Toto počiatkové hľadanie sa opakuje až dokiaľ sa nenájdu presne dva zhluky priamok. Ak sa nepodari nájsť tieto dva zhluky počas analýzy niekoľko prvých snímok postupne sa začne upravovať hodnota prahu akumulátoru v algoritme Houghovej transformácie čiar. Takto sa ovplyvní hodnotiace kritérium, podľa ktorého sa algoritmus rozhoduje, či bude skupina pixlov na obraze prehlásená za priamku. Situácia sa však skomplikuje ak sa nájdené priamky oboch indikátorov prekrývajú a nedajú sa jednoznačne rozdeliť do dvoch zhlukov (viď. obrázok 4.9). Tento prípad je riešený tak, že počiatkové zhľukovanie sa opakuje až dokým sa nenájdu dva jednoznačné zhluky.



Obrázok 4.7: Schematický náčrt nájdených čiar, ktoré sa prekrývajú a nedajú sa jednoznačne rozdeliť do dvoch zhlukov pri počiatkovom hľadaní zhlukov (zelené čiary reprezentujú dlhší indikátor, červené náležia ku kratšiemu)

Po definitívnom nájdení počiatkových zhlukov môžeme pristúpiť k zhľukovaniu nájdených priamok podľa polohy indikátoru na predchádzajúcom snímku. Princíp je zřejmý, porovnáme orientáciu nájdenej priamky s polohou oboch indikátorov na predchádzajúcom snímku a priamku priradíme do zhluku indikátoru s podobnou orientáciou. Problém však nastáva v prípade, že indikátory sa prekrývajú, tak ako je znázornené na obr. 4.9. Na základe faktu, že kratší indikátor sa vzhľadom na pohyb dlhšieho indikátoru pohybuje veľmi pomaly, je možné tento problém vyriešiť. Ak sa teda indikátory k sebe príliš priblížia, pohyb krátkeho indikátoru sa prestane sledovať, zafixuje sa na mieste a všetky nájdené priamky sú priradené dlhšiemu indikátoru. Kritická oblasť, v ktorej sa sleduje pohyb iba dlhšieho indikátoru, je znázornená na obrázku 4.10.



Obrázok 4.8: Schematický náčrt orientácie priamok, kedy bez problémov prebehne zhľukovanie na základe polohy indikátorov na predchádzajúcom snímku. Modrou farbou je zvýraznená kritická oblasť, do ktorej keď sa dostane dlhší indikátor tak pohyb kratšieho sa zafixuje a sleduje sa iba dlhší indikátor.

Druhý možný spôsob detekcie hodnoty na prístroji s dvoma indikátormi je taký, že na začiatku analýzy sa pokúsime o určenie zhlukov nájdených priamok rovnako ako vo vyššie popísanom postupe. Po počiatkovom nájdení zhlukov sa však postupuje odlišne, sleduje sa pohyb iba dlhšieho, rýchlejšie sa pohybujúceho indikátoru a pohyb kratšieho sa programovo dopyčíta. Sledovaním iba dlhšieho indikátoru sa odstránia problémy detekcie nastávajúce pri prekrytí indikátorov a celkovo sa tak zjednoduší implementácia programu. Dopyčítanie pohybu kratšieho indikátoru je realizované

identifikáciou zmeny orientácie dlhšieho indikátoru a podľa rovnice (21) určením zmeny orientácie kratšieho indikátoru.

$$\Delta_{short} = \Delta_{long} / 10 \quad (21)$$

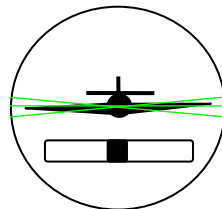
Detekcia hodnoty zobrazovanej na prístroji typu zatačkomer

Detekcia hodnoty zobrazovanej na zatačkomere sa skladá z dvoch na sebe nezávislých častí: detekcia rotácie profilu lietadla a polohy guľôčky priečného relatívneho sklonomeru. Rotácia profilu lietadla indikuje rýchlosť vykonávania zatačky. Sklz pri vykonávaní zatačky je reprezentovaný polohou tmavej guľôčky.

Detekcia rotácie profilu lietadla

Detekcia rotácie profilu lietadla je opäť založená na základe detekcie priamok v obraze pomocou Houghovej transformácie priamok. Krídla lietadla na prístroji síce nie sú perfektnou rovnou čiarou ale algoritmus Houghovej transformácie priamky hľadá na základe počtu bodov ležiacich na priamke a takých bodov je na krídlach lietadla dostatočne veľa. A keďže na obraze je aj po odstránení pozadia stále veľa bodov ležiacich na priamke, prah algoritmu Houghovej transformácie je nastavený na pomerne vysokú hodnotu pri porovnaní s hodnotou v algoritmoch hľadajúcich ručičky prístrojov. Je tak obmedzené množstvo nesprávne detekovaných priamok a presnosť algoritmu je tým zvýšená. Filtrácia nájdených priamok prebieha na základe ich vzdialenosti od rotačnej osi profilu lietadla.

Ďalšie spracovanie priamok spočíva vo vypočítaní ich priemernej orientácie. Pri detekcii polohy krídel profilu lietadla odpadá nutnosť určenia orientácie nájdených priamok, keďže profil sa nachádza v oboch poloviciach kruhu reprezentujúceho prístroj.



Obrázok 4.9: Nájdené priamky aproximujúce krídla profilu lietadla

Detekcia polohy guľôčky priečného relatívneho sklonomeru

Sklz pri vykonávaní zatačky je na prístroji indikovaný polohou tmavej guľôčky v trubici so svetlým pozadím. Keďže intenzita farby týchto dvoch častí prístroja sa od seba tak zreteľne odlišuje, je časť obrázku na ktorej je zobrazená trubička naprahovaná. Takto naprahovaný obraz je preložený dostatočne hrubou priamkou prechádzajúcou stredom trubice (viď. Obrázok 4.12) a hľadá sa jej časť, kde je najväčší počet tmavých pixlov. Tmavé pixle sa hľadajú iba v oblasti blízko stredu trubice, pretože jej kraje sú na obraze vo veľkej miere zašumené. Oblasť s najväčším počtom tmavých pixlov je prehlásená za aktuálnu polohu tmavej guľôčky.

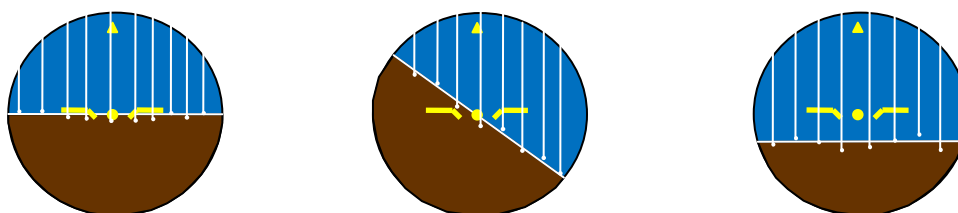


Obrázok 4.10: Určenie polohy tmavej guľôčky prebieha na základe počtu tmavých pixlov pod dostatočne širokou priamkou prechádzajúcou stredom priečného relatívneho sklonomeru a znázornenie zašumenia obrazu v okolí okrajov

Detekcia orientácie horizontu na prístroji umelý horizont

Letový prístroj umelý horizont sa z hľadiska vizuálnej analýzy skladá z troch častí: oblohy, znázornenej modrou farbou, zeme zobrazenou hnedou farbou a referenčných značiek žltej farby. Analýzu prístroja je založená práve na tomto farebnom rozložení prístroja.

Časť obrazu, na ktorom je tento prístroj, je prevedená z RGB farebného modelu do HSV. Tento prevod umožní presnejšie oddeliť časti prístroja na základe ich farebného odtieňa. Po oddelení jednotlivých častí sú určené body na vrchnej časti obvodu prístroja, z ktorých bude štartovať analýza farby (viď. Obrázok 4.13). Z týchto štartovacích bodov sa postupuje smerom zvislo nadol a sleduje sa farba pixlov, ktorými sa prechádza. Ak je pixel v určitom rozmedzí okolo dominantnej farby pokračuje sa ďalej. Postup smerom dolu sa zastaví až keď niekoľko pixlov po sebe bolo mimo rozmedzia dominantnej farby. V tom prípade sa analýza vráti do posledného bodu, ktorý bol v dovolenom rozpätí farby a prejde sa na ďalší štartovací bod na obode prístroja. Vplyvom zašumenia obrázku je hranica nejasná a preto sa nemusí skončiť presne na nej.



Obrázok 4.11: Hľadanie orientácie horizontu - z vrchnej polovice kružnice sa postupuje smerom zvislo nadol až pokiaľ na nezmení intenzita farby. Vplyvom zašumenia obrázku je hranica nejasná a nemusí sa skončiť presne na nej.

Zašumenie obrazu spôsobí, že oddelené oblasti obsahujú množstvo malých dier. Takto poškodený obraz je korigovaný tzv. rozšírením obrazu. Ak je na obrázku malá diera obklopená dominantnou farbou diera sa vyplní touto dominantnou farbou.



Obrázok 4.12: Korekcia dier na obrázku po oddelení častí prístroja na základe farby (obrázok znázorňuje obe časti polgule bez referenčných značiek)

Faktorom, ktorý ale spôsobuje väčšiu mieru nepresnosti analýzy ako zašumenie obrázku sú žlté referenčné značky na obrázku. Vo väčšine prípadov totiž prekrývajú hranicu medzi farebnými polgulami prístroja a nedá sa určiť do ktorej oblasti prekryté pixle patria. Spôsob, akým by sa dala zistiť hranica medzi oblasťami v prípade prekrytia je jej určenie na základe krajných oblastí, ktoré nikdy nemôžu byť prekryté. Toto riešenie je však veľmi nespoľahlivé, pretože na okrajových oblastiach sa vo vysokej miere prejavuje zlé osvetlenie scény (tiene) a zašumenie obrázku.

Po nájdení bodov, ležiacich približne na hranici oblastí, sú tieto body aproximované priamkou. K tomuto účelu je použitá metóda najmenších štvorcov, ktorá si dokáže poradiť aj s bodmi ležiacimi výrazne mimo potenciálnej priamky určenej ostatnými bodmi.

Kapitola 5

Implementácia a vyhodnotenie výsledkov

Táto kapitola obsahuje popis implementácie aplikácie vizuálnej identifikácie režimov lietadla. Taktiež sa zaoberá návrhom testov a vyhodnotením experimentov.

5.1 Implementácia aplikácie

Aplikáciu je implementovaná v jazyku C s použitím voľne dostupnej knižnice OpenCV. OpenCV je knižnica špeciálne zameraná na strojové videnie a poskytuje množstvo algoritmov pre prácu s obrázkami, videom a prostriedky na ich analýzu.

Aplikácia bola vyvíjaná na platforme Windows 7 s použitím OpenCV 2.1. Aplikácia sa skladá z troch modulov (vid'. Diagram 5.1). OpenCV poskytuje implementáciu algoritmov popísaných v kapitole 3, modul *libDetector* obsahuje akúsi nadstavbu, obal funkcií z OpenCV a implementáciu vlastných funkcií pre vizuálnu analýzu režimov letu. Konfiguračný nástroj poskytuje prostriedky pre počiatočnú segmentáciu videa, určenie typov prístrojov a nastavenie parametrov detekcie.

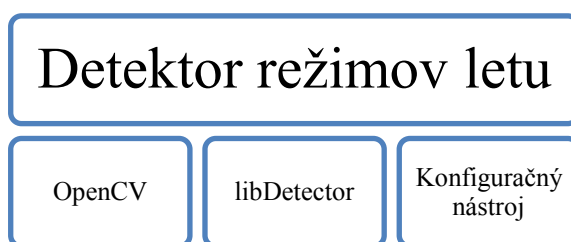


Diagram 5.1: Schéma logického členenia aplikácie do modulov

Implementácia segmentácie videa

Automatickú detekciu pozície letových prístrojov je implementovaná algoritmom Houghovej transformácie kružníc [7]. Predpokladá sa teda, že prístroje majú kruhový tvar a ich obrys je dostatočne odlišný od pozadia. Použitý algoritmus Houghovej transformácie kružníc síce dokáže pomerne presne určiť stredy kruhových prístrojov, no s určením ich polomeru má značné problémy. V takýchto prípadoch sa predpokladá zásah užívateľa do segmentácie videa, ktorý spočíva v prípadnej korekcii polohy nájdených kružníc, ich veľkosti a prípadne vloženie nových kružníc pre nenájdene prístroje alebo odstránenie nadbytočných kružníc.

Užívateľské rozhranie, ktoré umožňuje korekciu automatickej segmentácie je založené na zachytávaní udalostí kliknutí myši a stlačení klávesy na klávesnici. Princíp interakcie s užívateľom je znázornený formou konečného automatu na diagrame 5.2.

Po tom ako prebehne automatická segmentácia videa užívateľ si môže ľavým tlačidlom myši vybrať nástroj, ktorého polohu chce korigovať. Klávesmi `↑` `↓` `←` `→` môže upraviť jeho polohu, `+` a `-` slúži k zmene veľkosti nájdenej kružnice reprezentujúcu letový prístroj, numerickými klávesmi `1`-`6` sa určí typ prístroja. Na základe určeného typu sa automaticky prejde do fázy označenia kruhovej pozície indikátoru. Kliknutím na pravé tlačidlo myši si túto polohu užívateľ môže ľubovoľne veľakrát upraviť, po kliku na ľavé tlačidlo sa poloha definitívne potvrdí. Nadbytočné kružnice je možné po označení zmazať klávesom `Delete`, prípadne je možné pridať

nové kružnice kliknutím na pravé tlačidlo myši na voľnú plochu. Po vložení všetkých potrebných údajov sa klávesom `Enter` spustí vizuálna detekcia.

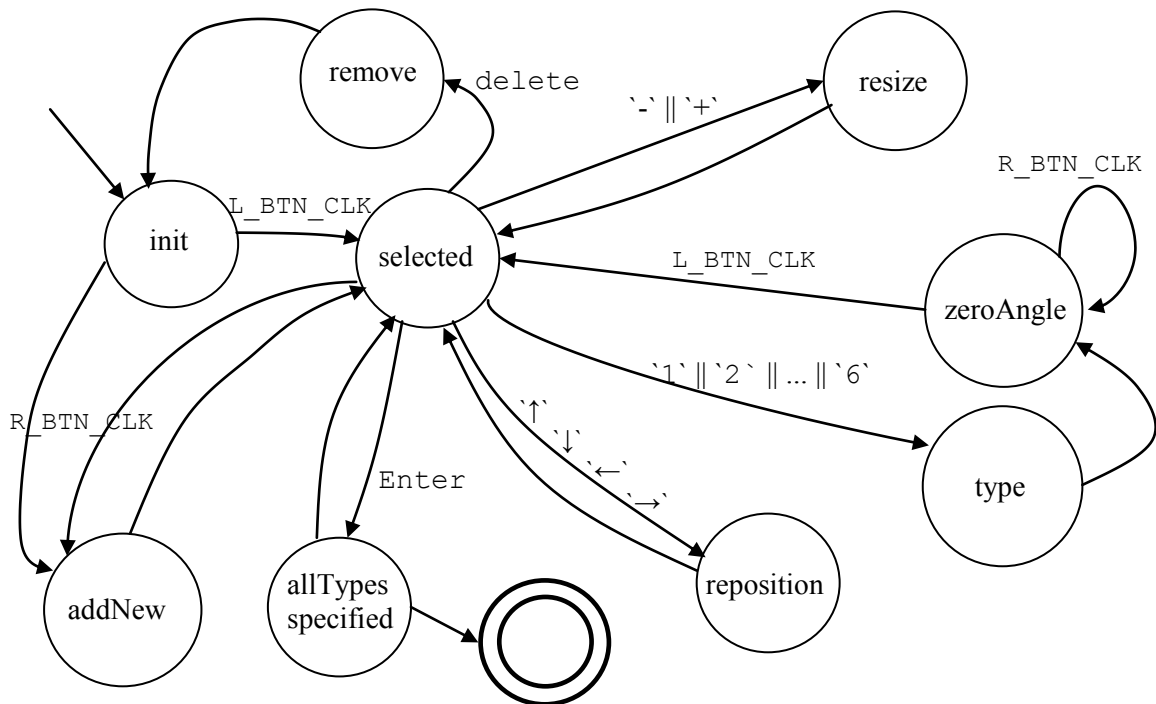


Diagram 5.2: Princíp zadávania typu prístroja a polohy indikátoru v kľudovej polohe.

Implementácia stabilizácie videa

Aplikácia spracúva vstupné video po jednotlivých snímkach. Aplikácia počíta s tým, že video z pilotnej kabíny je roztrasené, preto sa najskôr pokúsi o jeho stabilizáciu. Na aktuálnej spracovávanej snímke sa nájdu záujmové body pomocou funkcie `cvGoodFeaturesToTrack()`. Pokúsil som sa aj o spresnenie nájdených bodov na subpixelovú úroveň (`cvFindCornerSubPix()`), ale tento krok nepriniesol žiadne výrazné zvýšenie kvality stabilizácie a navyše spotreboval množstvo času na výpočet. Preto je tento krok vo finálnej verzii vynechaný. Aplikácia ďalej vypočíta optický tok nájdených záujmových bodov pomocou funkcie `cvCalcOpticalFlowPyrLK()`. Týmto výpočtom sa získa pozícia nájdených záujmových bodov na ďalšom snímku. K tomu aby bolo možné transformovať nasledujúci snímok tak aby sa čo najviac prekrýval s aktuálnou snímku potrebujeme vypočítať homografiu, teda zobrazenie medzi pozíciou záujmových bodov na oboch snímkach. Výpočet implementuje funkcia `cvFindHomography()`. K dokončeniu stabilizácie videa už iba stačí transformovať nasledujúcu snímku podľa nájdenej homografie, k tomu je použitá perspektívna transformácia `cvWarpPerspective()`.

Implementácia detekcie hodnôt na letových prístrojoch

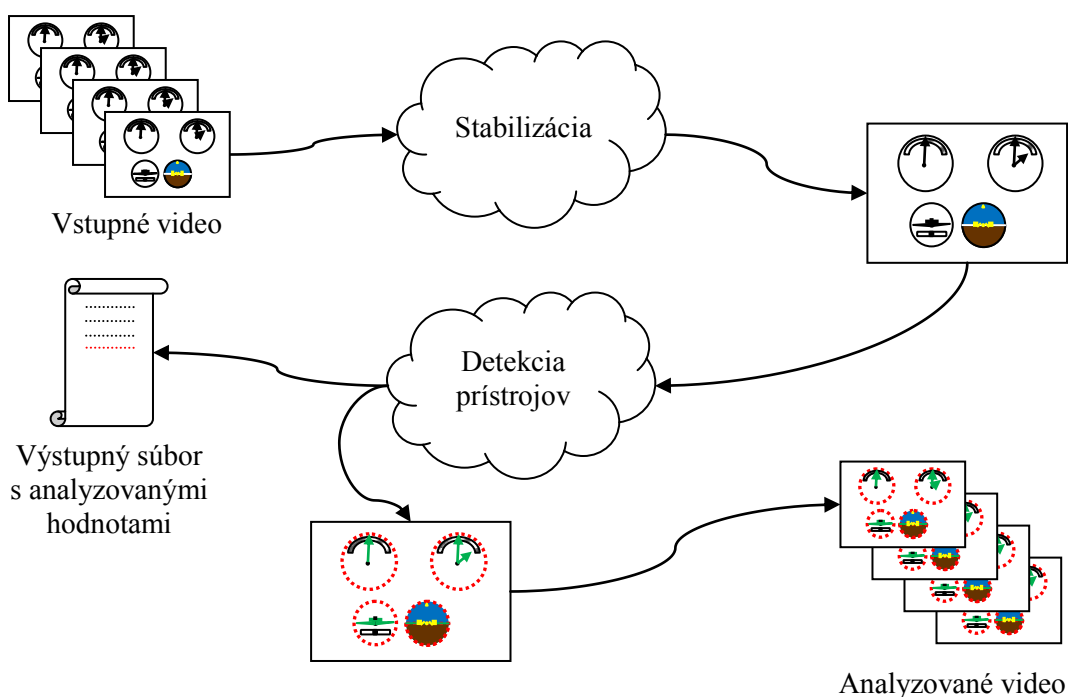
Po stabilizácii videa nasleduje detekcia hodnoty na letových prístrojoch. Princíp detekcie je vo veľkej miere popísaný v kapitole 4, preto sú tu zmienené iba niektoré dôležité aspekty, ktoré nie sú dostatočne popísané v kapitole Návrh aplikácie.

Keďže v prvej fáze činnosti aplikácie je video stabilizované, predpokladá sa, že pozícia prístrojov sa vo videu nemení, prípadne ich pohyb je minimálny. Na základe tohto predpokladu je určená poloha letových prístrojov iba na začiatku analýzy, a ďalej sa nemení.

Analýza prístrojov s dvomi rotujúcimi indikátormi sa komplikuje tým, že indikátory sa môžu prekryvať. V tomto prípade nastáva problém pri ich jednoznačnej identifikácii.

Boli vyskúšané dva spôsoby analýzy tohto typu prístroja. Prvý navrhnutý spôsob sa snaží sledovať oba indikátory počas celého trvania analýzy. To v sebe zahŕňa nutnosť rozdelenia nájdených čiar do dvoch zhlukov v každom spracovávanom snímku. Problém však nastáva pri zmienenom prekrytí indikátorov (viď. popis tohto problému v kapitole 4, obrázok 4.9). Ak sa indikátory ku sebe priblížia a nastáva potenciálna možnosť ich prekrytia, sleduje sa iba pohyb rýchlejšie rotujúceho indikátoru, pomalší indikátor je zafixovaný na jeho poslednej analyzovanej polohe. Predložené riešenie je závislé na voľbe konštanty definujúcej kritickú oblasť, v ktorej sa sleduje pohyb iba dlhšieho indikátoru. Bolo vyskúšaných viacero hodnôt uvedenej konštanty, no empiricky sa ukázalo, že definovanie oblasti pomocou konštanty nie je vhodné. Dôvodom sú priamky zdetekované v okolí hranice criticalkej oblasti v momente, keď sa opäť sleduje pohyb oboch indikátorov. Tieto priamky, zdetekované na základe dlhšieho indikátoru, spôsobujú nechcený pohyb kratšieho indikátoru a ak takáto situácia nastane na viacerých snímkach po sebe, spôsobí to nesprávnu detekciu pohybu kratšieho indikátoru. Ten sa potom pohybuje príliš rýchlo, spoločne s dlhším indikátorom. Tento pohyb bol obmedzený opäť nejakou konštantou, definujúcou maximálny možný pohyb malého indikátoru medzi snímkami. No tým sa problém úplne nevyriešil, preto bol tento prístup zavrhnutý.

Druhým navrhovaným prístupom analýzy prístroja s dvomi indikátormi je sledovanie pohybu iba rýchlejšie rotujúceho indikátoru a dopočítanie pohybu pomalšieho. Oba indikátory sa hľadajú iba v počiatkovej fáze analýzy, dokým sa nepodarí jednoznačne určiť ich polohu. Potom sa sleduje už iba pohyb dlhšieho indikátoru a pohyb malého sa programovo dopočítava.



Obrázok 5.1: Činnosť aplikácie vizuálnej detekcie hodnoty na letových prístrojoch

5.2 Testovanie a vyhodnotenie výsledkov aplikácie

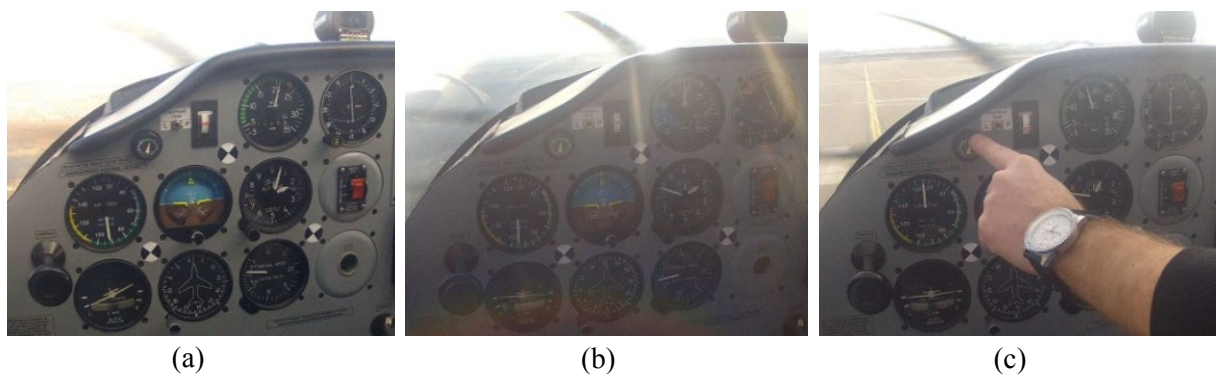
Pre účely testovania aplikácie bolo nutné vyhotoviť vhodné testovacie video. Bol preto realizovaný experimentálny let, účelom ktorého bolo vytvorenie vhodných videí pre vizuálnu analýzu. Experimentálny let prebiehal v lietadle typu *Tecnam P-92 JS* s nasledujúcou špecifikáciou [16]:

- 4-valcový motor Rotax s výkonom 100 konských síl,
- maximálna letová rýchlosť 204km/h,
- hmotnosť 355kg; max. vzletová hmotnosť 580kg,
- rozpätie krídel 8,7m; plocha krídel 13,2m²,
- dĺžka lietadla 6,4m; výška 2,5m.

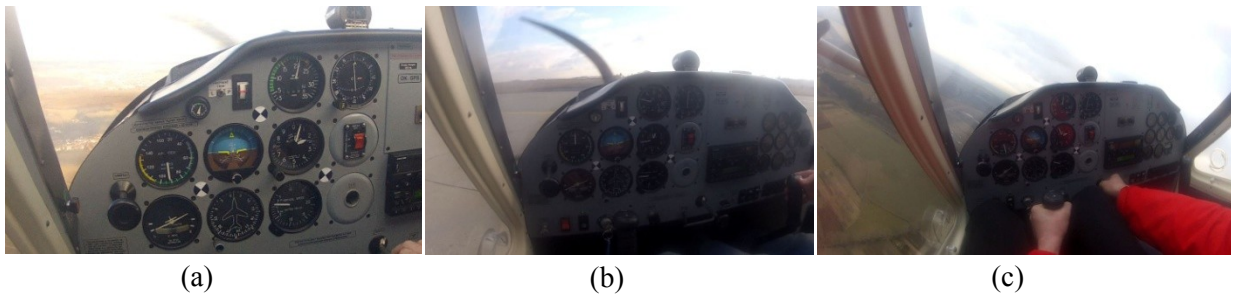
Pre natočenie záznamu letových prístrojov bola použitá kamera GoPro HD Hero2. Výhodou tejto kamery je vysoká kvalita záznamu a široký rozsah upevnenia kamery na rôzne miesta v lietadle. Kamera bola pripevnená na bočné okno, tak ako je znázornené na obrázku 5.2. Zorné pole kamery bolo zamerané na časť prístrojovej dosky, na ktorej sa nachádzajú letové prístroje indikujúce parametre priestorového pohybu lietadla. Prístroje zobrazujúce motorové parametre, ako napr. stav paliva v nádržiach, sú pre naše účely nezaujímavé. Kamera umožňuje rôzne režimy nahrávania, preto bolo vytvorených viacero videí v rôznej kvalite obrazu a s rozličnými zornými uhlami kamery (viď. Obr. 5.4).



Obrázok 5.2: Umiestnenie kamery počas experimentálneho letu



Obrázok 5.3: Rôzne situácie komplikujúce vizuálnu identifikáciu, ktoré môžu nastať počas letu: (a) normálny stav, (b) zlé osvetlenie scény, (c) prekrytie prístrojov



Obrázok 5.4: Rôzne zorné uhly kamery pri natáčaní videa: (a) 90°, (b) 127°, (c) 170°

5.2.1 Vyhodnotenie stabilizácie videa

Na overenie funkčnosti a vyhodnotenie výsledkov stabilizácie bola navrhnutá séria testov. Z videozáznamu letových veličín natočeného v pilotnej kabíne lietadla boli vybrané tri sekvencie s nasledujúcimi vlastnosťami:

1. minimálny alebo žiadny pohyb kamery s nehybnými ručičkami,
2. silný, výrazný pohyb kamery s nehybnými ručičkami,
3. záznam s výrazným pohybom ručičiek.

Vyhodnotenie výsledkov stabilizácie je založené na sledovaní troch markerov, ktoré boli k tomuto účelu pripevnené na prístrojovú dosku lietadla (viď. Obr. 4.1). Zaznamenával sa pohyb značiek medzi jednotlivými snímkami videozáznamu. Pre účely stabilizácie boli tieto značky vymazané, aby nimi nebola stabilizácia ovplyvnená. Výsledky meraní, zobrazené na diagrame 5.2 - 5.4, zohľadňujú meranie pre prvých 50 snímkov vybraných experimentálnych sekvencií videa. Tabuľka 5.1 sumarizuje výsledky meraní, zobrazuje minimálny a maximálny posun sledovaných značiek a ich priemerný posun medzi snímkami videozáznamu.

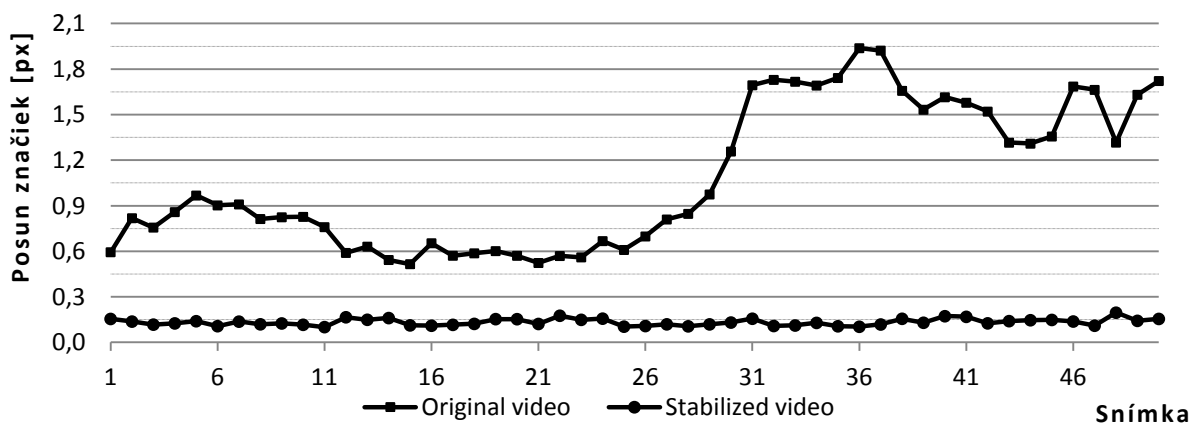


Diagram 5.2: Experiment 1 - minimálny alebo žiadny pohyb kamery s nehybnými ručičkami

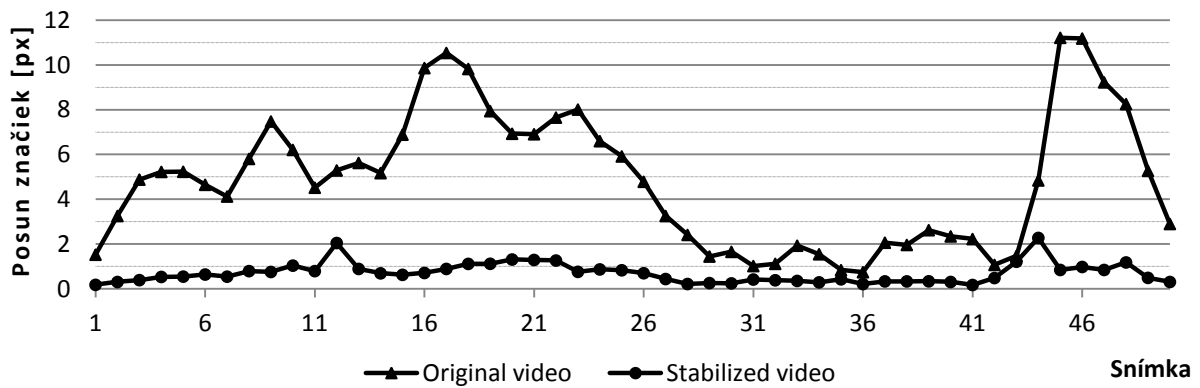


Diagram 5.3: Experiment 2 -silný, výrazný pohyb kamery s nehybnými ručičkami

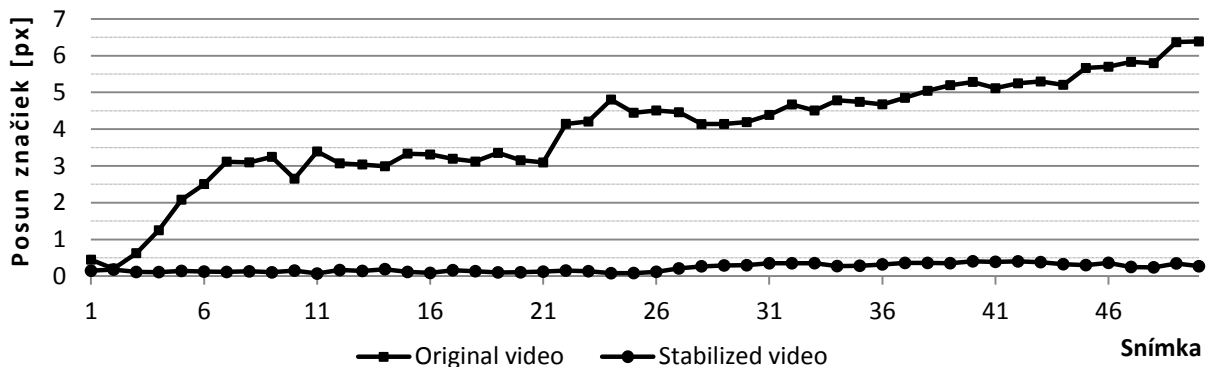


Diagram 5.4: Experiment 3 – záznam s výrazným pohybom ručičiek

	Experiment 1		Experiment 2		Experiment 3	
	Pred stabilizáciou	Po stabilizácii	Pred stabilizáciou	Po stabilizácii	Pred stabilizáciou	Po stabilizácii
Minimum [px]	0,75	0,17	0,52	0,10	0,20	0,07
Maximum [px]	11,22	2,28	1,94	0,20	6,39	0,40
Priemer [px]	4,87	0,70	1,08	0,13	3,96	0,22

Tabuľka 5.1: Sumarizácia posunu značiek medzi snímkami pred a po stabilizácii.

Z výsledkov meraní jasne vyplýva, že pohyb značiek je po stabilizácii menší. Stabilizátor vykazuje dobré výsledky hlavne pri malom pohybe značiek medzi snímkami. Malý pohyb značiek nastáva pri pomalom pohybe kamery, pri ktorom sa zachováva ostrosť snímaného obrazu. Rýchly pohyb naopak spôsobuje rozmazanie obrazu a keďže stabilizátor je založený na detekcii ostrých hrán výsledky stabilizácie nemôžu byť nijako prekvapivo dobré. Takáto situácia je zachytená na diagrame 5.3 v okolí 44. snímku. No aj v tomto prípade je posun značiek zmenšený v porovnaní s pôvodným videom.

Ďalšou nežiaducou vlastnosťou stabilizácie je vznik tmavých, nevyplnených miest pri okrajoch obrazu. Tento jav je spôsobený transformáciou obrazu. Účelom transformácie je obrázok posunúť tak aby sa čo najviac prekrýval s predchádzajúcim, a týmto posunutím pri okrajoch vznikajú miesta nevyplnené žiadnou farbou. Tento jav sa v nástrojoch špecializovaných na stabilizáciu videa rieši orezaním videa, tak aby sa odstránili tieto nevyplnené oblasti prípadne sofistikovanejšim

dopočítaním farby z niekoľkých predchádzajúcich, resp. nasledujúcich snímok [6]. Účelom stabilizátoru v tomto projekte je ale minimalizácia pohybu prístrojov zobrazujúcich letové veličiny, nie kvalita výstupného obrazu, preto sa týmto problémom ďalej nebudem zaoberať.

Algoritmus stabilizácie videa teda vykazuje uspokojivé výsledky v rôznych situáciách a podmienkach preto bude použitý k predspracovaniu videozáznamu letových prístrojov pred samotnou fázou detekcie hodnôt zobrazených na týchto prístrojoch.

5.2.2 Vyhodnotenie vizuálnej detekcie

Výsledky vizuálnej detekcie budú popísané postupne po jednotlivých letových prístrojoch. Bude popísaná ich schopnosť sledovania indikátorov letových prístrojov v bežných podmienkach, ale aj v nepriaznivých situáciách z hľadiska vizuálnej detekcie. Tými sú napr. zlé osvetlenie scény, prílišné ožiarenie scény pri lete priamo proti slnku, prekrytie prístrojov pri zásahu pilota na palubnú dosku a pod. Taktiež bude popísaná schopnosť aplikácie rozpoznať chybnú detekciu a zotaviť sa z nej do korektného stavu.



Obrázok 5.5: Výstup aplikácie pri štandardných podmienkach viditeľnosti analyzovaných prístrojov.

Detekcia polohy prístrojov

K vizuálnej detekcii taktiež patrí aj detekcia polohy prístrojov. Tá prebieha iba na začiatku analýzy a jej výsledky sú zobrazené užívateľovi (viď. obr. 4.2), od ktorého sa očakáva ich kontrola a prípadná korekcia.

Predpokladá sa, že prístroje majú kruhový tvar. Vplyvom perspektívnej transformácie sa však kružnice zdegenerujú na elipsy, čo spôsobí degradáciu kvality detekcie ich polohy. Perspektívna transformácia obrazu sa prejavuje pri umiestnení kamery mimo centrálnej osi palubnej dosky lietadla. Prípustné verzie umiestnenia kamery v lietadle boli vzhľadom na geometrické pomery a potenciálnu nutnosť zásahu do konštrukcie obmedzené. Pri nastavení správnych parametrov algoritmu

Houghovej transformácie kružníc sa aj napriek perspektívnej transformácii podarí detekovať polohu letových prístrojov pomerne presne.

Ďalšie nedostatky automatickej detekcie sa týkajú určenia veľkosti prístrojov, ich stred sa dokáže nájsť relatívne presne, no určenie veľkosti obsahuje pomerne veľkú chybu. To je spôsobené vlastnosťami použitého algoritmu Houghovej transformácie kružníc. Tento problém by bolo opäť možné riešiť parametrizáciou aplikácie.

Detekcia polohy prístrojov vykazuje uspokojivé výsledky iba v prípade zadania vhodných parametrov špecifických a rozdielných pre každé spracovávané video. Užívateľ však pravdepodobne bude expert v oblasti letectva, nepredpokladá sa od neho znalosť algoritmov týkajúcich sa vizuálnej analýzy videa a preto by bolo pre neho veľmi zložité odhadnúť vhodné hodnoty parametrov. Segmentácia videa je teda ako plne automatizovaný celok nevhodná pre nasadenie do reálneho používania aplikácie, systém vizuálnej detekcie sa teda spolieha na označenie polohy a typu prístrojov spôsobom znázorneným na diagrame 5.2.

Rýchlomer, otáčkomer a variometer

K detekcii hodnoty zobrazovanej na týchto prístrojoch je použitý identický algoritmus a vyhodnotenie úspešnosti detekcie je teda spoločné pre túto skupinu prístrojov. Úspešnosť detekcie týchto prístrojov závisí na miere úspešnosti odstránenia pozadia prístrojov a súčasného zachovania indikátorov v čo najväčšej miere. Ak sa nepodarí dostatočne odstrániť číselné stupnice prístrojov zostane na obrázku pomerne veľký šum, ktorý negatívne ovplyvňuje detekciu priamok. Tento šum spôsobí, že na obraze budú detekované aj priamky, ktoré vôbec nesúvisia s hľadaným indikátorom prístroja. Väčšina týchto nesprávne detekovaných priamok je odfiltrovaná, no nie je vylúčené že niektoré takéto priamky budú považované za správne a ovplyvnia tak presnosť detekcie.

Inou situáciou vnášajúcu istú mieru nepresnosti je príliš vysoká hodnota prahu. Dôsledkom toho bude odstránené nielen pozadie prístrojov, ale do veľkej miery aj indikátory. Na takomto obrázku sa potom nezdetekujú žiadne priamky. V tomto prípade je použitá hodnota z predchádzajúceho snímku. Ak táto situácia nastane iba raz za čas na presnosť detekcie to nebude mať prakticky žiadny vplyv. Problémom je však ak sa žiadna priamka nenájde na viacerých po sebe idúcich snímkach. V takejto situácii sa začne postupné znižovanie hodnoty automaticky určeného prahu až dokým nebudú nájdené nejaké priamky.

V prípade prekrytia prístroja je chovanie analýzy dopredu nepredvídateľné. Záleží na tom, z ktorej strany prístroja prekrývajúci objekt príde a v akej polohe je v tom okamihu indikátor prístroja. Dôležité je však, že systém dokáže rozpoznať prekrytie prístroja a po istom čase sa dokáže vrátiť do korektného stavu. Vo väčšine prípadov prekrytia prístrojov počas analýzy experimentálneho videa sa detekovaná poloha indikátoru pohybovala okolo pozície, v ktorej bol indikátor prístroja pred prekrytím. V niekoľkých prípadoch prekrytie prístroja spôsobilo pohyb indikátoru aj keď skutočný indikátor nevykazoval pohyb. Systém sa však po odkrytí prístroja vždy dokázal navrátiť do korektného stavu.

Najväčšia nepresnosť detekcie tohto typu prístrojov je spôsobená tenkými pruhmi svetla vznikajúcimi pri lete priamo proti slnku (Obr. 5.3b). Na obraze sa prejavujú vysokou intenzitou farby, vo väčšine prípadov prevyšujúcu intenzitu indikátorov. Ak sa takýto svetelný pruh dostane do pozície, kedy prechádza stredom prístroja systém ho považuje za indikátor. Zotavenie z tohto stavu nastáva až po dostatočnom vzdialení sa pruhu od stredu prístroja, prípadne zánikom takéhoto svetelného pruhu.

Za normálnych podmienok, tj. primerané osvetlenie a plne viditeľné prístroje, systém dokáže sledovať indikátory letových prístrojov pomerne presne, s miernymi osciláciami detekovanej orientácie indikátorov okolo ich skutočnej orientácie.



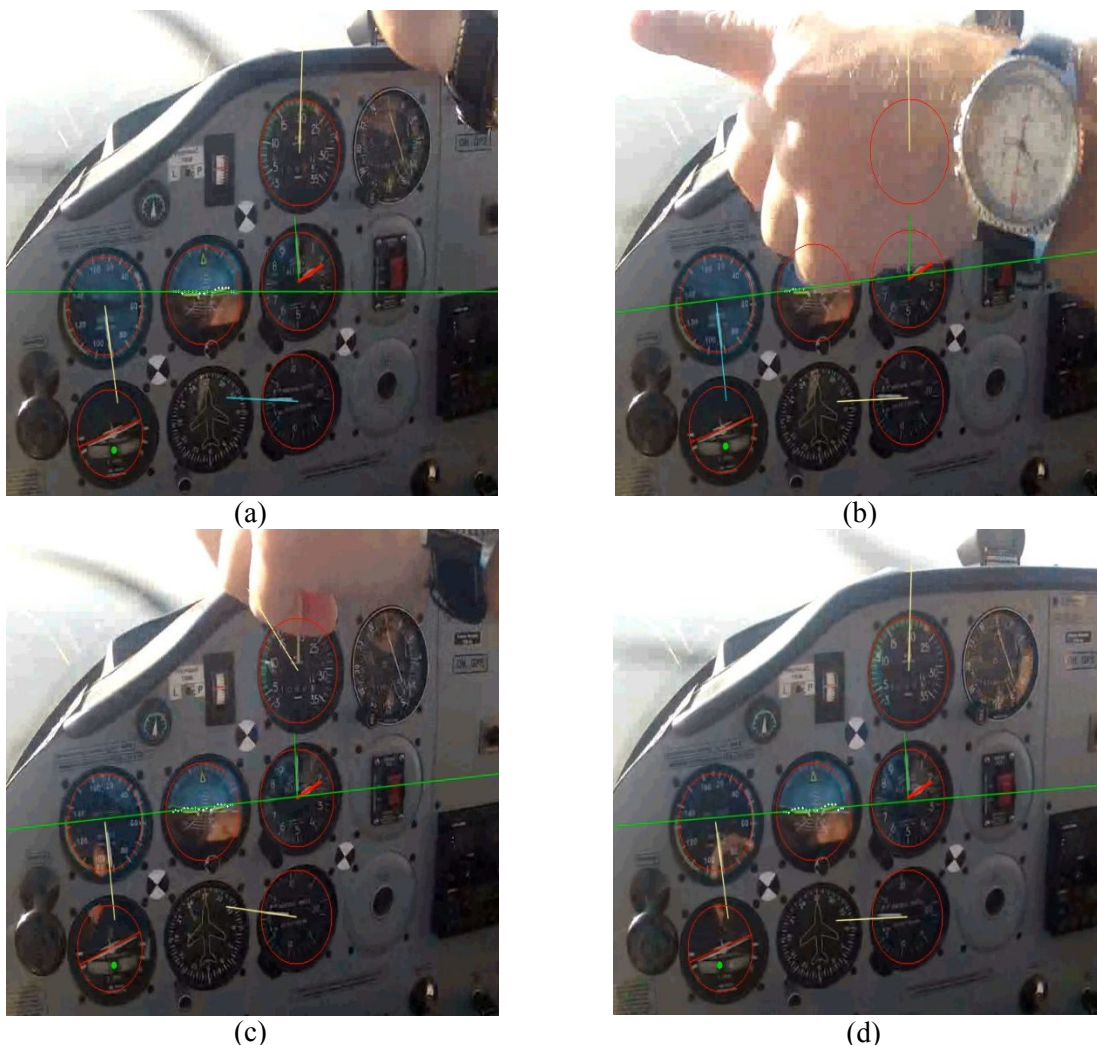
Obrázok 5.6: Znáročenie svetelných pruhov ovplyvňujúcich vizuálnu analýzu prístrojov.

Výškomer

Výškomer je prístroj, u ktorého sa predpokladá prítomnosť dvoch indikátorov. Na začiatku analýzy je nutná správna detekcia polohy oboch indikátorov, ich jednoznačné rozlíšenie a správna definícia ich počiatkovej orientácie. Počiatková detekcia polohy dlhšieho indikátoru prebieha bez problémov, zvyčajne sa určí hneď na prvom snímku. Horšie výsledky vykazuje detekcia polohy kratšieho indikátoru. Jeho detekcia obvykle trvá dlhšie, je potrebné spracovať až niekoľko desiatok snímok. Kratší indikátor totiž obsahuje relatívne malý počet pixlov s vysokou intenzitou vzhľadom na dlhší indikátor. K jeho nájdeniu je potrebné znižovať prah v algoritme HLT, musí sa však znižovať pomaly, postupne, pretože by veľmi ľahko mohla byť prekročená jeho optimálna hodnota. V takomto prípade by bolo nájdené veľké množstvo priamok na základe pozostatkov nedokonale odstráneného pozadia.

V extrémnych prípadoch, pri začiatku analýzy v zlom osvetlení alebo naopak prílišnom ožiarení môže dôjsť k chybe pri určovaní počiatkovej orientácie kratšieho indikátoru. Vplyvom veľkého zašumenia obrázku sa jeho orientácia nemusí určiť v správnej polovici kruhu reprezentujúcom prístroj. V prípade, že sa šum v krátkom čase minimalizuje, orientácia indikátoru je korigovaná, no v prípade pretrvávajúceho šumu ostane určená nesprávne. V tomto prípade je možným riešením opakovať detekciu s mierne posunutým stredom prístroja, prípadne nastaviť začiatok analýzy na okamih, kedy sú na videu priaznivejšie svetelné podmienky.

Po počiatkovej detekcii oboch indikátorov sa už sleduje pohyb spôsobom ako u prístrojov s jedným indikátorom. Počas detekcie sa teda prejavujú podobné problémy. Ich podrobný popis je uvedený v predchádzajúcej sekcii.



Obrázok 5.7: Znáznornenie činnosti systému pri prekrytí prístrojov: (a) stav pred prekrytím; (b) prekrytie prístrojov, minimálna chyba detekcie; (c) chyba detekcie na prístroji umiestnenom úplne hore; (d) zotavenie sa z chyby. Počet spracovaných snímok medzi (a)-(d) je 43, z toho 9 snímok spracovaných po odkrytí prístrojov nutný k zotaveniu sa z chyby detekcie.

Zatáčkomer

Detekcia informácie zobrazovanej na tomto type prístroja sa skladá z dvoch častí: detekcia rýchlosti vykonávania zatáčky a prípadný sklz pri jej vykonávaní. Vizualna detekcia sklonu krídel profilu lietadla na prístroji vykazuje mierne nepresnosti hlavne pri zlých svetelných podmienkach. Istá miera nepresnosti pri detekcii sa prejavuje aj na začiatku analýzy. Voľba prahu pre algoritmus HLT tu prebieha automaticky, dokým sa teda nenájde jeho optimálna hodnota na obraze sú aj nesprávne detekované priamky. Optimálna hodnota sa však nájde dostatočne rýchlo, v obvyklých podmienkach už v priebehu spracovania niekoľkých prvých snímok.

Na analýze tohto prístroja je problematické hlavne určovanie polohy indikátoru sklzu. Vplyvom odrazov svetla na ochrannom sklíčku prístroja nie je indikátor dostatočne odlišený od ostatnej časti prístroja. Vo väčšine prípadov sa podarí detekovať aspoň časť tohto indikátoru, no analyzátor nie je schopný presne určiť jeho stred. Dôsledkom nepresného určenia stredu indikátoru je vysoká miera oscilácie okolo skutočnej polohy. Systém vizualnej detekcie tieto oscilácie eliminuje počítaním priemernej polohy a posun uskutočňuje iba v prípade, že sa táto hodnota výraznejšie posunie.

Na prístroji je taktiež nemožné jednoznačne určiť referenčné značky vymedzujúce nulový sklz. Aby bola možná ich detekcia na prístroj je nutné pripevniť značky, ktoré by tieto referenčné body jednoznačne identifikovali. Alternatívnym riešením by bolo podstatné zvýšenie kvality videozáznamu, prípadne umiestnenie kamery bližšie k prístroju. Tu sú však vzhľadom na platnú leteckú legislatívu možnosti inštalácie obmedzené.. V programe je tento problém riešený približným určením polohy týchto značiek, vzhľadom na stred prístroja.



Obrázok 5.8: Nevhodné osvetlenie scény spôsobuje nedostatočný kontrast farieb na priečnom relatívnom sklonomere a umelom horizonte v dôsledku čoho analýza trpí nepresnosťou.

Umelý horizont

Analýza prístroja umelý horizont je založená na hľadaní hranice medzi dvoma farebne odlišenými pol rovinami gule. Za bežných svetelných podmienok a za predpokladu, že hranica je plne viditeľná, nie je prekrytá referenčnými značkami prístroja, prebieha detekcia bez problémov a pomerne presne.

Presnosť detekcie polohy tejto hranice je však ovplyvnená pri jej prekrytí referenčnými značkami. Väčšina bodov neleží na hľadanej hranici, ale na rozmedzí referenčných značiek a hornej, modrej, polgule. Aproximácia priamky tak bude ovplyvnená prevažujúcim množstvom takýchto nepresných bodov a v konečnom dôsledku bude detekovaná poloha hranice posunutá vzhľadom na jej skutočnú polohu.

Analýza farby síce prebieha po prevedení obrazu do HSV modelu, no v prípade extrémne nedostatočného osvetlenia scény sú farby prístrojov príliš skreslené a identifikácia hranice medzi farebne rozlíšenými polgulami je náročná.

Na prístroji je tiež nemožné identifikovať referenčné značky reprezentujúce uhol klopenia. Opäť by to vyžadovalo pripevnenie značiek na prístroj, ktoré by boli zreteľnejšie a dali sa jednoznačne detekovať. Značky by však museli byť pripevnené dovnútra prístroja, na jeho pohyblivé časti, to však nie je možné kvôli certifikácii lietadla. Tento problém by bolo tiež možné vyriešiť zvýšením kvality záznamu, prípadne pripevnením kamery bližšie k prístroju.



Obrázok 5.9: Chyba detekcie hodnoty indikovanej prístrojom umelý horizont spôsobená nevhodným osvetlením skresľujúcim analyzovanú farbu prístroja.

Kapitola 6

Záver

V tejto práci je prezentovaný systém pre vizuálnu detekciu režimov lietadla. Systém dokáže na videozázname z pilotnej kabíny sledovať indikátory letových prístrojov. Pre účely testovania aplikácie bol realizovaný experimentálny let na malom jednomotorovom lietadle. V takomto malom lietadle sa vo veľkej miere prejavujú mechanické vibrácie konštrukcie spôsobené nárazmi vetra do lietadla a chvením motora. Kamera bola pripevnená na bočnú konštrukciu lietadla, videozáznam je teda vo veľkej miere roztrasený.

Vytvorený systém však dokáže analyzovať aj takýto nekvalitný videozáznam. Súčasťou systému je modul, ktorý videozáznam stabilizuje. Stabilizácia je založená na hľadaní záujmových bodov a v situáciách, kedy je obraz neostrý, rozmazaný stabilizácia nie je schopná úplne eliminovať nechcené chvenie kamery.

Vizuálna detekcia za bežných podmienok dokáže sledovať indikátory letových veličín s pomerne veľkou citlivosťou. Najväčšiu mieru nepresnosti do analýzy vnášajú zlé svetelné podmienky a zásahy pilota na palubnú dosku pri vykonávaní potrebných letových úkonov. Systém však tieto nepriaznivé podmienky dokáže rozpoznať a po návrate kvality videozáznamu do bežných podmienok sa zotaví z prípadných vzniknutých chýb sledovania polohy indikátorov.

Presnosť systému by sa zvýšila aj pri analýze kvalitnejšieho videozáznamu. Ukázalo sa, že umiestnenie kamery počas experimentálnych letov nebolo príliš vhodné. No vzhľadom na certifikáciu lietadla nebolo možné robiť zásahy do jeho konštrukcie, možnosti na upevnenie kamery boli obmedzené. Pri ďalších letoch by však kamera mala byť umiestnená v blízkosti centrálnej osi prístrojovej dosky. Odstráni sa tak vplyv perspektívneho skreslenia tvaru prístrojov v dôsledku čoho budú výsledky automatickej detekcie polohy prístrojov podstatne presnejšie.

Budúci vývoj a vylepšenie aplikácie spočíva práve v automatickej detekcii polohy jednotlivých letových prístrojov a v určení ich typu. V súčasnom riešení sa po spustení aplikácie vyžaduje interakcia užívateľa so systémom, v ktorom užívateľ vykoná prípadnú korekciu automaticky určenej polohy a definíciu typu nainštalovaných leteckých prístrojov.

Literatúra

- [1] American National Standards Institute: Recommended practice for atmospheric and space flight vehicle coordinate systems. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1992, 60 s. ISBN 978-093-0403-829.
- [2] Bradski, G.; Kaehler, A.: Learning OpenCV. Sebastopol: O'Reilly, c2008, 555 s. ISBN 978-059-6516-130.
- [3] Harris, C.; Stephens, M.: A Combined Corner and Edge Detector. Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference. 1988, 147-151.
- [4] Shi J.; Tomasi, C.: Good features to track. Computer Vision and Pattern Recognition, 1994. Proceedings CVPR '94., 1994 IEEE Computer Society Conference on , vol., no., pp.593-600, 21-23 Jun 1994. DOI: 10.1109/CVPR.1994.323794.
- [5] Hung-Chang Ch.; Shang-Hong L.; Kuang-Rong L.: A robust and efficient video stabilization algorithm. Multimedia and Expo, 2004. ICME '04. 2004 IEEE International Conference on , vol.1, no., pp. 29- 32 Vol.1, 27-30 June 2004.
- [6] Rong H.; Rongjie S.; I-fan S.; Wenbin Ch.: Video Stabilization Using Scale-Invariant Features. Information Visualization, 2007. IV '07. 11th International Conference , vol., no., pp.871-877, 4-6 July 2007. DOI: 10.1109/IV.2007.119
- [7] Duda R.O.; Hart P.E.: Use of Hough transformation to detect lines and curves in pictures. Communications of the Association for Computing Machinery 15, January 1972, pp. 11-15.
- [8] Hough P.V.C: Method and means for recognizing complex patterns. U.S. Patent 3, 069 654, December 1962.
- [9] MacDonald I.: Probabilistic Hough Transform. Dostupné z: http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/AV1011/macdonald.pdf
- [10] Morimoto C.; Chellappa R.: Automatic digital image stabilization. IEEE International Conference on Pattern Recognition, pp. 660-665, 1997.
- [11] Litvin A.; Konrad J.; Karl W.C.: Probabilistic video stabilization using Kalman filtering and mosaicking. IS&T/SPIE Symposium on Electronic Imaging, Image and Video Communications and Processing, January 2003.
- [12] Hu R.; Shi R. a kol.: Video stabilisation Using Scale-Invariant Features. Information Visualization, 2007. IV '07. 11th International Conference , pp.871-877, 4-6 July 2007.
- [13] Wang Y.; Doherty J.F.; Dyck R.E.: Moving Object Tracking in Video. Proceedings of the 29th workshop of Applied Imagery Pattern Recognition, 2000, October 16–18, 2000, pp. 95–101.
- [14] Weng S.; Kuo C.; Tu S.: Video object tracking using adaptive Kalman filter, Journal of Visual Communication and Image Representation, Volume 17, Issue 6, December 2006, Pages 1190-1208, ISSN 1047-3203, 10.1016/j.jvcir.2006.03.004.
- [15] Gu C.; Lee M.: Semiautomatic segmentation and tracking of semantic video objects. Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions, vol.8, no.5, pp.572-584, Sep 1998.
- [16] Tecnam P92 JS specification. Dostupné z: http://www.tecnam.com/Flotta/Certificati/P92JS/Brochure/P92JS_ing.pdf

Zoznam použitých skratiek

<i>Skratka</i>	<i>Anglický ekvivalent</i>	<i>Preklad</i>
SOF	Sparse optical flow	Riedky optický tok
TAS	True airspeed	Skutočná rýchlosť
IAS	Indicated airspeed	Indikovaná rýchlosť
HLT	Hough line transform	Houghova transformácia priamok
SIFT	Scale-invariant feature transform	Invariantné vlastnosti obrazu
ROI	Region of interest	Oblasť záujmu
DOF	Dense optical flow	Hustý optický tok
ECEF	Earth centered, earth fixed	Súradnicový systém s počiatkom v Zemskom strede, osi rotujú spoločne s povrchom Zeme

Príloha A

Obsah CD

Zložka *Application* obsahuje spustiteľnú aplikáciu vizuálnej identifikácie režimov lietadla a užívateľský manuál aplikácie:

- Detector.exe
- User manual.pdf

Zložka *Source* obsahuje zdrojové kódy aplikácie a súbory projektu vývojového prostredia Microsoft Visual Studio:

- libSegmentation.h
- libDetector.h
- Segmentation.cpp
- libDetector.cpp
- detector.cpp
- detector.vcproj

Zložka *Video* obsahuje videá demonštrujúce činnosť aplikácie:

- example01.avi
- example02.avi
- example03.avi
- example04.avi
- example05.avi

Zložka *Text* obsahuje elektronickú verziu textu tejto diplomovej práce:

- xkardo00_BP.docx
- xkardo00_BP.pdf