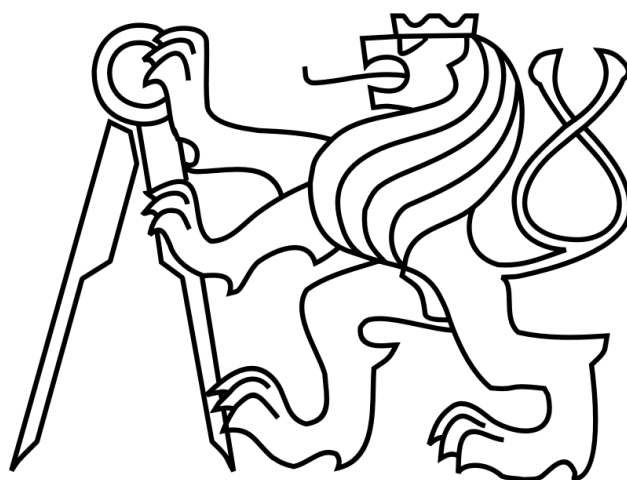


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA RADIOELEKTRONIKY



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Detekce hvězd s použitím celooblohové kamery

Autor: Bc. Petr Hlaváček

Vedoucí práce: Ing. Petr Janout

Praha, 2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Petr Hlaváček**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika
Obor: Multimediální technika

Název tématu: **Detekce hvězd s použitím celooblohové kamery**

Pokyny pro vypracování:

Seznamte se s metodami detekce hvězd a se systémem WILLIAM pro pořizování snímků hvězdné oblohy s extrémně širokouhlým zorným polem. Na základě poznatků navrhnete a implementujete algoritmy pro detekci hvězd. Vytvořte model pro výpočet převodní mapy souřadnic daného systému a reálných souřadnic. Využijte algoritmy pro kalibraci celooblohové kamery a model aplikujte na katalog hvězd pozorovatelných tímto systémem. Navržené postupy ověřte na několika sériích snímků hvězdné oblohy.

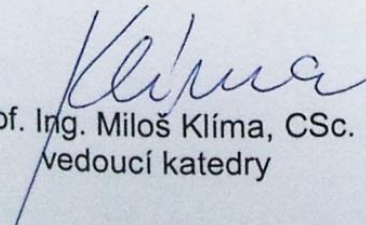
Seznam odborné literatury:

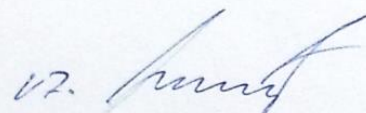
- [1] MEEUS, Jean. Astronomical algorithms. 1st English ed. Richmond, Va.:Willmann-Bell, c1991, 429 p. ISBN 09-433-9635-2.
- [2] SCHNEIDER, D.; SCHWALBE, E.; MAAS, H.-G. Validation of geometric models for fisheye lenses. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing [online]. 2009, 64, 3, [cit. 2010-04-18].

Vedoucí: Ing. Petr Janout

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015




Prof. Ing. Miloš Klíma, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 10. 2. 2014

Název práce: Detekce hvězd s použitím celooblohové kamery

Autor: Bc. Petr Hlaváček

Katedra (ústav): Katedra radioelektroniky

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Janout

Abstrakt Tato práce se zabývá rozpoznáváním hvězd ze snímků pořízených fotoaparátem s širokouhlým objektivem. V práci je popsán algoritmus detekce a rozpoznávání hvězd společně s funkcemi jednotlivých metod. Systém dokáže rozpoznávat hvězdy do velikosti magnitudy 6.

Klíčová slova: Rozpoznávání hvězd, William, převodní funkce

Title: Detection of stars using all sky camera

Author: Bc. Petr Hlaváček

Department: Department of Radio Engineering

Supervisor: Ing. Petr Janout

Abstract Identification of stars by wide-angle camera system will be discussed in this thesis. Algorithm for detection and identification of stars will be described along with the functions of used particular methods. The system can detect and identificate stars as faint as 6th magnitude.

Keywords: Stars identification, William, transfer function

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Petru Janoutovi za jeho čas, který mi věnoval, profesionální přístup, cenné připomínky a trpělivost, kterou se mnou po celou dobu psaní práce měl. Rovněž bych chtěl poděkovat Mgr. Martinu Blažkovi za všechno, co jsem se od něho dozvěděl o hvězdách a za čas, který se mnou strávil při návrhu algoritmu. Velký dík patří mému švagrovi Liboru Grandischovi za předané zkušenosti a rady v oblasti programování. A v neposlední řadě děkuji přátelům a hlavně mé rodině za jejich podporu a trpělivost, kterou se mnou měli po celou dobu studia.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci „Detekce hvězd s použitím celoblohové kamery“ vypracoval samostatně a uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám námitky proti půjčování, zveřejnění a dalšímu využití práce, pokud s tím bude souhlasit Katedra radioelektroniky.

V Praze dne 12.5.2014

.....
Podpis studenta

Obsah

1. Úvod.....	8
1.1 Vznik Vesmíru	8
1.2 Vznik hvězd	9
1.3 Vlastní pohyb hvězd.....	12
2. Souřadnicové soustavy	14
2.1 Nebeská sféra	14
2.2 Sférické souřadnice	14
2.2.1 Obzorníkové azimutální souřadnice	16
2.2.2 Rovníkové (ekvatoreální) souřadnice	17
2.3 Převodní vztahy mezi soustavami.....	19
2.3.1 Obzorníkové souřadnice	20
2.3.2 Rovníkové souřadnice.....	20
Přepočítání obzorníkových souřadnic na rovníkové.....	21
Přepočítání rovníkových souřadnic na obzorníkové.....	21
3. Časová pásma	22
3.1 Základní pojmy	22
3.2 Teoreticky vymezené časové pásma	22
3.3 Dělení časových pásem	23
3.4 GMT a UTC	24
4. William	25
4.1 Snímací soustava.....	25
4.2 Softwarová část	26
4.3 Zpracování obrazu.....	26
4.3.1 Detekce středu hvězdy	27
4.4 Kalibrace kamery	27
4.4.1 Určení středu snímku (zenitu na snímku).....	28
4.4.2 Určení středu otáčení (Severního světového pólu).....	29
4.4.3 Uložení souřadnic z GPS modulu.....	30
4.5 Převodní funkce	30
4.5.1 Poloha hvězd vzhledem ke středu snímku.....	30
4.5.2 Databáze hvězd wildabase	32
4.5.3 Vytvoření transformované databáze	33

4.5.4	Grafický výstup programu WilliamTransferFunction	34
4.5.5	Ruční přiřazování hvězd	36
4.5.6	Aproximace funkce	38
4.6	Program William	40
4.6.1	Vstupní parametry	40
4.6.2	Převod SEČ na UTC	41
4.6.3	Převod SELČ na UTC	42
4.6.4	Zellerův algoritmus	42
4.6.5	Vytvoření rozšířeného seznamu hvězd	43
4.6.6	Závěrečné porovnávání	46
4.6.7	Výběr vhodného stupně polynomu	48
5.	Závěr	51
	Seznam tabulek	53
	Seznam obrázků	54
	Seznam použitých symbolů a zkratk	55
	Zdroje	56
	Příloha A	58

1. Úvod

Tato diplomová práce je rozšířením projektu William katedry radiotechniky ČVUT v Praze. Jeho primárním účelem je určování vhodných podmínek pro pozorování noční oblohy. Do této doby byla snímací soustava řízena na dálku a byla schopna pořídit snímek noční oblohy a odeslat ho na příslušný server. Z takto pořízeného snímku program dokázal detekovat hvězdy. Středem detekovaných hvězd označil křížkem a kopii upravené fotografie uložil. Dokázal také určit počet detekovaných hvězd, což by v budoucnu mohlo sloužit k programovému rozhodování, zda jsou vhodné podmínky pro sledování noční oblohy či nikoli. Druhou možností se naskýtá rozhodnutí na základě uživatele, který se může z domova připojit na vzdálený server, prohlédnout si pořízenou fotografii a na jejím základě se rozhodnout, zda jsou pro něho podmínky pro pozorování vyhovující.

Naším cílem bylo dosavadní systém rozšířit o program sloužící k rozpoznávání detekovaných hvězd. Určení jejich rovníkových (ekvatoreálních) souřadnic, které jednoznačně popisují polohu hvězdy. Díky nim jsme schopni danou hvězdu dohledat v kterémkoli katalogu, jelikož se tyto souřadnice s časem nemění. Respektive nemění se v rozmezí několika tisíc let.

V první části této práce se zabýváme popisem několika základních faktů týkajících se astronomie a následně přepočty mezi souřadnicovými soustavami. V další kapitole se věnujeme časovým pásmům, vnímání přirozeného času a univerzálního koordinovaného času a přechody mezi časovými pásmy. Čas je totiž zásadní pro správné rozpoznání hvězd. Rozpoznáváme totiž hvězdy na základě jejich souřadnic závislých na čase a následně je přepočítáváme na souřadnice, které závislé na čase nejsou. Ty jsou také uvedeny v katalogích hvězd.

V další části práce se věnujeme popisu, na jakém principu pracuje dosavadní systém William. Je zde popsáno programové řešení a shrnut postup přiřazování detekovaných hvězd z pořízených snímků odpovídajícím hvězdám na nebeské sféře¹.

1.1 Vznik Vesmíru

Teorie vzniku Vesmíru se opírá o myšlenku ohromného výbuchu, tzv. „Velkého třesku“, kdy ve zlomku vteřiny byla veškerá dnes existující hmota vystřelena obrovskou rychlostí do všech stran. To vedlo k postupnému rozpínání vesmíru, který se nadále rozpíná ve směru od původní exploze. Tento děj by se měl v budoucnu zastavit a měl by ho následovat děj opačný, tzv. „Velké smrsknutí“. [1]

Vesmír je tvořen z 99% atomy plynů vodíku a helia. Vznik atomů těchto plynů mají na svědomí miniaturní částice (protony a neutrony), které vznikly v důsledku chladnutí hmoty z původně hodně vysokých teplot. [7]

Planeta Země je součástí galaxie „Mléčné dráhy“. Tato galaxie je tvořena asi 200 miliardami hvězd. Kromě hvězd se zde nachází také mezihvězdný prach a plyn. Hmota všech hvězd odpovídá hmotě 150 až 200 miliardám sluneční hmoty. Vzhled naší galaxie je závislý na místě odkud ji pozorujeme a jedná se o galaxii spirálovou. Při bočním pohledu

¹ Nebeská sféra je myšlená koule, v jejímž středu stojí pozorovatel dívající se na noční oblohu, do které se promítá pohyb všech viditelných těles vesmíru.

na naši galaxii se podobá silně zploštělému disku s průměrem cca 100 000 světelných let². Naše slunce se nachází 32 000 světelných let od středu roviny galaxie. Slunce je díky své hmotnosti a zářivému výkonu považováno za mírně nadprůměrnou hvězdu. Má 5. stupeň absolutní hvězdné velikosti. Průměr Slunce je 696 000 km a oproti Zemi má milionkrát větší objem (úniková rychlost je 618 km/s). Slunce tvoří 99,86% hmotnosti sluneční soustavy. Střed naší galaxie leží ve směru Střelce a její průměr je přibližně 20 000 světelných let. Celá galaxie rotuje kolem středu různou rychlostí v závislosti na vzdálenosti. Slunce se pohybuje rychlostí 210 až 280 k/s a střed galaxie oběhne za 230 milionů let, tzv. „galaktický rok“. Nejbližší hvězda od Slunce se nazývá Proxima Centauri a je vzdálena 4,5 světelných let. Pro představu planeta Pluto, obíhající kolem Slunce po eliptické dráze je od Slunce vzdálena průměrně šest miliard kilometrů. Okolo Slunce obíhá kromě dnes známých 9 planet také řada komet a asteroidů. Jiné hvězdy mají své soustavy obíhajících vesmírných těles.[1]

1.2 Vznik hvězd

Mlhovina je tvořena tlakovou vlnou směsice plynu a mezihvězdného prachu, sama o sobě nezáří. Zář mlhoviny vzniká díky odrazům od mladých hvězd, které v mlhovině vznikají. Gravitace přitahuje molekuly z mlhoviny a okolního prostoru. Díky tomu je přitahováno stále více plynů, které se seskupují do tvaru rotující koule. V centru je tak velká koncentrace atomů, že nepatrná jádra do sebe začínají narážet a to vede k následné řetězové jaderné reakci. Následkem toho dochází k značnému uvolnění energie, která se nám jeví jako první světlo vydávané novou vznikající hvězdou. [1]

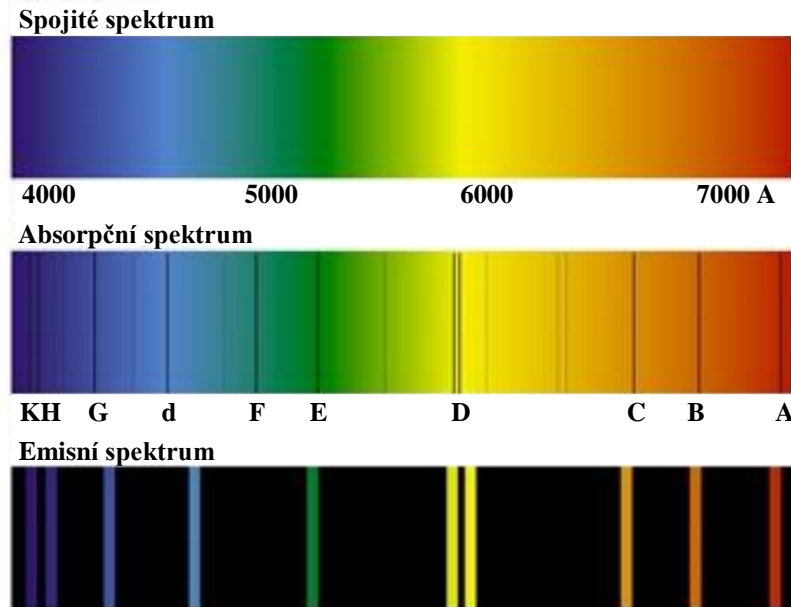
Slunce je koule plynného vodíku, kterou drží pohromadě značně velké gravitační síly. Ty mají také za následek spojování atomů vodíku v jádře. Tím dojde k uvolnění energie a vzniku helia. Spotřeba vodíku je odhadnuta na několik miliard let. Hvězda stále zvětšuje svůj objem, až se z ní stane rudý obr. V případě, že hvězda spotřebuje téměř všechno svoje palivo, zbaví se vnějšího plynného obalu a z odmrštěných plynů se vytvoří zářící mlhovina. Tato mlhovina bude mít podobu kruhů zářících plynů okolo vyhasínající hvězdy. Ta vytváří útvar nazývaný „bílý trpaslík“. Pod pojmem černá díra jsou označovány zaniklé hvězdy, kde je gravitace tak silná, že je pohlcováno i světlo. Hvězdy mléčné dráhy se liší hmotností a rozměry vztaženými ke Slunci. Největší hvězdy dosahují až 500 násobku velikosti Slunce a hmotnosti hvězd se pohybují v intervalu 0,1 až 50 násobku jeho hmotnosti. [24]

Slunce má spojité spektrum³, které nazýváme kontinuum. Takové spektrum odpovídá křivkám podle Planckova vyzařovacího zákona. Fraunhoferovy absorpční čáry jsou tmavé čáry, které můžeme pozorovat ve spektru. Tyto čáry přerušují spojité spektrum hvězd a vznikají při průchodu světla chladnějším a méně stlačeným plynem v atmosféře hvězdy. Žáření přicházející z teplejších spodních vrstev je pohlcováno atomy plynu s nižší teplotou v důsledku jejich ionizace. Děje se tak pouze na některých vlnových délkách v závislosti na tom, z jakých plynů je atmosféra tvořena. Jelikož se tento děj projeví u velkého








² Světelný rok je jednotka definována jako vzdálenost 9,5 bilionů kilometrů, kterou urazí světlo letící rychlostí 300 000 km/s za jeden rok.

³ Spektrum je rozklad elektromagnetického záření (většinou světla) na jednotlivé vlnové délky. [7]

množství atomů, ve spojitém spektru se objeví tmavé čáry. Na základě těchto čar jsme schopni rozeznat, jaké prvky jsou přítomny v atmosféře hvězdy. Opakem absorpčních čar jsou čáry emisní. Ty se vyskytují na stejných místech spektra jako čáry absorpční a vznikají při návratu atomu do základního stavu, při čemž dochází k vyzáření fotonu určité vlnové délky. [2]



Obrázek 1.1 Sluneční absorpční a emisní spektrum [2]

Hvězdy hlavní posloupnosti							
							
Spektrální třída	O	B	A	F	G	K	M
Teplota	40 000K	20 000K	8 500K	6 500K	5 700K	4 500K	3 200K
Poloměr (Slunce = 1)	10	5	1,7	1,3	1,0	0,8	0,3
Hmotnost (Slunce = 1)	50	10	2,0	1,5	1,0	0,7	0,2
Zářivý výkon (Slunce = 1)	100 000	1000	20	4	1,0	0,2	0,01
Doba života [mil let]	10	100	1 000	3 000	10 000	50 000	200 000
Zastoupení	0,00001%	0,1%	0,7%	2%	3,5%	8%	80%

Tabulka 1.1 Hvězdy hlavní posloupnosti [2]

Až 99% všech doposud známých hvězd rozdělujeme podle typu spektra do spektrálních tříd podle klesající teploty. Tato klasifikace se nazývá Harvardská a má následující tvar:

(Q, P, W) O, B, A, F, G, K, M, L, (S, R, N)⁴. Nejteplejší jsou hvězdy třídy Q a nejchladnější jsou ve třídě N.

Typy hvězd	Hvězdní obři	Bílí trpaslíci	Hvězdní veleobři
Vlastnosti	Hvězdy s malou hmotností ke konci svého života.	Jádro po explodující hvězdě.	Hvězdy s velkou hmotností ke konci života
Spektrální třída	Převážně G, K, M	D	O, B, A, F, G nebo M
Teplota	3 000 až 10 000K	Pod 80 000K	4 000 až 40 000K
Poloměr (Slunce = 1)	10 až 50	Pod 0,01	30 až 500
Hmotnost (Slunce = 1)	1 až 5	Pod 1,4	10 až 70
Zářivý výkon (Slunce = 1)	50 až 1000	Pod 0,01	30 000 až 1 000 000
Doba života [mil let]	1 000	-	10
Zastoupení	0,4%	5%	0,0001%

Tabulka 1.2 Porovnání typů hvězd [2]

Zbýlé 1 % zastupuje zvláštní hvězdy, které dělíme do dalších pěti tříd:

W – Wolfovy-Rayetovy hvězdy

Q – novy

R a N – uhlíkové hvězdy

S – zirkonové hvězdy

Třída P je rezervována pro plynné mlhoviny

Základní typy tříd dále rozdělujeme do deseti podskupin označených číslem 0-9 za písmenem třídy (např. K4). Pro odlišení typu hvězd se stejnou povrchovou teplotou se přidává před označení hvězdy zkratka pro třídu svítivosti. Za označení třídy se přidává typ spektra. [2]

Třída svítivosti	Typ spektra
sd – podtrpaslík	f – široké emisní čáry vodíku v horkých hvězdách
d – trpaslík	p – zvláštní, neobyčejné spektrum
wd – bílý trpaslík	e – spektrum s emisními čarami
sg – podobr	n – rozmazané čáry ve spektru (mlhoviny, rotace)
g – obr	s – ostré čáry
c – veleobr	k – čáry mezihvězdného plynu
	m – čáry kovů
	v – proměnné spektrum
	pec – zvláštní, nepravidelné

Tabulka 1.3 Třídy svítivosti a typy spektra hvězd

⁴ Mnemotechnická pomůcka v angličtině zní: „Oh Be A Fine Girl (Guy) Kiss My (Lips).“ Česká pomůcka vypadá například takto: „Olda Bude Asi Fňukat, Gustave, Kup Mu (Lízátko – třída L byla zavedena později.)“

Pro praktické účely hvězdy seskupujeme do celkem 88 souhvězdí, jejichž hranice jsou rovnoběžné s deklinačními kružnicemi a rovnoběžkami, viz oddíl 2. Hvězdy ve stejném souhvězdí jsou charakterizovány jejich latinským názvem. Označovány jsou jeho zkratkou a písmeny řecké abecedy. Někdy se můžeme setkat i s označením pomocí číslic. [3]

Magnitudo m je stupnice hvězdných velikostí. Vyjadřuje jasnost hvězd vztaženou k fyziologickému zákonu citlivosti lidského oka, který říká, že intenzita zrakového vjemu není přímo úměrná podráždění. Rozdíl 1^m v jasnosti tělesa odpovídá 2,5 násobku rozdílů logaritmu jejich intenzit. Samotným okem bez použití teleskopu či dalekohledu jsme schopni pozorovat hvězdy do 6^m (teodolitem až 10^m). Vzhledem k značně rozdílným vzdálenostem porovnávaných hvězd se stejnou magnitudou od pozorovatele je třeba definovat absolutní magnitudo M . Absolutní magnitudo je přepočítaná jasnost těles tak, jako kdyby všechny tělesa zářily ze stejné vzdálenosti 10 pc^5 . Pro jeho výpočet platí rovnice

$$M = m + 5 - 5 \log(r), \quad (1.1)$$

kde r je vzdálenost objektu v parsecích (pc).[1]

1.3 Vlastní pohyb hvězd

Vzhledem k cíli této práce je pro nás pohyb hvězd velmi důležitý. Každá hvězda vykonává zdánlivý pohyb, ten je způsobem rotací Země kolem své osy a rotací kolem Slunce. Vedle tohoto zdánlivého pohybu, má každá hvězda také svůj individuální pohyb. [6]

Hvězda	Vlastní pohyb [”rok ⁻¹]	Poziční úhel [°]
Proxima Centauri	11,01	282
Luytenova	9,84	171
Barnardova	10,36	356
Kapteynova	8,86	131
Gliese 412	8,82	282
CD -37deg 15492	8,56	112
Lalande 21185	7,49	187
Lacaille 9352	7,35	79
Groombridge 1830	6,42	145
Cygni B	6,05	53
Cygni A	5,20	52
μ Cassiopeiae	5,17	115
ε Indi	4,69	123
σ^2 Eri	4,43	213

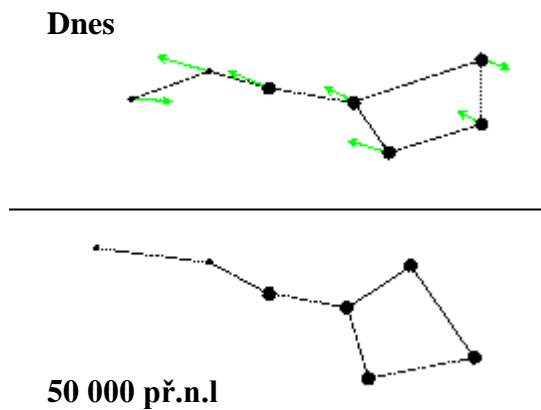
⁵ Jednotka vzdálenosti parsec (pc) vyčísluje vzdálenost, ze které je vidět velká poloosa zemské dráhy pod úhlem $1''$. $1 \text{ pc} = 3,259 \text{ světelného roku} = 3,08 \cdot 10^{16} \text{ m}$

Tabulka 1.4 Příklady několika hvězd a jejich vlastních pohybů [6]

Pohyb hvězdy vzhledem k sluneční soustavě má tři složky:

- Radiální rychlost - pohyb hvězda přibližující se k nám má zápornou radiální rychlost, od nás kladnou. Zjišťuje se pomocí Dopplerova posuvu.
- Změna polohy hvězdy na obloze v rovině kolmé na zorný směr. Udává se v úhlové míře ve vteřinách za rok nebo za století.
- Poziční úhel směru pohybu

Vzhledem k velmi velkým vzdálenostem hvězd od naší planety je jejich vlastní pohyb velmi malý a pro naše účely zanedbatelný. Měřitelná změna polohy hvězdy na nebeské sféře se projeví až za několik desítek let. Největší vlastní pohyb má Barnardova hvězda, a to $10,36''$ za rok. Velmi malý vlastní pohyb má blízký červený trpaslík Gliese 710 vzdálený 63 světelných let, a tedy $0,003''$ za rok. Takto malá změna promítání na nebeské sféře je dána jeho směrem pohybu, který míří přímo k nám, až na malou odchylku, a pohybuje se rychlostí 18,6 km/s. Změna tvaru souhvězdí je patrná až po několika státiacích let. [6]



Obrázek 1.2 Změna souhvězdí Velké medvědice, části Velkého vozu, s naznačeným pohybem [6]

2. Souřadnicové soustavy

Jelikož se Země otáčí kolem své osy a zároveň obíhá kolem Slunce, existuje v astronomii několik soustav. Většina z nich je závislá na čase a místě pozorování, v takovém případě musíme znát přesné informace o čase a souřadnicích místa pozorování k tomu, abychom mohli bezpečně určit, o jaký pozorovaný objekt se jedná. Druhým typem souřadnicových soustav jsou soustavy, které na čase závislé nejsou. Známe-li však informace o čase a místě pozorování, jsme schopni souřadnice objektů vyjádřené v časově závislé soustavě přepočítat do soustavy časově nezávislé.

V astronomii soustavy rozdělujeme také do dvou skupin v závislosti na poloze objektu. K určení polohy pozorovatele či jiného objektu na Zemi nám poslouží soustavy astronomických zeměpisných souřadnic. Naopak k určení polohy hvězd, planet či jiných kosmických těles se používají sférické astronomické souřadnicové soustavy.

2.1 Nebeská sféra

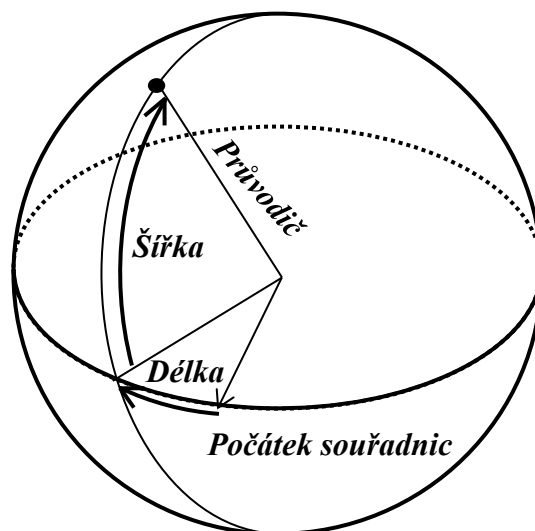
Je myšlená koule nekonečného poloměru, v jejímž středu je Země, na kterou promítáme polohu nebeských těles. Díky tomu se nám zdá, jako by všechna tělesa byla stejně vzdálena od Země. Důležitou vlastností nebeské sféry je její stálost. V důsledku rotace Země se tváří, jako kdyby se nebeská sféra otáčela okolo osy otáčení Země a naopak Země byla statickým objektem. S tím je spojena zdánlivě vypadající rotace Slunce okolo Země. Je to ale jen náš subjektivní dojem. [8]

Severní a jižní světový pól dostaneme v místech průsečíku osy otáčení Země s Nebeskou sférou (protažení zemských pólů). Nebeská sféra je světovým rovníkem rozdělena na dvě polokoule, obdobně jako Země. Světový rovník je kružnice na sféře ležící ve stejné rovině, na které se nachází zemský rovník. Zeměpisné délce na Zemi odpovídá na sféře tzv. Rektascenze. Nulová rektascenze je odvozena od zdánlivého pohybu Slunce. Slunce na nebeské sféře opisuje dráhu svého pohybu, která je výsledkem rotace Země. Tato dráha se nazývá ekliptika a definuje rovinu oběžné dráhy Země. Jelikož je zemská osa skloněna pod úhlem $23,5^\circ$ vzhledem k rovině otáčení okolo Slunce, ekliptika a světový rovník se nepřekrývají. [12] Protínají se dvakrát za rok v okamžiku rovnodennosti. O jarní rovnodennosti je Slunce nad severní polokoulí a ekliptika protíná zemský rovník v tzv. jarním bodě. To je bod, ve kterém se nachází na nebeské sféře Slunce v okamžiku jarní rovnodennosti (většinou 20. března). Tento průsečík byl zvolen jako nulový bod rektascenze a měří se od něho hodnoty rektascenzí ve směru opačném otáčení oblohy. Rektascenze se udává v jednotkách času. Opakem jarního bodu je bod podzimní, ve kterém se Slunce nachází v okamžiku podzimní rovnodennosti.[9]

2.2 Sférické souřadnice

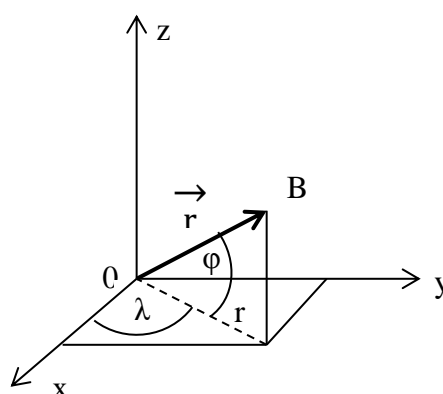
Systém sférických souřadnic jednoznačně určuje polohu bodu na kouli o určitém poloměru. Této kouli říkáme sféra nebo také nebeská sféra. Z matematického hlediska je vhodné volit jednotkový poloměr sféry. Teoreticky můžeme zvolit nekonečně mnoho rovin, které protínají kouli a procházejí jejím středem. Základní roviny a směry volíme tak, aby byly fyzikálně realizovatelné. Za základní rovinu si můžeme zvolit buď rovinu

horizontu, což je rovina kolmá na pomyslnou přímku spojující střed s místem pozorování, nebo rovinu ekliptiky⁶. Touto rovinou protínající kouli dostaneme hlavní kružnici, jejíž poloměr je shodný s poloměrem koule. Za základní směry se volí astronomická normála (svislice) nebo směr rotační osy země.[12]



Obrázek 2.1 Sférické souřadnice [3]

Zvolíme-li za počátek souřadnic bod na kružnici vzniklé průnikem základní roviny se sférou, můžeme polohu jiného bodu na kouli vzhledem k počátku vyjádřit dvěma souřadnicemi. První souřadnici obecně označíme jako délka. Její hodnotu vypočítáme jako odchylku dvou rovin, kolmých k základní rovině s tím, že jedna rovina prochází středem a počátkem souřadnic a druhá rovina spojuje střed s bodem na sféře. Druhou souřadnici nazveme obecně šířkou a určíme jí obdobným způsobem jako délku. Tentokrát se však jedná o odchylku mezi základní rovinou a přímkou procházejícím středem a bodem na sféře, viz. obrázek 2.1. [3]



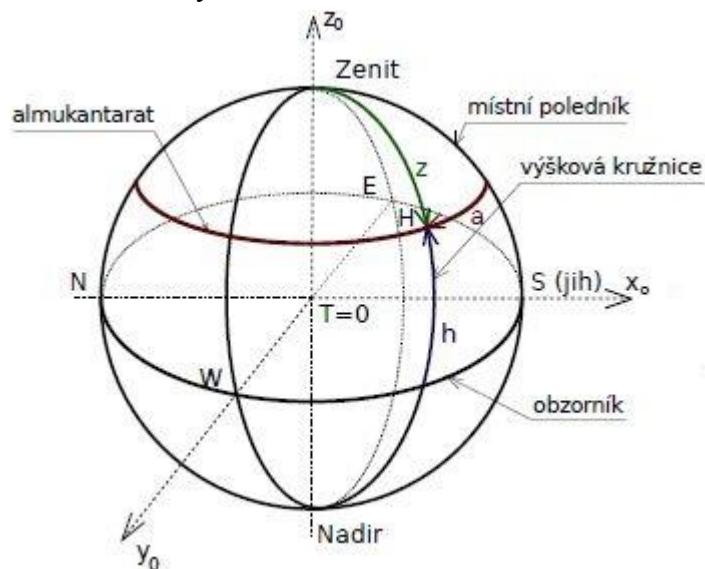
Obrázek 2.2 Sférická souřadnicová soustava

⁶ Rovina ekliptiky je rovina, ve které obíhá Země okolo Slunce.

Obecně je sférická souřadnicová soustava, realizována základní rovinou a základním směrem. V případě, že bychom se nepohybovali po sféře, nýbrž volně v prostoru, je třeba definovat další v pořadí třetí souřadnici, charakterizující vzdálenost od středu. Touto třetí souřadnicí se nazývá průvodič. Počátek souřadnicové soustavy 0 leží v základní rovině tvořené osami x a y . Základní směr leží v ose x . Na obrázku 2.2 je délka průvodiče značená jako r , λ vyjadřuje úhel mezi průvodičem r a osou x do roviny x y . Úhel φ značí úhel mezi průvodičem r a rovinou x y . [1]

2.2.1 Obzorníkové azimutální souřadnice

Základní rovinou obzorníkových souřadnic je rovina obzoru. Ta je kolmá ke směru zemské tíže v místě pozorování. Tato rovina protíná sféru, čímž vzniká kružnice, které se říká obzor. Vzhledem k tomu, že se Země pohybuje (nebeská sféra vykonává zdánlivý pohyb) a tyto souřadnice jsou závislé na místě pozorování, pak je jasné, že souřadnice budou závislé na čase. Prodloužením přímky tížnice protneme sféru ve dvou bodech a získáme tzv. zenit (nadhlavník) a nadir (podhlavník). Vertikál je každá hlavní kružnice, která prochází těmito dvěma body. [12]



Obrázek 2.3 Obzorníková soustava [8]

Nejvýznamnější jsou dvě výškové kružnice. Jednou z nich je tzv. místní poledník, který prochází zenitem, nadirem, severním a jižním pólem. Druhou je tzv. první vertikál procházející zenitem, nadirem a jeho rovina je kolmá na rovinu místního poledníku. První vertikál tedy prochází také severním bodem N, jižním bodem J, západním bodem W a východním bodem E. Meridián je vertikál procházející nebeskými póly a protíná obzor v severním a jižním bodě. Všechny kružnice rovnoběžné s obzorem se nazývají almukantaráty. [1] Hvězdy ležící na jedné z těchto kružnic mají stejnou zenitovou vzdálenost, viz. níže.

Obzorníková souřadnicová soustava je definována obzorníkem a místním poledníkem. Hvězda je v této soustavě popsána dvěma souřadnicemi. Azimutem (Θ) - úhlem, který svírá rovina vertikálu s rovinou místního poledníku. Měří se od jižní větve místního poledníku ve směru hodinových ručiček (v matematicky záporném směru). Nabývá hodnot

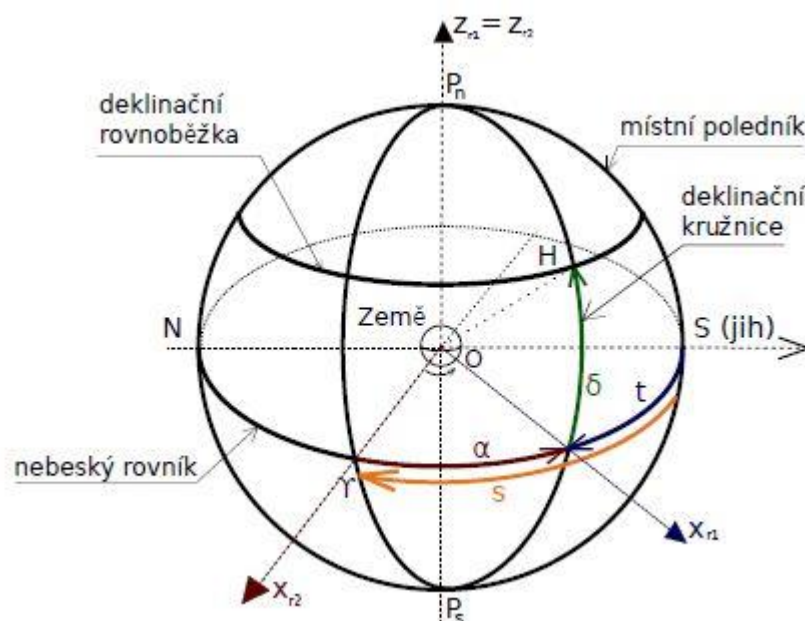
od 0° do 360° . Hvězdy procházející místním poledníkem mají azimut $\Theta = 0^\circ$ nebo $\Theta = 180^\circ$ v závislosti na tom, zda hvězda prochází rovinou místního poledníku jižně nebo severně od zenitu.[24]

Další souřadnicí se v obzorníkové soustavě uvádí výška (h) neboli altitude. Je to úhel, který svírá spojnice hvězdy a místa pozorování s rovinou obzorníku. Nabývá hodnot od -90° do 90° . V případě, že má hvězda výšku rovnu 90° , nachází se v zenitu. Můžeme se také setkat s vyjádřením této souřadnice pomocí tzv. zenitové vzdálenosti z . Zenitová vzdálenost je úhel měřený od zenitu po výškové kružnici ke hvězdě. [23] Nabývá hodnot od 0° do 180° a mezi zenitovou vzdáleností a výškou platí jednoduchý vztah:

$$h + z = 90^\circ. \quad (2.1)$$

2.2.2 Rovníkové (ekvatoreální) souřadnice

Základní rovinou této soustavy je rovina zemského rovníku. Tato rovina protíná nebeskou sféru a v místech tohoto průtnutí vzniká pomyslná kružnice, která se nazývá světový rovník. Příмка procházející severním a jižním pólem Země protíná sféru ve dvou bodech. Tyto body se nazývají severní světový pól a jižní světový pól. Každá hlavní kružnice procházející oběma póly se nazývá deklinační kružnice. Zenitem prochází vždy pouze jedna deklinační kružnice, která je zároveň výškovou kružnicí - místním poledníkem (meridiánem). [8]



Obrázek 2.4 Rovníková (ekvatoreální) soustava [8]

Poloha těles vzhledem k rovině světového rovníku je dána tzv. deklinací (δ , DE). Deklinace je úhlové vyjádření vzdálenosti měřené po deklinační kružnici od rovníku po směr ke kosmickému objektu a nabývá hodnot od -90° pro jižní polokouli do 90° pro severní polokouli. [4]

Druhou souřadnicí rovníkové soustavy volíme na základě toho, zda má být závislá na poloze místního poledníku, tedy závislá na čase nebo zda za základní rovinu zvolíme deklinační rovinu procházející jarním bodem Υ . [1]

2.2.2.1 První rovníková souřadnicová soustava - S_r^1

První rovníková souřadnicová soustava je plně charakterizována dvěma rovinami. Jednou z rovin je již zmíněná deklinační rovina proložená nebeským tělesem. Druhou rovinou soustavy je rovina místního poledníku, která se otáčí se zemí. Tato soustava je závislá na čase, jelikož poloha tělesa je jednoznačně dána hodinovým úhlem (t). Jedná se o úhel, který se měří od průsečíku jižní větve místního poledníku s rovinou rovníku ve směru hodinových ručiček (matematicky záporném směru). Hodinový úhel se většinou udává v časové stupnici, můžeme se ale setkat i s úhlovou interpretací. Může tedy nabývat hodnot od $0^h0^m0^s$ do $23^h59^m59^s$ v časové míře nebo v úhlové míře od 0° do 360° . [4]

V první rovníkové soustavě je tedy poloha tělesa dána dvěma souřadnicemi a tedy hodinovým úhlem (t) a deklinací (δ , DE). Deklinace není závislá na rotaci Země na rozdíl od hodinového úhlu.

2.2.2.2 Druhá rovníková souřadnicová soustava - S_r^2

I tato soustava využívá již nám známé roviny deklinační (δ , DE). Jako základní rovina deklinační je ovšem nyní rovina procházející jarním bodem Υ , který se zúčastňuje zdánlivého denního pohybu oblohy. Tímto bodem je definována počáteční rovina, od které se udává tzv. rektascenze (α , RE). Měří se tentokrát proti směru hodinových ručiček (v matematicky kladném směru) na rozdíl od hodinového úhlu. [3] Hodnota rektascenze je udávána v časových jednotkách, přestože se jedná o úhel. Musí totiž platit vztah pro výpočet místního hvězdného času (S_m) a tedy:

$$S_m = \alpha + t. \quad (2.2)$$

Rektascenze a deklinační nejsou závislé na poloze pozorovacího stanoviště ani na rotaci země, tedy na čase. Proto se druhá rovníková souřadnicová soustava používá především pro sestavování katalogů hvězdných těles. [1]

Soustava	Sférické souřadnice	Způsob měření	
		Mat. směr	od
Horizontální S_h	Astronomický azimut Θ	-	Jižní větve poledníku
	Zenitová vzdálenost z		Zenitu
1. Rovníková S_r^1	Hodinový úhel t	-	Jižní větve poledníku
	Deklinace (δ , DE)		Rovníku
2. Rovníková S_r^2	Rektascenze (α , RE)	+	Jarního bodu Υ
	Deklinace (δ , DE)		rovníku

Tabulka 2.1 Přehled souřadnicových soustav [1]

2.3 Převodní vztahy mezi soustavami

Hvězdný čas je užíván v astronomii k popisu zdánlivého pohybu hvězd. Siderický (hvězdný) den netrvá 24 hodin, jako dny odvozené od slunečního času, na které jsme zvyklí. Siderický den trvá pouze 23 hodin, 56 minut a 4,09 sekundy. Tento rozdíl je způsoben posunutím země kolem Slunce v momentě, kdy vykoná jednu otáčku vůči hvězdám. Jednou za rok mají hvězdný a sluneční čas stejnou hodnotu. To nastává v době podzimní rovnodennosti. [1]

Pro určení hvězdného času potřebujeme znát polohu, na které se nachází pozorovatel a přesný čas pozorování. Nejprve je třeba konkrétní čas definovat jako čas uplynulý od standardní epochy. K tomu slouží tzv. **Juliánské datum**, které značí, kolik dní uběhlo od poledne světového času dne 1. ledna 4713 př. n. l. Jedná se o desetinné číslo, jehož celá část vyjadřuje počet dní a část za desetinou čárkou hodiny, minuty a vteřiny daného dne. Výpočet juliánského data vypadá například následovně:

$$JD = D + [(153M - 457)/5] + 365Y + \frac{Y}{4} - \frac{Y}{100} + \frac{Y}{400} + 1721118,5, \quad (2.3)$$

kde D je den v měsíci, M je pořadové číslo měsíce v roce a Y je letopočet. V případě, že je $M \leq 2$, je třeba provést malou korekci a tedy $Y=Y-1$ a $M=M+12$. [5]

Známe-li Juliánské datum, vyjádříme si čas uplynulý od standardní epochy J2000,0 (JD 2451545,0) vyjádřený v juliánských století pomocí následujícího vztahu:

$$T_u = \frac{(JD-2451545,0)}{36525}, \quad (2.4)$$

kde JD je Juliánské datum v 0 h UT. Pro další výpočty si potřebujeme vypočítat poměr středního slunečního dne a středního hvězdného dne, pro který platí:

$$k = 1,002737909350795 + 5,9006 \cdot 10^{-11}T_u - 5,9 \cdot 10^{-15}T_u^2. \quad (2.5)$$

Nyní známe všechny potřebné prvky rovnice k tomu, abychom mohli vypočítat tzv. **Greenwichský pravý (střední) hvězdný čas (S_0)**. Jedná se o Greenwichský hvězdný čas v okamžiku UT=0, tedy pro greenwickskou světovou půlnoc.

$$S_0 = 24110,54841 + 8640184,812866T_u + 0,093104T_u^2 - 6,2 \cdot 10^{-6}T_u^3. \quad (2.6)$$

UT je anglická zkratka názvu **Universal Time** (univerzální čas). Jedná se o systém měření času založeného na rotaci Země. Pro naši zeměpisnou polohu se vypočítá ze středoevropského času. V zimním období je $UT = SEČ-1$ a pro letní čas platí, že $UT = SEČ-2$. Ze znalosti UT jsme schopni vypočítat Greenwichský hvězdný čas:

$$S_g = S_0 + kUT. \quad (2.7)$$

A konečně místní hvězdný čas vypočítáme podle vztahu:

$$S_m = S_0 + kUT + \frac{\lambda}{15}, \quad (2.8)$$

kde λ je zeměpisná délka. Se základním výpočtem místního hvězdného času jsme se již setkali v kapitole 2.2.2.2. Jelikož jarní bod je bod fiktivní, nelze ho použít pro výpočet hvězdného času. Proto se pro určení času využívá hvězd. Jak již víme poloha hvězdy na sféře je dána rektascenzí a deklinací. Rektascenze je počítána od jarního bodu, díky tomu jsme schopni vyjádřit místní hvězdný čas rovnicí

$$S_m = \alpha + t, \quad (2.9)$$

kde α je zmíněná hodnota rektascenze a t je hodinový úhel hvězdy, měřený od místního poledníku v matematicky záporném směru, viz. kapitola 2.2.2.1. [5]

2.3.1 Obzorníkové souřadnice

Souřadnice obzorníkové azimutální soustavy souřadnic jsou azimut (Θ) a výška (h), případně zenitová vzdálenost (z), pro kterou platí $h + z = 90^\circ$. Pro tyto souřadnice můžeme určit pomocí následujících vzorců projekci na pravoúhlou soustavu

$$\begin{aligned} x_A &= \cos h \cos \Theta, \\ y_A &= \cos h \sin \Theta, \\ z_A &= \sin h, \end{aligned} \quad (2.10)$$

kde x_A, y_A, z_A jsou pravoúhlé azimutální souřadnice. Osa x míří k jihu, osa z k zenitu. Pro zpětný přepočítání azimutu a výšky dostáváme následující vztahy [5]

$$\begin{aligned} h &= \tan^{-1} \left(\frac{z_A}{\sqrt{x_A^2 + y_A^2}} \right), \\ x_A > 0 : \Theta &= \tan^{-1}(x_A/y_A), \\ x_A < 0 : \Theta &= \tan^{-1}(x_A/y_A) + 180, \\ x_A = 0 \text{ a } y_A > 0 : \Theta &= 90^\circ, \\ x_A = 0 \text{ a } y_A < 0 : \Theta &= 270^\circ. \end{aligned} \quad (2.11)$$

2.3.2 Rovníkové souřadnice

Souřadnice druhé rovníkové ekvatoreální soustavy souřadnic, která pro nás je důležitá právě díky její časové invarientnosti, jsou rektascenze α a deklinace δ . Pro jejich přepočítání na pravoúhlou soustavu platí

$$\begin{aligned} x_R &= \cos \delta \cos 15\alpha, \\ y_R &= \cos \delta \sin 15\alpha, \\ z_R &= \sin \delta, \end{aligned} \quad (2.12)$$

kde x_R, y_R, z_R jsou pravoúhlé rovníkové souřadnice. Osa x míří k jarnímu bodu, osa z k severnímu světovému pólu. Zpětně α, δ vypočteme z x_R, y_R, z_R obdobně jako Θ, h z x_A, y_A, z_A . [5]

Přepočítání obzorníkových souřadnic na rovníkové

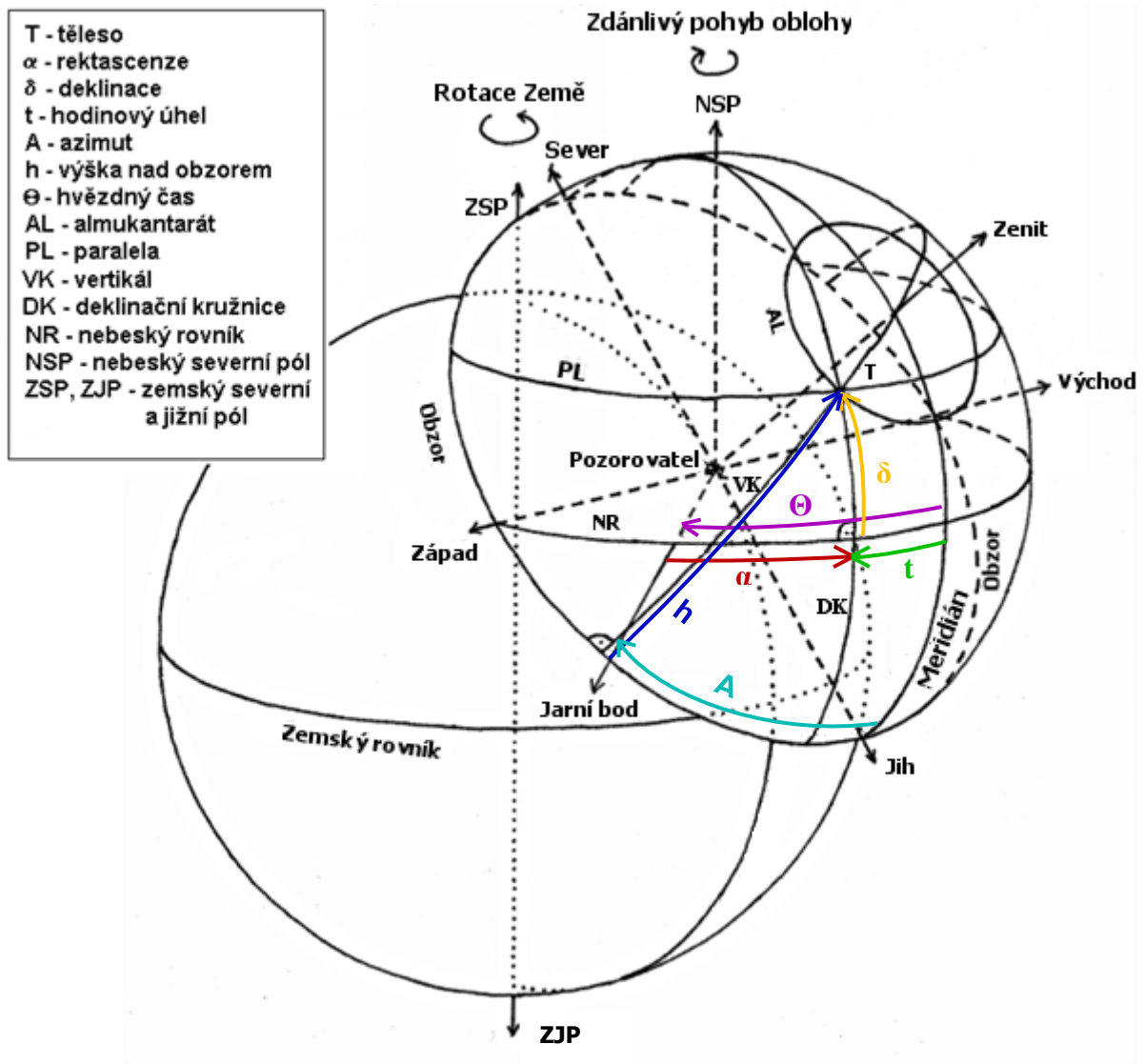
$$\begin{aligned} x_A &= x_R \cos H \sin \varphi + y_R \sin H \sin \varphi - z_R \cos \varphi, \\ y_A &= x_R \sin H - y_R \cos H, \\ z_A &= x_R \cos H \cos \varphi + y_R \sin H \cos \varphi + z_R \sin \varphi, \end{aligned} \quad (2.13)$$

kde φ je zeměpisná šířka a kvůli přepočtu úhlu v hodinách na stupně pro H platí

$$H = 15 \cdot S_m$$

Přepočítání rovníkových souřadnic na obzorníkové

$$\begin{aligned} x_R &= x_A \cos H \sin \varphi + y_A \sin H + z_A \cos H \cos \varphi, \\ y_R &= x_A \sin H \sin \varphi - y_A \cos H + z_A \sin H \cos \varphi, \\ z_R &= -x_A \cos \varphi + z_A \sin \varphi, \end{aligned} \quad (2.14)$$



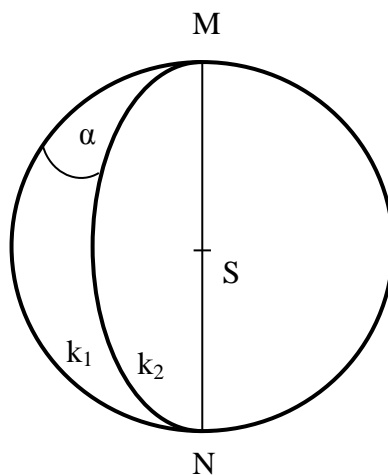
Obrázek 2.5 Popis světové sféry (shrnutí) [4]

3. Časová pásma

3.1 Základní pojmy

V předchozích kapitolách jsme se seznámili se souřadnicovými soustavami, pomocí nichž jsme schopni určit polohu bodu. V praxi nejčastěji narazíme na kartézskou soustavu souřadnic tedy popis pomocí pravouhlých os x , y , z . V astronomii jsou pro určení polohy bodů výhodnější souřadnice polární, kdy je bod jednoznačně určen vzdáleností od počátku soustavy souřadnic a úhlem otočení. V případě bodu umístěného na kouli hovoříme o tzv. sférických souřadnicích. V praktické části budeme pracovat se všemi zmíněnými typy souřadnicových systémů.

Teoretické časové pásmo je definováno sférickým dvojuhelníkem. V geometrii je sférický dvojuhelník dán průnikem klínu⁷ a kulové plochy, viz. obrázek 3.4. Body M , N jsou vrcholy, v případě planety Země se za vrcholy považuje severní a jižní pól. Úhel α se nazývá sférický úhel dvojuhelníku a pro teoretické časové pásmo odpovídá 15° . [12]



Obrázek 3.1 Sférický dvojuhelník

3.2 Teoreticky vymezené časové pásma

Planeta Země vykonává několik pohybů současně, jedním z těchto pohybů je rotace kolem své osy. Osa otáčení prochází severním a jižním pólem a směr rotace je od západu k východu, tedy v matematicky kladném směru (proti směru hodinových ručiček). Ve stejném směru také Země obíhá okolo Slunce. V kapitole 2.3 jsme se již zmínili o době jedné otáčky Země kolem své osy, která činí 23 hodin 56 minut a 4,09 sekundy. Perioda rotace Země tedy odpovídá době tzv. siderického dne. Lidský den oproti tomu trvá rovných 24 hodin a za tuto dobu definujeme dobu jedné otáčky, tedy otočení Země o 360° .

Z těchto údajů jsme schopni definovat teoreticky vymezené časové pásmo. Rozdělíme-li totiž 360° na 24 stejných dílů dostaneme sférický úhel odpovídající 15° a ten definuje šíři teoreticky vymezeného časového pásma. Z výše zmíněných skutečností vyplývá, že se sousední časová pásma od sebe liší vždy o 1 hodinu. To také znamená, že Země vykoná za jednu hodinu otáčku o 15° .

⁷ Klín je prostorový útvar daný průnikem poloprostorů pAB a pBA , kdy pA a pB jsou různé poloroviny se společnou hraniční přímkou.

Prvopočátky potřeby definování časových pásem sahají do starověku. Po vzniku astronomie co by vědy v oblastech Egypta a Mezopotámie spojené s potřebou měřit čas. V těchto dobách vznikl první kalendář. Základními jednotkami měření času byly rok, měsíc a den. K přesnějšímu měření času došlo až kolem roku 1600 s příchodem kyvadlových hodin. Vznik časových pásem si vyžadovali nejen astronomové ale především mořeplavci, pro orientaci na moři. [14]

Určit poledník na neznámém místě by nebyl takový problém, kdybychom znali aktuální čas a mohli ho porovnat s časem na jiném místě. Víme, že za hodinu se Země otočí o 15° . Kdybychom tedy byli někde na moři a znali aktuální čas a čas například v Praze, byli bychom schopni lehce dopočítat, kolik poledníků jsme od Prahy vzdáleni. V tehdejší době lidé dokázali určit čas podle Slunce či podle hvězd, ale neexistoval nástroj, který by dokázal udržet přesný čas, který by se nastavil před vyplutím a dokázal ho ukazovat po dobu plavby. Použití kyvadlových hodin bylo vzhledem k pohupující se lodi na moři nemyslitelné. [14]

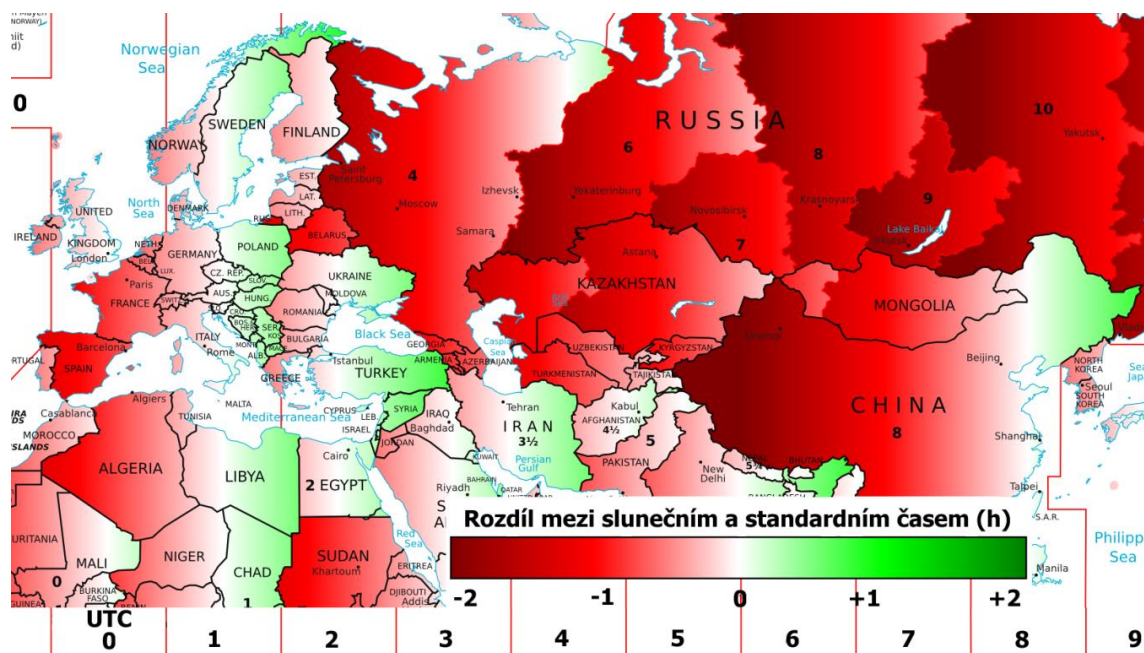
Tajemství poledníků bylo překonáno až v polovině 18. století, kdy byl vynalezen Harrisonův námořní chronometr. Jedná se o nejznámější hodiny na světě, za 5 měsíců se zpozdily o pouhých 15 sekund a bylo je tak možné použít pro námořní navigaci, kde se do té doby využívalo k určování polohy Slunce, Měsíce, planet a 57 navigačních hvězd. [18]

V roce 1675 byla vybudována Královská observatoř v Greenwich a právě poledník procházející touto observatoří byl později zvolen za nultý poledník, ke kterému se všechny ostatní poledníky vztahují. V roce 1840 Británie standardizovala čas jako první země na světě a vytvořila pro jeho používání přesná pravidla. O několik let později tento čas přijaly všechny tehdejší pošty a železniční společnosti. Tento čas je nazýván Greenwich Mean Time (GMT) nebo také londýnský čas. [17]

3.3 Dělení časových pásem

V dnešní době je teorie časových pásem rozdělených podle procházejících poledníků poněkud složitější. Z matematicko-fyzikálního hlediska se sice nejbližší blíží skutečnému stavu, jenže rozdělení dnešních časových pásem je závislé především na hranicích jednotlivých států. Například ve Španělsku mají nastaven stejný čas, jaký platí v celé střední Evropě tzv. středoevropský čas (SEČ), přestože Španělskem prochází stejný poledník jako observatoří v Greenwich. [13]

Toto rozdělení s sebou samozřejmě nese svá úskalí a to v podobě předcházení nebo naopak zpoždování se oproti slunečnímu času. To znamená, že pravé (sluneční) poledne, kdy by mělo být Slunce nejvýše nad oborem, se od místního (občanského) poledne může lišit i o celé hodiny. Extrémním případem je například Čína, již prochází hned 4 poledníky, a přesto je v celé zemi nastaven stejný čas. Rozdíl u západních hranic země činí až 3 hodiny oproti Slunečnímu času. Mapa celého světa je ke zhlédnutí v citaci [19].



Obrázek 3.2 Rozdíl mezi slunečním a standardním časem [19]

Řada států si vytvořila vlastní časová pásma, a tak časová pásma dělíme na standardní a nestandardní. Za standardní časové pásmo považujeme takové pásmo, které je rovno posunu celistvého násobku hodiny, tedy 60 minut. Vedle pásem standardních existují pásma nestandardní, která se od sousedních časových pásem liší o hodnotu menší, než je jedna hodina. Typicky se jedná o rozdíl 45 minut nebo půlhodiny. Můžeme se setkat dokonce i s rozdílem pouhých 15 minut. [13]

3.4 GMT a UTC

Na Zemi je pohlíženo jako na homogenní těleso, konkrétně jako na homogenní kulovitou plochu nejvíce přibližující se rotačnímu elipsoidu. Hodnota GMT vychází z rotace Země, která představuje jeho normálu. Avšak rotace Země není dokonale stálá a konstantní. Rychlost rotace Země zpomaluje a dochází k mírným odchylkám od její střední rychlosti. Hledal se tedy čas, který by lépe splňoval požadavky pro přesnost a hlavně stálost. [17]

To vedlo k definici tzv. Univerzálního koordinovaného času UTC (Universal Coordinated Time). Ten již není závislý na rotaci země nýbrž na atomových hodinách, které definují atomovou sekundu jako 9 192 631 770 kmitů elektromagnetického záření, jež vzniká v atomu základního izotopu cesia 133 při změně jeho energetického stavu mezi hladinami F(3,0) a F(4,0) v nulovém magnetickém poli. Tedy při teplotě absolutní nuly. [20]

Oba časové systémy se tedy v průběhu roku rozcházejí a zavádí se pojem tzv. přestupné sekundy, aby se korigovala odchylka mezi časy (odtud také vzešel název „koordinovaný čas“). Jedná se o sekundu, která se přičítá nebo odečítá, je-li vyhodnocena dostatečně velká odchylka údajů mezi několika národními laboratořemi, které poskytují potřebné údaje. Děje se tak, pokud je rozdíl mezi GMT a UTC $\pm 0,9$ sekundy a to vždy 30. června, popřípadě 31. prosince. [17] Všechny dnešní přístroje se řídí UTC časem a časovými pásmy k němu vztaženými.

4. William

William je projekt katedry radiotechniky ČVUT v Praze, jehož primárním účelem bude v budoucnu určování vhodných podmínek pro pozorování noční oblohy. Momentálně plní funkci detekce hvězd, z pořízených snímků noční oblohy dokáže určit jejich středy a pořízené snímky ukládá na vzdálený FTP server. My v rámci této diplomové práce projekt rozvíjíme o určování ekvatoreálních souřadnic u hvězd na pořízených snímcích, díky kterým jsme schopni jakoukoli hvězdu dohledat v libovolném katalogu hvězd.

Snímací soustavu je vhodné umístit do oblasti s vhodnými podmínkami pozorování. Je žádoucí se tedy vyhýbat místům s rušivým světlem od pouličního osvětlení, osvětlených reklam, či nasvícených památek, kde jsou světla nasměrována vzhůru. Na množství detekovaných hvězd má samozřejmě vliv také počasí, ideální je tedy obloha bez mraků a smogem neznečištěné ovzduší.

4.1 Snímací soustava

Snímací soustava je tvořena fotoaparátem Nikon D5100 (technické parametry jsou dostupné na stránkách výrobce [11]). Hlavním kritériem pro výběr fotoaparátu byla podpora PTP (Picture Transfer Protocol) protokolu. Fotoaparát je napájen pomocí napájecího adaptéru, takže odpadá potřeba pravidelného dobíjení akumulátoru.



Obrázek 4.1 Nikon D5100 [11]

Fotoaparát je vybaven širokoúhlým objektivem, tzv. „rybím okem“ díky kterému jsme schopni snímat oblohu s velkým obrazovým úhlem až 180°. Konkrétně se jedná o objektiv Sigma 4.5/2.8 EX HSM DC Fisheye.

Soustava je dále vybavena GPS modulem, díky kterému známe přesné informace o čase a poloze, které jsou pro automatické rozeznávání hvězd klíčové. Fotoaparát je umístěn ve vytápěném vodotěsném krytu, aby fotoaparát odolal všem povětrnostním vlivům, aniž by došlo k jeho poškození. Přídavné vytápění jednak zajišťuje, aby fotoaparát pracoval v provozních podmínkách stanovených výrobcem (pro Nikon D5100 je to 0-40°C) a také aby nedocházelo k zamlžování ochranného plexiskla.

4.2 Softwarová část

OpenWRT je operační systém založený na linuxovém jádře pro vestavěná (embedded) zařízení a routery. Součástí snímací soustavy je router Asus RT-N16, na kterém je tento operační systém nainstalován. Díky tomu jsme schopni řídit snímací soustavu na dálku. Konfigurace probíhá prostřednictvím příkazové řádky. Pro přístup do systému je používán volně použitelný program Putty, který je přístupný ke stažení ze stránek www.putty.org. Jedná se o klientský program protokolů SSH, telnet a dalších.[10]

Součástí operačního systému OpenWRT je VI editor. Jedná se o obrazový editor, který se spouští příkazem „vi název_souboru“. Pracuje ve třech módech: v příkazovém, rozšířeném příkazovém módu a vkládacím módu. Pro úpravu souborů v editoru si vystačíme s následujícími příkazy:

- i přechod do vkládacího módu, text bude vložen před pozici kurzoru
- :w uložení souboru
- Esc ukončení vkládacího módu
- :q ukončení programu
- dd smaže aktuální řádek textu

Digitální fotoaparát je ovládán pomocí sady knihoven a programů gPhoto. gPhoto podporuje jednak přenos obrázků v obousměrné komunikaci a také vzdálené nastavení fotoaparátu (clony, doby expozice, ISO...) a následné pořízení snímku. Prostřednictvím klienta gPhoto2 jsme schopni komunikovat pomocí skriptů s fotoaparátem. Pořízené snímky jsou odesílány a ukládány na FTP server do složky odpovídající příslušnému dnu pořízení. Snímky jsou ukládány pod názvem ve formátu „yyyy_mm_dd__hh_mm_ss.jpg“. Nikon D5100 umožňuje pořizovat a ukládat snímky do komprimovaného .JPEG formátu nebo nekomprimovaného .NEF. [10]

4.3 Zpracování obrazu

Po načtení snímku je snímek převeden na šedotónový, jelikož nám stačí pracovat pouze s jasovou složkou. Výrazně se tak sníží výpočetní náročnost. Hodnoty jasu jsou reprezentovány 0 - 1. Poté je vytvořena matice (**konvoluční jádro**). Její hodnoty jsou voleny tak, aby odpovídaly dvourozměrné Gaussově funkci s vrcholem ve středu hvězdy

$$f(x) = a \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}. \quad (4.1)$$

Před filtrací obrázku je ještě jádro normalizováno odečtením minima od všech hodnot obrazu a jeho vydělení hodnotou rozdílu maximálního a minimálního jasu

$$normalised = \frac{mask-min}{max-min}. \quad (4.2)$$

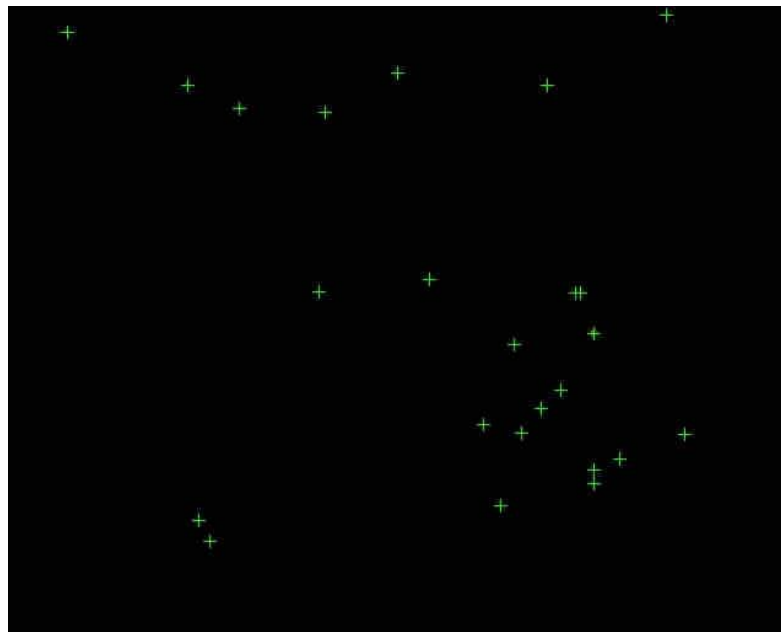
S takto normalizovaným konvolučním jádrem realizujeme operaci konvoluce. Tím získáme rozostřený obraz vyjma míst, která odpovídají podobnému profilu konvolučního jádra. Ty totiž zůstanou nadále výrazná. S hodnotami mimo snímek, potřebných při konvoluci se počítá jako s nulovými. Pomocí konvoluce vytvoříme pseudo **flatfield** snímek, který odečítáme od již filtrovaného snímku. Tento pseudo flatfield získáme opět

konvolucí na filtrovaném snímku s velkým konvolučním jádrem (např. 70x70 pixelů). Opravdový flatfield snímek bychom dostali, kdybychom pořídili snímek rovnoměrně osvětlené plochy. [10]

4.3.1 Detekce středu hvězdy

Algoritmus detekce hvězdy je založen na průchodu snímku pixel po pixelu a vytvoření matic okolí pro každý zpracovaný bod. Pro úsporu výpočetního výkonu je vytvořena další matice obsahující pouze 0 a 1. To jestli danému pixelu bude přiřazena hodnota 0 nebo 1 je rozhodnuto na základě prahování. V případě, že je hodnota jasů pixelu menší, než je „práh hvězdy“, je mu přiřazena hodnota 0 a opačně. Úspory je docíleno tak, že jsou vynechávány řádky se samými nulami při průchodu algoritmu obrazem. Dále jsou v jednotlivých řádcích testovány pouze ty pixely, jejichž hodnota byla větší než „práh hvězdy“. [10]

Matice okolí má rozměry 3x3 pixely a hledá se, zda se v jejím středu nachází střed hvězdy. K tomu, aby byl pixel prohlášen za střed hvězdy, musí mít nejvyšší hodnotu jasů vzhledem k sousedním pixelům a všechny sousední pixely musí mít větší hodnotu jasů, než zvolený práh. Detekovaný střed hvězdy je vykreslen v podobě zeleného kříže na příslušnou pozici v obraze. Po dokončení algoritmu detekce všech možných hvězd je vytvořen nový soubor s názvem „yyyy_mm_dd__hh_mm_ss.jpg_output.jpg“. [10]



Obrázek 4.2 Detail vyznačených středů hvězd

4.4 Kalibrace kamery

Kameru je třeba umístit na místo s malým, ideálně žádným, světelným znečištěním tak, aby směřovala do zenitu. Vzhledem ke konstrukčnímu řešení soustavy se nám jen obtížně podaří dosáhnout výsledku, kdy se zenit bude nacházet přímo ve středu pořízeného snímku. Ideálně by se k němu měl alespoň blížit. S takto umístěnou kamerou se dále nesmí manipulovat, jinak by docházelo k posunutí souřadnic zenitu a severního světového pólu na snímku. Po každé manipulaci se snímací soustavou je nutné následující proces vytvoření převodní mapy opakovat.

4.4.1 Určení středu snímku (zenitu na snímku)

Pro přesné určení zenitu budeme potřebovat open-source program Stellarium simulující planetárium, který je dostupný na adrese www.stellarium.org. V programu nastavíme naši polohu pozorování pomocí GPS souřadnic (klávesa F6), které máme k dispozici z již zmíněného GPS modulu. Zmáčknutím klávesy F5 dále nastavíme přesné datum a čas, při kterém byl snímek pořízen. V našem případě to byl snímek pořízený 13. března 2014 v 0:34:59. To byl jediný den za celé období pořizování snímků, kdy bylo díky poruše za jasné noci vypnuto veřejné osvětlení. Takže ideální podmínky pro pozorování hvězd. Díky tomu, je na snímku detekováno 510 hvězd.

Snímací soustava, by měla být nainstalována tak, aby směřovala, co nejpřesněji do zenitu. To znamená pod svislým (zenitovým) úhlem. K tomu nám postačí obyčejná vodováha. Je nepravděpodobné, že se nám podaří nastavit úhel snímání na rovných 90° . Seběmenší odchylka na takové vzdálenosti způsobí, že zenit nebude promítnut přesně doprostřed snímku. Pro přesné určení zenitu tedy použijeme Stellarium. To nám umožní porovnat pořízený snímek se simulací odpovídající času, kdy byl snímek pořízen. Pro určení zenitu je třeba mít pozastaveno plynutí času, aby se nám obloha zdánlivě nepohybovala.

Nyní bychom měli na obrazovce vidět stejné seskupení hvězd, jako na pořízeném snímku (viz. obrázek 4.3). S oblohou můžeme pomocí levého tlačítka myši, případně šipek pohybovat, dokud nebude otočena stejně jako nebeská sféra na snímku. Pomocí rolovacího kolečka nebo kláves Page Up a Page Down se můžeme přibližovat k zenitu. Pro lepší orientaci je vhodné si zobrazit pomocí klávesy „Z“ mřížku azimutů.



Obrázek 4.3 Určení středu snímku (zenitu)

Nalezený zenit ve Stellarium odpovídá zenitu na snímku a na obrázku 4.3 je vyznačen červeným křížkem (na obrázku je mimo jiné zachyceno souhvězdí Velké medvědice, části Velkého vozu, které bylo zmíněno v kapitole 1.3). Určíme tedy x a y souřadnice zenitu na snímku odpovídající tomuto místu a prohlásíme jej za „střed snímku“, respektive bod

počátku souřadnicové soustavy. Tento bod je klíčový pro určování dalších souřadnic, proto jej musíme určit co nejpřesněji. V našem případě hodnoty zenitu odpovídají souřadnicím $x = 2407$ px a $y = 1688$ px. Takto zjištěné souřadnice zapíšeme do souboru „PolarkaZenit.txt“, ze kterého bude program souřadnice načítat. Je důležité, aby byly zapsány ve formátu [2407,1688] a aby byly uvedeny až na druhém řádku, na kterém se objeví text formátovaný jako „[souřadnice x,souřadnice y]“. Na prvním řádku musí být souřadnice severního světového pólu. Jejich zjištění je popsáno v následující podkapitole.

Snímky, které jsme pořizovali digitální zrcadlovkou Nikon D5100 mají rozlišení 4928x3264. Pokud by se nám podařilo soustavu nastavit tak, aby směřovala přesně do zenitu, vycházely by souřadnice zenitu na pozici [2464,1632]. Z toho vyplývá, že odchylka od zenitového úhlu nám způsobila posun středu snímku ve směru x přibližně o 57 px doleva a ve směru y o 56 px dolů. Hodnoty odchylek jsou samozřejmě orientační, jelikož ani námi určený střed snímku nelze 100% považovat za přesně určený, ale může se lišit v řádu jednotek pixelů od pravého místa zenitu.

4.4.2 Určení středu otáčení (Severního světového pólu)

K určení středu otáčení je třeba pořídit sérii snímku během jedné noci s volitelným časovým rozestupem od 30 minut po 2 hodiny. Na těchto pořízených snímcích budeme pozorovat pohyb otáčení sféry. Jak víme, sféra se zdánlivě otáčí okolo osy protínající severní a jižní světový pól. Jelikož Česká republika leží na severní polokouli, bude na snímku vidět severní světový pól jako místo, okolo kterého rotují hvězdy po kružnicích. Určení tohoto místa nám značně ulehčí hvězda Polárka, která je vzdálena na sféře od severního světového pólu jen minimálně, a tak ji můžeme prohlásit za střed otáčení.

Bude jím jediná hvězda, která je na všech snímcích na stejném místě. Má tedy stejné x a y souřadnice. V našem případě byly její souřadnice zjištěné na pozici $x = 980$ a $y = 1910$. Jelikož Polárka není přímo na severním světovém pólu, můžeme si všimnout malého pohybu, který je v rámci sousedních 1-2 pixelů, tedy takřka zanedbatelný vzhledem k rozlišení a toleranci 40px, s jakou je systém navržen. Takto zjištěné souřadnice opět zapíšeme do souboru „PolarkaZenitGPS.txt“ ve stejném formátu, jako jsme zapsali souřadnice Zenitu tedy [980,1910]. Důležité je, aby tyto souřadnice byly uvedeny na řádku obsahujícím souřadnice o Zenitu ideálně tedy hned na prvním místě. O načítání zadaných souřadnic se stará metoda

- **ReadBasicData**

Posledním povinným údajem, který musíme zapsat do souboru „PolarkaZenit.txt“ je údaj o časovém pásmu. Ten je závislý na území státu, ve kterém jsme snímky pořizovali. Pro většinu států Evropy platí časové pásmo UTC +1 (viz. obrázek 3.5), respektive tzv. středoevropský čas SEČ. Do souboru je tedy nutné na jakýkoli prázdný řádek zapsat text ve tvaru „UTC x“ nebo „utc x“, kde x je číslo časového pásma. Standardně program počítá s časovým pásmem UTC 0 platným například ve Velké Británii a Portugalsku. Pokud bychom se tedy nacházeli na území těchto států, nemusíme údaje o časovém pásmu vůbec zadávat.

Soubor „PolárkaZenit.txt“ musí být uložen společně se všemi dalšími soubory, ze kterých program načítá data, ve složce „William input data“ a ta musí být umístěna ve stejné složce, v jaké se nachází spustitelný skript.

4.4.3 Uložení souřadnic z GPS modulu

Pro zjištění polohy využijeme GPS modul, jenž je součástí snímací soustavy. Z jeho dat je při každém spuštění systému vytvořen soubor „gps.txt“ ve složce tmp. V kořenovém adresáři uživatele root se nachází skript hook.sh, starající se o odesílání a mazání snímků. Tento skript má rovněž na starost spuštění našeho programu pro detekci a rozpoznání hvězd na vzdáleném počítači.[10] My tento skript pomocí vi editoru rozšíříme příkazem k přeposílání souboru „gps.txt“ na ftp server:

```
wput -u --tries=0 /tmp/gps.txt ftp://$USER:$PASSWORD@$IP:$PORT/cesta/William  
input data/gps.txt.
```

K odeslání souboru tedy používáme příkaz wput se zmíněnými parametry v případě, že se program william.exe nachází na stejném serveru, na který jsou odesílány snímky. V opačném případě je třeba cílovou adresu změnit. Cesta charakterizuje umístění programu william.exe na disku.

V případě poruchy nebo umístění soustavy v místech, kde není schopen GPS modul zachytit signál z družic, je možné textový soubor obsahující informaci o poloze vytvořit ručně. Je však třeba výše zmíněný příkaz zakomentovat, aby náš ručně vytvořený soubor nebyl přepisován. Důležité je také dodržet formát, v jakém je zpráva vytvářena GPS modulem. V případě našeho měření se soustava vyskytovala na souřadnicích 50.0977N zeměpisné šířky a 15.186E zeměpisné délky, a tak obsah souboru gps.txt vypadal následovně:

50.0977N 15.186_E.

4.5 Převodní funkce

Jednou z nejdůležitějších částí programu je vytvoření co možná nejpřesnější převodní funkce. K vytvoření základní databáze a převodní funkce budeme potřebovat nejprve námi vytvořený program WilliamTransferFunction a následně program, který nám umožní naměřená a vypočtená data proložit přímkou a zjistit její předpis. My pro jeho zjištění použijeme program Matlab.

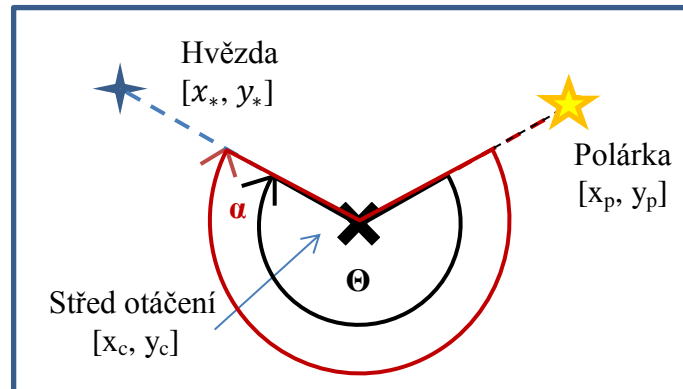
4.5.1 Poloha hvězd vzhledem ke středu snímku

Program WilliamTransferFunction spouštíme z příkazové řádky a jeho vstupními parametry jsou na první pozici snímek, ze kterého chceme vytvářet převodní funkci. Takže ideálně snímek s největším počtem detekovaných hvězd. Druhým parametrem je maska. Tou zakrýváme místa, kde se hvězdy nemohou vyskytovat, abychom do detekce nezanášely zbytečné chyby.

Program zjistí, na jakých souřadnicích na snímku se nacházejí hvězdy. Máme-li k dispozici souřadnice hvězd, program vypočítá u každé hvězdy vzdálenost od středu snímku, tedy poloměr r a úhel otočení α . Poloměr určíme pomocí vztahu:

$$r = \sqrt{(x_* - x_c)^2 + (y_* - y_c)^2}, \quad (4.3)$$

kde x_* a y_* jsou souřadnice hvězdy, x_c a y_c jsou souřadnice středu snímku. Úhel otočení α bychom mohli vztáhnout k jakémukoli místu na snímku. My ho počítáme od souřadnic Polárky, jak je uvedeno na obrázku 4.4.



Obrázek 4.4 Úhlové souřadnice používané při detekci

Díky tomu zjistíme, jak přesně se nám podařilo určit střed snímku. Jelikož by měl úhel alfa odpovídat hodnotám azimutu, který je měřen od severního světového pólu. Je to také výhodné pro pozdější orientaci ve Stellariu. O výpočet poloměru r se stará metoda:

- **CalculateRadius,**

a k výpočtu úhlu α slouží metoda:

- **CalculateAngle.**

Tyto metody opakovaně voláme pro každou hvězdu s parametry odpovídajícím souřadnicím dané hvězdy.

Pro ukládání souřadnic odpovídajícím hvězdám jsme vytvořili seznam „ListOfStars“. Jednotlivé záznamy o hvězdách přidáváme do seznamu pomocí metody

- **AddStarDataRow.**

Po přepočítání souřadnic všech hvězd je ze seznamu vytvořen soubor „StarsFromImage_yyyy_mm_dd_hh_mm_ss.txt“, kde yyyy_mm_dd_hh_mm_ss odpovídá jménu snímku, ze kterého byly detekovány hvězdy. Odpovídá tedy datu a času pořízení snímku.

Číslo	x	y	r	α
0	742	30	2349.72	306.278
1	770	30	2329.96	305.792
2	1475	85	1854.25	291.331
3	1389	89	1895.55	293.64
4	561	91	2440.93	310.294
5	725	135	2289.31	308.441
6	1096	141	2027.79	301.437
7	2521	174	1518.29	256.851
8	295	175	2598.02	315.54
9	1087	178	2005.62	302.316
10	811	198	2183.42	308.125
11	1458	213	1753.92	293.914
12	1199	317	1827.27	302.541
13	225	322	2574.31	319.109
14	1496	408	1571.09	296.597
15	394	416	2381.21	318.869
...
...
509	2791	3235	1593.95	95.0977

Tabulka 4.1 Obsah souboru „StarsFromImage_2014_03_13__00_34_59.txt“
(Number = číslo odpovídající číslu hvězdy na obrázku, Radius = r, Angle = α)

4.5.2 Databáze hvězd wildabase

William je schopen snímat jen hvězdy do určité jasnosti (magnitudy), většina z nich je viditelná pouhým okem. Množství detekovaných hvězd se během pozorování pohybovalo v rozmezí od 150 do 550 hvězd v závislosti na počasí a době pořízení snímku. K dispozici máme katalog hvězd, který obsahuje 7594 záznamů omezených maximální magnitudou 6. Lidské oko totiž zpravidla nedokáže vnímat hvězdu o vyšší magnitudě, v naprosté většině případů spíše méně. Záleží samozřejmě na citlivosti sítnice. Někteří lidé mají tak citlivou sítnici, že dokáží jen pouhým okem rozpoznat hvězdy o velikosti magnitudy 7. Hvězdy vyšší magnitudy jsou vidět pouze dalekohledem.

Atlas Coeli Novus 2000.0 obsahuje přes 70 000 hvězd omezených magnitudou 8,3. Atlas, který obsahuje více hvězd, než je možné pozorovat dalekohledem o průměru 60 mm, byl sestaven teprve nedávno na základě výsledků práce sondy Hipparcos. Tento Millenium Star Atlas obsahuje přes jeden milión hvězd do 11. magnitudy.

Pro vypočtení zisku světla v magnitudách pro objektiv dalekohledu, lze použít následujícího vzorce:

$$Zisk = 5 \cdot \log D_{OB} - 4,52, \quad (4.4)$$

kde D_{OB} je průměr objektivu dalekohledu v mm a konstanta 4,52 odpovídá průměru zornice lidského oka ($5 \cdot \log 8 = 4,52$). [21]

Rektascenze	Deklinace	Magnituda
089.35592	+00.02748	5.76
269.26800	+00.06656	6.00
117.72294	+00.07967	5.65
358.69425	+00.10928	5.77
097.21744	+00.12754	5.62
030.79850	+00.12845	5.40
110.51454	+00.17717	6.00
276.80208	+00.19606	5.6
057.16225	+00.22783	5.90
037.68821	+00.25592	6.00
298.68667	+00.27350	5.56
096.80729	+00.29928	5.19
039.87062	+00.32850	4.5
262.20692	+00.33064	5.40
085.27329	+00.33767	5.90
289.71267	+00.33843	5.32
291.62908	+00.33864	4.69
...

Tabulka 4.2 Databáze hvězd wildabase

Pro naše podmínky je zbytečné mít v databázi hvězdy s deklinací δ menší než -40° , protože ty jsou vidět jen z jižní polokoule. Proto katalog ještě upravíme a hvězdy s menší deklinací vymažeme. Tím databázi hvězd zredukujeme na 6109 záznamů a ušetříme tak tisíce zbytečných výpočetních operací, které by se jinak musely provést.

4.5.3 Vytvoření transformované databáze

V dalším kroku se z načtené databáze wildabase vytvoří nový soubor wildabase_converted.txt, obsahující rovníkové souřadnice a na základě data a času pořízené fotky z nich transformované obzorníkové souřadnice.

K ukládání informací o všech hvězdách je deklarován list WilData, do kterého jsou ukládány všechny načtené a dopočítávané informace ke všem hvězdám z načtené databáze wildabase.txt. O naplnění listu informacemi se stará metoda

- **UpdateData.**

Z tohoto listu je vytvářen soubor wildabase_converted.txt, jehož obsah je naznačen v tabulce 4.3.

Převod na obzorníkové souřadnice je realizován metodou

- **ln_get_hrz_from_equ.**

Ta je součástí volně dostupné knihovny funkcí libnova ze stránek www.libnova.sourceforge.net. Jedním ze vstupních parametrů funkce je odpovídající

juliánské datum pro okamžik pořízení snímku. K tomu, abychom mohli tuto funkci použít, je tedy třeba převést datum a čas lidmi běžně používaného gregoriánského kalendáře na juliánské datum (viz. kapitola 2.3). O to se stará metoda, jež je také součástí knihovny libnova

- **In_get_julian_day.**

Pro lepší orientaci při hledání odpovídajících hvězd ve Stellariu jsou hodnoty rektascenzí převedeny do hodinových vyjádření úhlů. Pro která platí:

- $1 \text{ h} = 15^\circ$, $1 \text{ min} = 15'$, $1 \text{ s} = 15''$,
- $1^\circ = 4 \text{ min}$, $1' = 4 \text{ s}$, $1'' = 0,06 \text{ s}$.

O tuto konverzi se stará metoda

- **DegreeToTime.**

Opět pro lepší orientaci ve Stellariu jsou i hodnoty deklinací převedeny z hodnot vyjádřených desetinným číslem na hodnoty ve stupních, minutách a vteřinách. Pro tuto úpravu slouží námi vytvořená metoda

- **DoubleToAngle.**

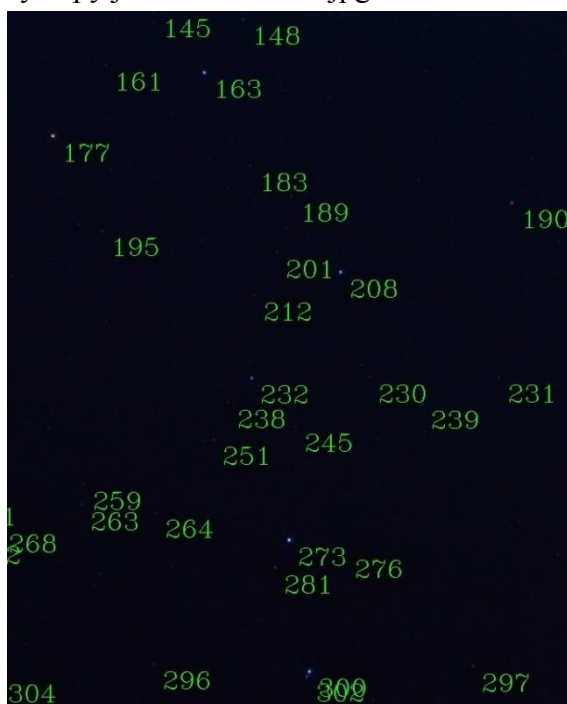
Číslo	Rektascenze	Deklinace	Azimut	Výška
0	5h57m25.416s	0°1'38.928"	270.101	-0.0483
1	17h57m4.32s	0°3'59.616"	90.1077	0.17685
2	7h50m53.52s	0°4'46.812"	247.641	17.7449
3	23h54m46.8s	0°6'33.408"	1.0019	-39.788
4	6h28m52.176s	0°7'39.144"	264.119	5.06286
5	2h3m11.628s	0°7'42.42"	321.624	-33.106
6	7h22m3.504s	0°10'37.812"	253.663	13.461
7	18h27m12.6s	0°11'45.816"	84.2325	-4.5486
8	3h48m38.952s	0°13'40.188"	296.013	-19.861
9	2h30m45.18s	0°15'21.312"	314.382	-30.034
10	19h54m44.64s	0°16'24.6"	66.6045	-18.029
...
6108	8h22m7.824s	-40°59'28.68"	218.695	-12.599

Tabulka 4.3 Obsah vytvořené databáze wildabase_converted

4.5.4 Grafický výstup programu WilliamTransferFunction

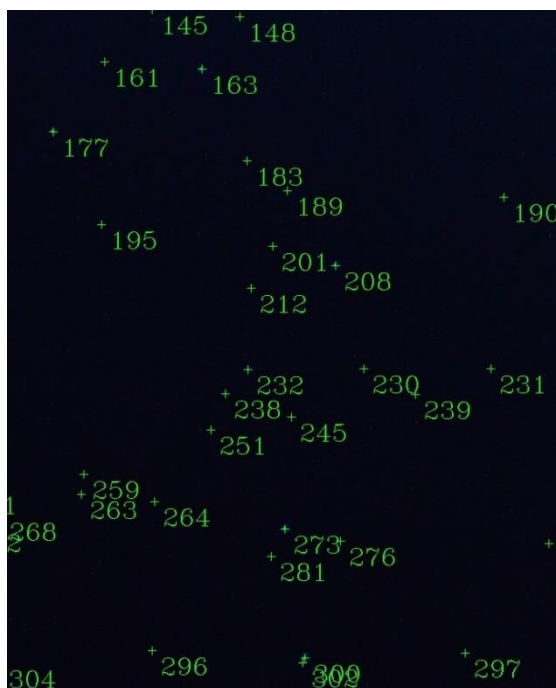
Program má kromě dvou textových souborů také dva grafické výstupy. Ty budeme využívat při manuálním rozpoznávání hvězd. Umisťuje je do stejné složky, ze které je načítán obrázek. Oba grafické výstupy ponechávají jméno načteného snímku, aby bylo

jasné, ke kterému snímku se vztahují. K názvu je pouze přidána koncovka, která je rozlišuje. Oba grafické výstupy jsou ve formátu .jpg.



Obrázek 4.5 Výřez grafického výstup bez středů hvězd

Na obrázcích 4.5 a 4.6 jsou vidět výřezy za stejných podmínek pro oba výstupy. Liší se pouze vyznačením středů hvězd. V některých případech je výhodnější pracovat s obrázkem s křížky, kdy jsou hvězdy špatně viditelné. Naopak pro lepší orientaci na přibližném snímku je lepší pracovat se snímky bez křížků a orientovat se podle konstelací jasnějších hvězd.

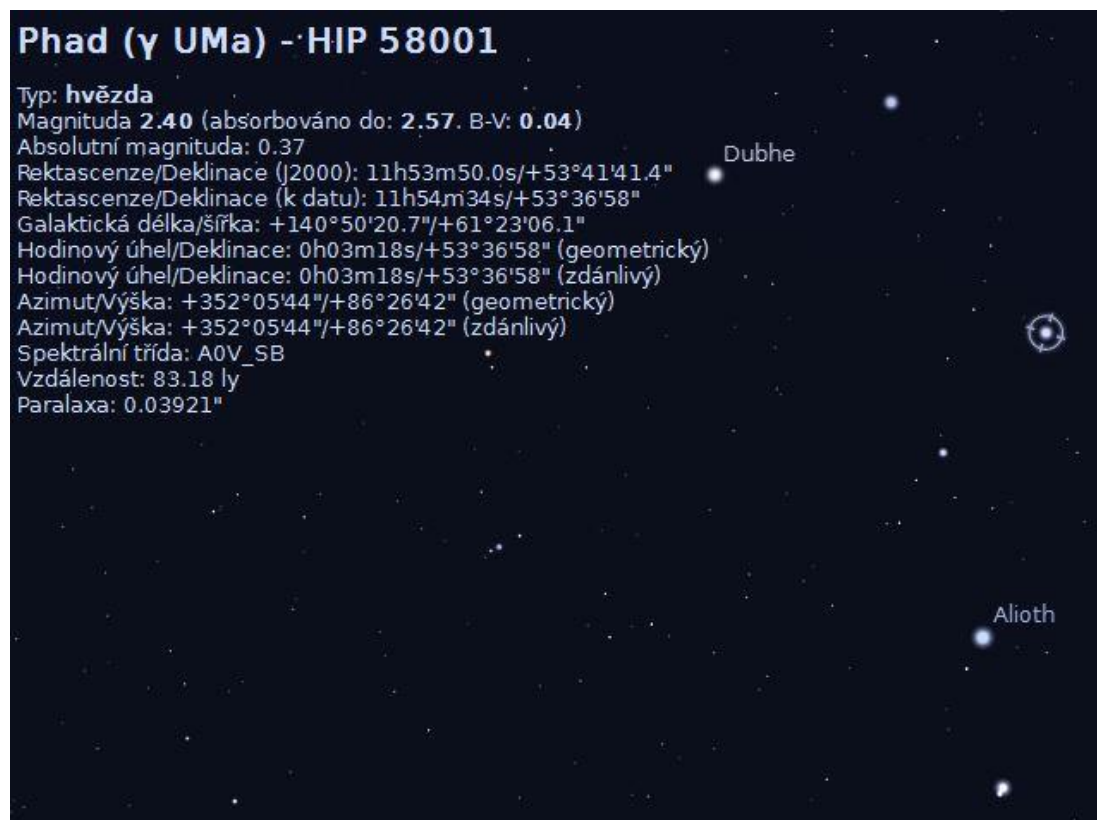


Obrázek 4.6 Výřez grafického výstup s vyznačenými středy hvězd

4.5.5 Ruční přiřazování hvězd

V tomto kroku budeme využívat všechny naše dosavadní výstupy a program Stellarium. V něm nastavíme datum a čas na hodnoty, které odpovídají době pořízeného snímku. Poté otočíme obzor tak, aby odpovídal stejnému natočení konstelací hvězd jako na pořízeném snímku.

Ve Stellariu je také možné omezit počet zobrazovaných hvězd na základě jejich magnitudy. Docílíme toho v „nastavení oblohy a pohledu [F4]“. Pro přehlednost zvolíme stejnou hodnotu, jakou jsme volili u wildabase seznamu hvězd, tedy do magnitudy 6. Hvězdy s vyšší magnitudou stejně nejsme schopni identifikovat.



Obrázek 4.7 Prostředí programu Stellarium

Na obrázku 4.7 vidíme ve Stellariu situaci z obrázků 4.5 a 4.6 pro námi detekovanou hvězdu ze souhvězdí Velké medvědice s pořadovým číslem 208. V levém horním rohu obrazovky vidíme všechny dostupné údaje o dané hvězdě. Nás zajímá pouze řádek „Rektascenze/Deklinace (J2000): 11h53m50,0s/+53°36'58““. Při manipulaci s upravenými snímky, se mi osvědčila zkušební verze programu Zoner Photo Studio 15. Program umožňuje uzamknout nastavené přiblížení (zmačknutím klávesy K). A pokud mají snímky stejné rozlišení, což v našem případě mají, můžeme přecházet libovolně mezi snímky a program bude zobrazovat přiblížený výřez na stejných pozicích. Je to výhodné, pokud je potřeba se zorientovat, kde se na obloze nacházíme a čísla nebo křížky na nás působí jako rušivý element.

Zjistíme-li jaká hvězda se skrývá pod číslem na snímku, otevřeme textový soubor „WildabaseConverted_2014_03_13__00_34_59.txt“ a v něm vyhledáme odpovídající

hodnoty rektascenze a deklinace. Z řádky zkopírujeme hodnoty azimutu (Azimuth) a výšky (Altitude).

Otevřeme druhý textový soubor „StarsFromImage_2014_03_13__00_34_59.txt“ a do řádky s číslem odpovídajícím dané hvězdě vložíme do posledních dvou sloupečků zkopírovaná data ze schránky. Do dalšího sloupečku je vhodné napsat název nebo označení hvězdy ze Stellaria, v našem případě se tedy jedná o hvězdu „Phad“. Je to vhodný pomocník v momentě, kdy po sobě chceme zkontrolovat, zda jsme neudělali někde chybu a nepřihádili tak hodnoty azimutu a výšky k jiné hvězdě. Pomocí jmen se nám bude v databázi snáze orientovat oproti orientaci podle desetinných čísel. Při sestavování převodní funkce nemá na program poslední sloupec žádný vliv.

Postup zmíněný v předcházejícím odstavci aplikujeme na několik desítek hvězd. Je třeba vybírat hvězdy ze všech možných částí snímku. Pro přesné vytvoření převodní funkce je třeba určit hodnoty pro různé hodnoty r , abychom je mohli vhodně aproximovat.

Číslo	x	y	r	α	Azimut	Výška	Označení hvězdy
0	742	30	2349.72	306.278	307.413	22.8513	S Aur
1	770	30	2329.96	305.792	306.923	23.4836	Ny Aur
2	1475	85	1854.25	291.331			
3	1389	89	1895.55	293.64			
4	561	91	2440.93	310.294	311.468	19.8001	58 Per
5	725	135	2289.31	308.441	309.533	24.7999	Epsilon Aur
6	1096	141	2027.79	301.437	302.404	33.0428	Menkalinan
7	2521	174	1518.29	256.851			
8	295	175	2598.02	315.54			
9	1087	178	2005.62	302.316	303.26	33.7307	Pi Aur
10	811	198	2183.42	308.125	309.159	28.1772	Capella
11	1458	213	1753.92	293.914			
12	1199	317	1827.27	302.541			
13	225	322	2574.31	319.109			
14	1496	408	1571.09	296.597	297.355	46.6167	
15	394	416	2381.21	318.869	319.949	21.6884	c Per
16	1980	417	1340.81	279.727	280.438	53.2788	31 Lyn
17	1544	418	1535.47	295.354	296.095	47.6681	21 Lyn
18	433	421	2345.63	318.463	319.533	22.8813	Micro Per
19	733	427	2095.8	314.167			
20	461	481	2289.93	319.348	320.379	24.6856	b Per
...
509	2791	3235	1593.95	95.0977			

Tabulka 4.4 Obsah souboru StarsFromImage_2014_03_13__00_34_59.txt

V momentě, kdy budeme mít vyplněny zbývající hodnoty pro dostatečné množství hvězd, smažeme řádky, které jsme nedoplňovali a soubor uložíme jako

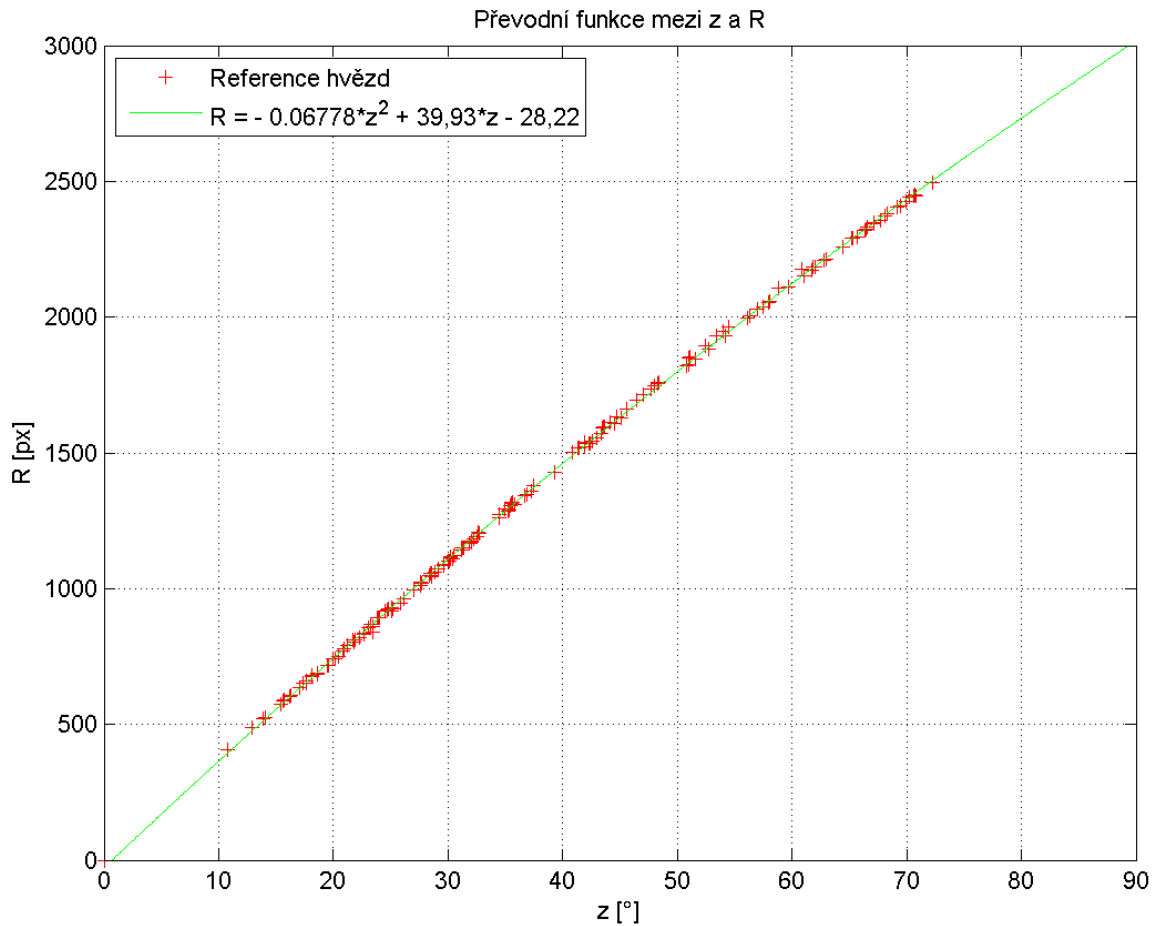
„StarsFromImageShorter.txt“. Tedy bez data a času v názvu souboru. Při práci na této diplomové práci byla převodní tabulka vytvořena ze 165 ručně přiřazených hvězd.

4.5.6 Aproximace funkce

Máme-li vytvořenou tabulku dat z předchozí kapitoly, vyneseme do grafu data poloměru r závislé na zenitové vzdálenosti z . Budeme hledat vhodný polynom funkce $r(z)$, kterou data aproximujeme. Pro výpočet zenitové vzdálenosti z platí vzorec (2.1), tedy

$$z = 90 - h.$$

Pro tento účel jsme v Matlabu připravili skript fitting.m, který načítá data z vytvořeného souboru „StarsFromImageShorter.txt“ nacházející se na příslušných pozicích tabulky. Pro experimentální hledání vhodné křivky můžeme použít nástroj cftool(z,r), a najít tak polynom vhodného stupně. Jako druhé, uživatelsky příjemnější řešení je použití příkazu fit(z,r,'poly2'), kdy víme, že chceme data prokládat polynomem 2. stupně. Pro zpřesnění jsou k prokládaným datům přidány hodnoty počátku, aby 0 z odpovídalo 0 r .



Obrázek 4.8 Převodní funkce $r(z)$

Hledaný polynom funkce $r(z)$ vhodně aproximuje data pro hodnoty:

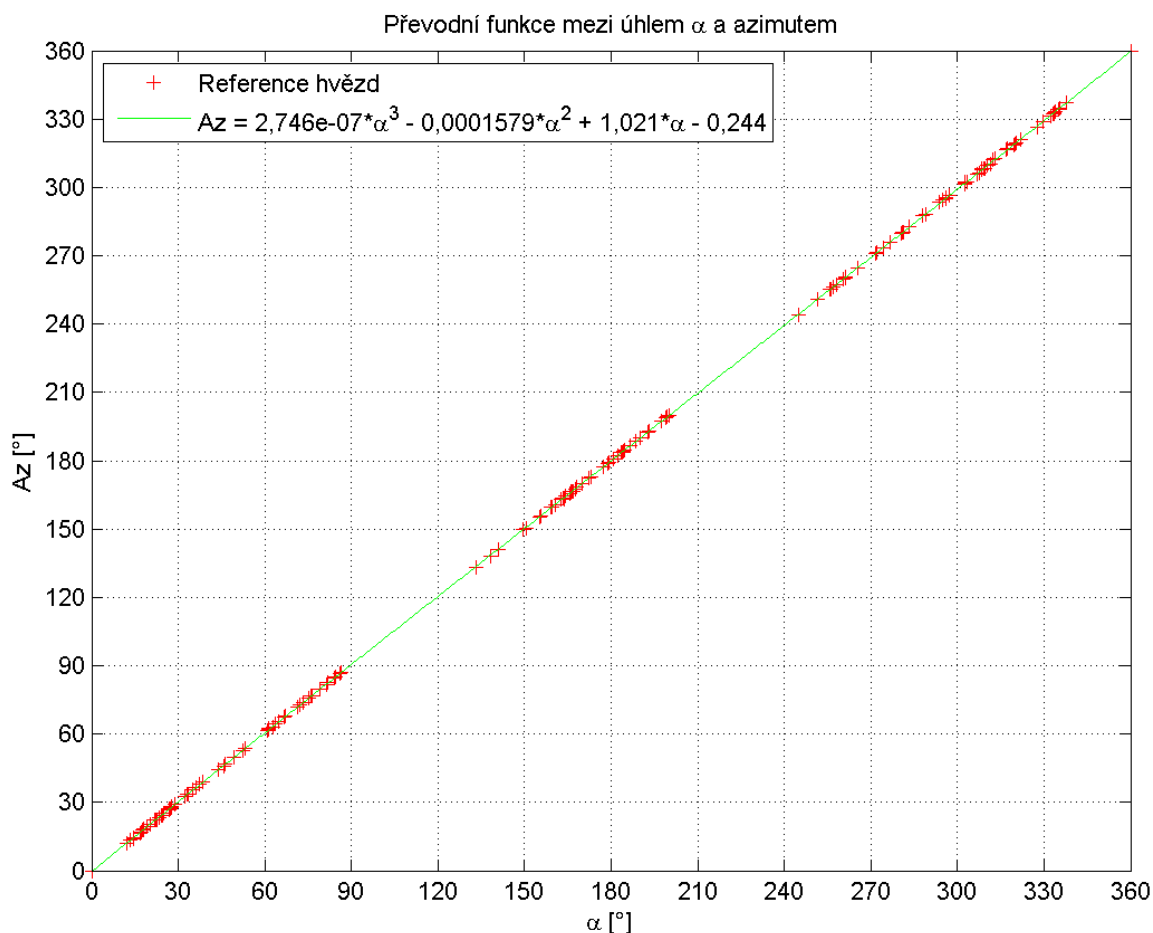
$$r(z) = p_1 \cdot z^2 + p_2 \cdot z + p_3 \quad (4.5)$$

$$p_1 = -0,06778$$

$$p_2 = 39.93$$

$$p_3 = -28,22$$

Stejným způsobem vytvoříme i převodní funkci mezi úhlem na snímku α a skutečnou hodnotou azimutu (viz. obrázek 4.4). Opět jsou k hodnotám přidány okrajové podmínky počátku a konce křivky, kdy 360° Az musí odpovídat 360° α . Hledáme převodní funkci $\alpha(Az)$.



Obrázek 4.9 Převodní funkce $\alpha(Az)$

Z grafu na obrázku 4.9 je patrné, že má převodní funkce $\alpha(Az)$ téměř lineární charakter. Na základě tabulek 4.7 - 4.9 jsme se rozhodli proložit funkci polynomem 3. stupně pro dosažení největší přesnosti. Jak je ukázáno v tabulkách, je možné funkci proložit i nižším stupněm polynomu a systém bude s nižší přesností stále plně funkční. Hledaný polynom 3. stupně vhodně aproximuje data pro hodnoty:

$$\alpha(Az) = p_1 \cdot Az^3 + p_2 \cdot Az^2 + p_3 \cdot Az + p_4 \quad (4.6)$$

$$p_1 = 2,746 \cdot 10^{-7}$$

$$p_2 = -0,0001579$$

$$p_3 = 1,021$$

$$p_4 = -0,244$$

V případě, že bychom na snímku přesně určili místo zenitu a severního světového pólu, byly by hodnoty úhlu α a azimutu identické ($\alpha = Az$).

Námi zjištěné polynomy převodních funkcí používáme v programu William.exe v metodách:

- **Equal Radius**
- **EqualAngle**

4.6 Program William

Základ programu je stejný jako v případě TransferFunction. Rozdělení do dvou programů je William z důvodu, aby se minimalizovala potřeba zasahovat do kódu. Začátek programu je tedy stejný.

4.6.1 Vstupní parametry

Prvním vstupním parametrem je opět pořízený snímek s definovaným názvem obsahujícím datum a čas pořízení. Druhý vstupní parametr je maska. Poté program načítá databázi hvězd ze souboru wildabase.txt a informace o Zenitu, Polárce a GPS ze souboru PolarkaZenitGPS.txt. Do souboru PolarkaZenitGPS.txt připišeme zjištěné hodnoty koeficientů polynomu. O načítání dat ze souboru se stejně jako v případě TransferFunction stará metoda **ReadBasicData**, proto musíme dodržet formátování ve tvaru:

$$\begin{aligned} P_1 &= [z \Rightarrow r, Az \Rightarrow \alpha] \\ P_2 &= [z \Rightarrow r, Az \Rightarrow \alpha] \\ P_3 &= [z \Rightarrow r, Az \Rightarrow \alpha] \\ P_4 &= [z \Rightarrow r, Az \Rightarrow \alpha] \\ &\dots \\ P_9 &= [z \Rightarrow r, Az \Rightarrow \alpha], \end{aligned}$$

kde $z \Rightarrow R$ je číslo charakterizující koeficient polynomu funkce pro výpočet poloměru r ze zenitové vzdálenosti. Obdobně $Az \Rightarrow \alpha$ je koeficient polynomu funkce pro výpočet úhlu α z azimutu. Koeficienty polynomů musí být zadány v pořadí, v jakém odpovídají příslušným exponentům. Koeficient P_1 odpovídá proměnné s nejvyšším exponentem, platí tedy:

$$r(z) = p_1 \cdot z^4 + p_2 \cdot z^3 + p_3 \cdot z^2 + p_4 \cdot z + p_5.$$

Hodnoty desetinných čísel koeficientů je možné zadávat pomocí exponenciálního tvaru desetinného čísla. Program dokáže načíst polynom až 8. stupně pro případ, že by byla soustava vybavena objektivem, který by tak vysoký stupeň polynomu vyžadoval pro aproximaci převodní funkce. V případě použití objektivu Sigma 10mm F2.8 EX DC pro Nikon nám pro aproximaci funkce stačil polynom 3. stupně. Pro polynom 3. Stupně stačí zadat řádky pro P_1 až P_4 a zbylé nechat prázdné nebo jinak formátované.

Samozřejmě je možné zadat předpis převodní funkce s rozdílným stupněm polynomu. V takovém případě je nutné dodržet formátování a na místo koeficientu odpovídajícímu vyššímu stupni polynomu zapsat nulu. Mějme například převodní funkci $r(z)$ definovanou polynomem 3. stupně a převodní funkci $\alpha(Az)$ definovanou polynomem stupně 2. Pak na řádku P_4 bude text obsahující [koeficient pro $z^0,0$].

Zmíněné dva soubory musí být uloženy v podadresáři „William input Data“ nacházející se v adresáři, ve kterém se nachází spouštěcí soubor WILLIAM.exe. Po načtení dat dochází nejprve k detekci hvězd. U každé hvězdy je pomocí metod **CalculateRadius** a **CalculateAngle** vypočtena hodnota vzdálenosti od zenitu r a úhel otočení od Polárky.

4.6.2 Převod SEČ na UTC

K tomu, abychom mohli využít funkcí pro transformování ekvatoriálních souřadnic na obzorníkové, je třeba se synchronizovat s UTC časem, o kterém jsme se zmiňovali v kapitole 3.4. Jelikož se nacházíme ve střední Evropě, platí pro nás časové pásmo UTC+1, které musíme zadat do souboru „PolarkaZenit.txt“. To předbíhá v zimním období o 60 minut pásmo UTC. Můžeme se také setkat s označením času v tomto pásmu jako SEČ (středoevropský čas) nebo CET (z anglického Central European Time). O převod ze zimního středoevropského času se stará metoda

- **GetUTC**

Od středoevropského času totiž nestačí jen odečíst 1 hodinu. Musíme brát zřetel na okrajové podmínky. Je třeba si uvědomit, co se stane v momentě, kdy byl snímek pořízen v době mezi 0:00:00 až 0:59:59. Po pouhém odečtení 1 hodiny bychom se dostali do záporných hodnot, což u vyjádření času nelze. Proto se musí změnit datum na předcházející den a čas pořízení snímku na 23 hodin.

Další okrajovou podmínkou musí být datum. V případě, že byl snímek pořízen v době mezi 0:00:00 až 0:59:59 prvního dne v měsíci musí se změnit datum na 30. nebo 31. v závislosti na tom, jaký byl minulý měsíc.

Speciálním případem je datum 1. března u snímků do 1 hodiny ranní, kdy je třeba počítat s proměnnou délkou měsíce února. Pro vypořádání se s touto podmínkou, je potřeba definovat metodu, která bude testovat, zda byl v roce, ve kterém byl pořízen snímek, přestupný rok. O to se stará metoda

- **LeapYear**

Přestupný rok je třeba ošetřit, takže i zde musíme definovat okrajové podmínky. Ne každý rok, který je dělitelný čtyřmi, je automaticky přestupným. Mírnou komplikací jsou roky na začátku století. Takový rok je přestupným, je-li dělitelný 100 a zároveň 400 beze zbytku. Takže například rok 2000 byl přestupným, ale rok 2100 už přestupným nebude. V případě, že byl rok vyhodnocen jako přestupný, bude datum nastaveno na 29. února.

Poslední okrajovou podmínkou je případ, kdyby byl snímek pořízen 1. ledna do 1 hodiny ranní. V takovém případě se musí změnit den na 31. prosinec a rok se o jeden zmenšit.

Opakný postup nastane, pokud snímky pořídíme na západní polokouli, kde jsou definována záporná časová pásma UTC. V případě pásma UTC-1 naopak hodinu přičítáme. Opět je třeba počítat s podmínkami posledního dne v únoru, prosinci a kontrolou přestupného roku. V případě, že se nacházíme ve vzdálenějším pásmu, je metoda volána tolikrát, kolikrát je třeba k získání času UTC.

4.6.3 Převod SELČ na UTC

V případě letního času hovoříme o tzv. SELČ tedy středoevropském letním čase. Ten se liší od UTC o 2 hodiny. Oproti SEČ tedy ještě o hodinu více. Pro převod z SELČ na UTC tedy stačí dvakrát po sobě zavolat již zmíněnou metodu

- **GetUTC**

Zavádíme tedy kritérium, které rozhoduje o tom, zda byl snímek pořízen se středoevropským zimním nebo letním časem. Co mírně komplikuje situaci je definice letního času. Pro začátek a konec letního času totiž není stanoveno žádné pevné datum. Ze středoevropského zimního času přecházíme na letní vždy poslední neděli v měsíci březnu a to z 2:00 na 3:00.

Obdobně je definován přechod ze středoevropského letního času na čas zimní. Děje se tak opět poslední neděli v měsíci říjnu a to z 3:00 zpět na 2:00.

Musíme tedy zjistit, jaké datum v příslušném roce odpovídá poslední neděli v březnu a říjnu. Toho je možné dosáhnout za pomoci věčného kalendáře. To je tabulka, ze které je možné zjistit, který den v týdnu připadá na určité datum. Vytváření věčného kalendáře by bylo ale zbytečně zdlouhavé, a tak pro zjištění dne v týdnu použijeme jinou metodu a to tzv. Zellerův algoritmus.

V některých zemích, jakými jsou například Rusko, Bělorusko a Ukrajina, je od roku 2011 zaveden letní čas celoročně.[22] V případě, kdybychom se vyskytovali v některé z těchto zemí, máme dvě možnosti. Můžeme kontrolu letního času zakomentovat a v souboru „PolarkaZenit.txt“ přepsat hodnotu časového pásma UTC na hodnotu vzdálenějšího pásma. V takovém případě by program fungoval celoročně bez nutnosti zásahu uživatele. Druhou možností je kontrolu letního času ponechat. Poté by program fungoval bez problémů v letním období a pro období zimní je třeba opět přepsat hodnotu UTC pásma v načítaném souboru na hodnotu pásma vzdálenějšího.

4.6.4 Zellerův algoritmus

Princip Zellerova algoritmu spočívá v hledání zbytkových tříd, kdy je každý den v týdnu definován jinou zbytkovou třídou (stejně zbytkové třídy jsou používány i ve věčném kalendáři). Na rozdíl od věčného kalendáře nepoužívá žádných tabulek, potřebných k určování dne v týdnu a odpadá zde problém s tím, že rok není dělitelný sedmi.

Pondělí	[1]	1. den v týdnu
Úterý	[2]	2. den v týdnu
Středa	[3]	3. den v týdnu
Čtvrtek	[4]	4. den v týdnu
Pátek	[5]	5. den v týdnu
Sobota	[6]	6. den v týdnu
Neděle	[0]	7. den v týdnu

Tabulka 4.5 Tabulka zbytkových tříd

Datum z gregoriánského kalendáře, tzn. datum pořízení snímku, rozdělíme na čtyři celá čísla d , m , r , s . Proměnné tedy musí být typu integer. Písmeno d označuje den v měsíci, takže pro d platí $1 \leq d \leq 31$. Písmeno m označuje pořadové číslo měsíce v roce. Zellerův algoritmus ale počítá s jiným řazením měsíců, než na který jsme zvyklí. Řazení se zde počítá od března do února.

První měsíc Zellerova algoritmu je tedy březen a je pro něj definováno $m = 1$. Pro prosinec tedy platí $m = 10$. Leden a únor se řadí až za měsíc prosinec, takže měsíci lednu odpovídá $m = 11$ a $m = 12$ odpovídá únoru. Je to výhodné v případě přestupného roku, kdy se případný 29. únor přesouvá na konec posledního měsíce.

Letopočet rozdělíme na dvě čísla. Poslední dvojčíslí vložíme do písmene r , které charakterizuje roky ($0 \leq r \leq 99$). Zbývající čísla uložíme do písmene s , jako století (zde není myšleno století doslovně, jelikož se nacházíme v 21. století, ale do s vkládáme číslo 20).

V případě, že byl snímek pořízen v lednu nebo únoru, přičítáme k číslu měsíce 10. Zároveň ale musíme snížit rok o 1. Máme-li takto načtené informace o datu, vypočítáme následující výraz

$$t = d + \frac{(13 \cdot m - 1)}{5} + r + \frac{r}{4} + \frac{s}{4} + 5 \cdot s, \quad (4.7)$$

kde t musí být typu integer, stejně jako všechny proměnné. Zellerovo pravidlo říká, že číslo t dává při dělení sedmi stejný zbytek jako pořadové číslo daného dne v týdnu. Na číslo t tedy aplikujeme matematickou operaci modulo 7. Výše popsaný postup realizuje metoda

- **ZellerCount.**

Abychom našli, které datum odpovídá poslední neděli v měsíci, metoda obsahuje for cyklus pro d rovno od 25 do 31. V momentě, kdy pro příslušné d (den) vyjde po dělení 7 zbytek nula, známe, který den v posledním týdnu měsíce byla neděle.

Tímto způsobem zjistíme, který den začíná a končí středoevropský letní čas SELČ.

4.6.5 Vytvoření rozšířeného seznamu hvězd

Program William je velmi podobný programu TransferFunction, který je popsán v kapitole 4.5. Pro zvýšení přehlednosti je zachováno pojmenování funkcí a proměnných vykonávajících v obou programech stejnou činnost. Rozšířená je metoda

- **UpdateData,**

kteřá se stará o ukládání dopočítaných informací z načtené databáze hvězd (viz. kapitola 4.5.3).

Z vypočítaných hodnot obzorníkové souřadnice výšky každé hvězdy z databáze dopočítáme předpokládanou vzdálenost od středu snímku. O to se stará metoda

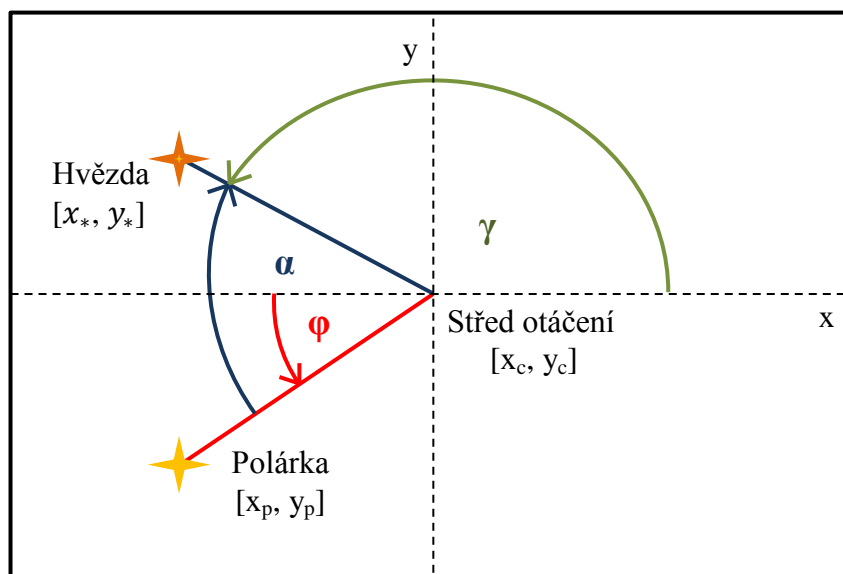
- **EqualRadius.**

Tato metoda pro výpočet vzdálenosti od středu snímku využívá námi zjištěný polynom, popisující funkci $r(z)$ z obrázku 4.8. Vstupním parametrem této metody je zenitová vzdálenost, která se vypočítá podle vztahu 2.1. Platí tedy $z = 90 - h$, kde z je zenitová vzdálenost a h je výška.

Pro každou hvězdu vypočítáme úhel α dosazením obzorníkové souřadnice azimutu do polynomu popisující funkci $\alpha(Az)$ z obrázku 4.9. K tomu slouží metoda

- **EqualAngle.**

Nyní známe předpokládanou polohu na obrázku vyjádřenou pomocí polárních souřadnic každé hvězdy z databáze. Počátkem polárního systému souřadnic jsou souřadnice zenitu, které jsou načítány z textového souboru PolarkaZenitGPS.txt společně se souřadnicemi hvězdy Polárky. Úhel α je počítán v matematicky záporném směru, tedy ve směru hodinových ručiček, od směrového vektoru vypočítaného ze souřadnic zenitu a Polárky k směrovému vektoru přímky orientované od zenitu ke každé hvězdě.



Obrázek 4.10 Orientace úhlů na obrázku

K tomu, abychom mohli převést souřadnice z polárního souřadného systému do kartézských souřadnic, musíme definovat úhel γ . Ten je orientován v matematicky kladném směru (proti směru hodinových ručiček) od osy x . Jelikož je směrový vektor přímky orientované od Zenitu k Polárce závislý na jejich souřadnicích, které jsou po každé manipulaci s kamerou jiné, pro výpočet úhlu γ platí

$$\gamma = \alpha - 180 - \varphi. \quad (4.8)$$

Ze znalosti úhlu γ jsme schopni převést polární souřadnice do kartézského souřadného systému a to za pomoci vztahů:

$$x = x_c + r \cdot \cos \gamma, \quad (4.9)$$

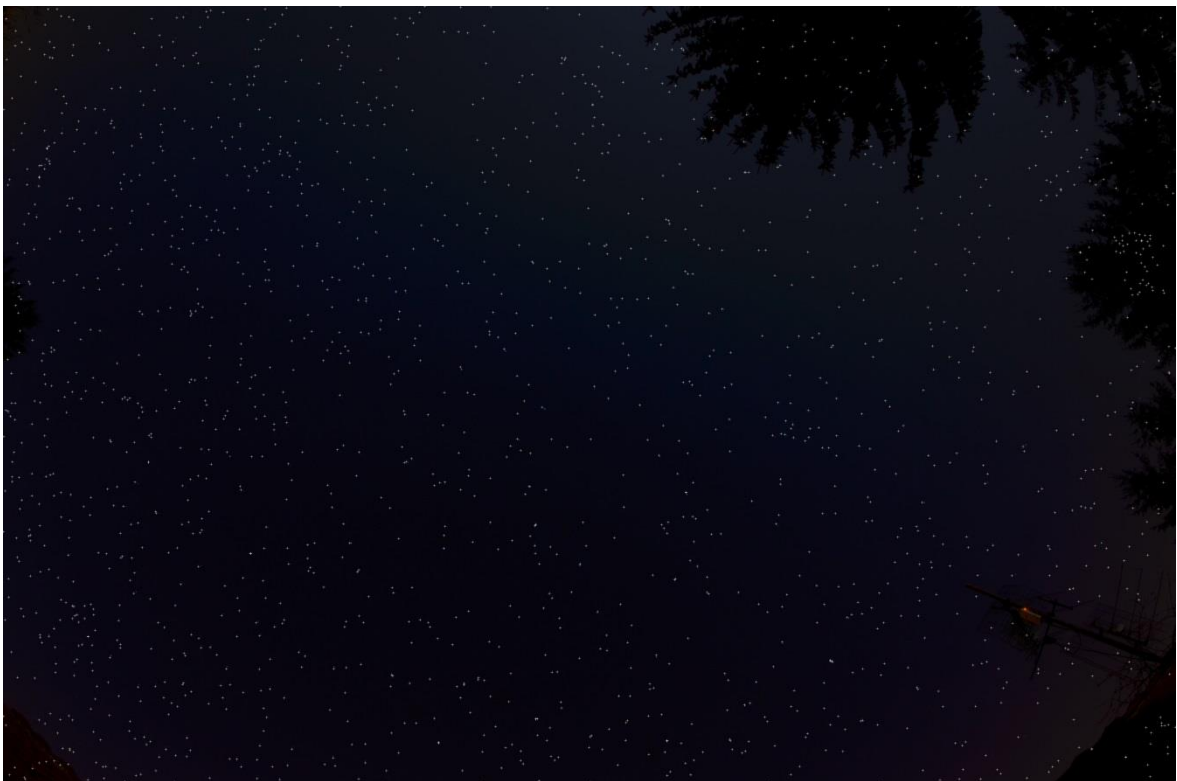
$$y = y_c - r \cdot \sin \gamma, \quad (4.10)$$

kde x_c a y_c jsou souřadnice zenitu, tedy středu otáčení a r je předpokládaná vzdálenost hvězdy z katalogu od zenitu vypočtena pomocí převodní funkce.

Vztahy 4.7 a 4.8 jsou realizovány metodami

- **BackX**
- **BackY**

Takto vypočtené x a y souřadnice hvězd z katalogu jsou v rámci metody `UpdateData` ukládány do listu **WilData** společně se všemi ostatními informacemi o hvězdě. Máme zde tedy uloženy načtené záznamy o rektazenci, deklinaci a magnitudě z databáze hvězd. Dále hodnoty obzorníkových souřadnic (azimutu a výšky) a jim odpovídající hodnoty vzdálenosti r a úhlu α . Pro případnou kontrolu je zde ukládána i hodnota úhlu γ pro každou hvězdu a v posledních dvou sloupcích předpokládané x a y souřadnice hvězdy.



Obrázek 4.11 Snímek s vykreslenými hvězdami z načtené databáze

Pro ověření správnosti postupu je v kódu vytvořena metoda, která se stará o vykreslení takto zjištěných teoreticky viditelných hvězd s x a y souřadnicemi menšími, než je rozlišení snímku. Tato metoda se jmenuje

- **DrawFakeStars,**

jejím výstupem je načítaný snímek, do kterého jsou vykresleny bílé křížky znázorňující hvězdy na předpokládaných souřadnicích, viz obrázek 4.11. Název souboru zůstává zachován jen je na jeho konec přidána koncovka `_fakestars.jpg` a metodu aktivujeme zadáním libovolného 3. parametru do příkazové řádky.

Tato metoda slouží k zřehlednění dokumentace a případnému vizuálnímu ověření správné funkce. Výsledný program ji ke své činnosti nepoužívá, aby nedocházelo k zbytečnému zaplňování disku redundantními snímky.

4.6.6 Závěrečné porovnávání

Poslední krok našeho algoritmu spočívá v porovnávání x a y souřadnic hvězd detekovaných na snímku s x a y souřadnicemi uložených hvězd v seznamu **WilData**. Maximální možnou odchylku, kdy je detekovanou hvězdu možné považovat za hvězdu, jsme stanovili na 40px. Tuto hodnotu je možné změnit přepsáním přiřazované hodnoty do proměnné **Tolerance** hned na začátku kódu. Nepředpokládá se však, že by bylo třeba tuto hodnotu měnit, proto není načítána externě.

Pro snížení počtu operací a nároků na paměť nepočítáme se všemi prvky ze seznamu WilData nýbrž jen s těmi, které svými x a y souřadnicemi splňují podmínku pro vykreslení do snímku. Nalezené souřadnice tedy musí být menší, než je rozlišení načteného snímku.

Pro každý detekovaný bod počítáme vzdálenost stejně jako v případě počítání vzdálenosti hvězdy od zenitu podle vzorce (4.3)

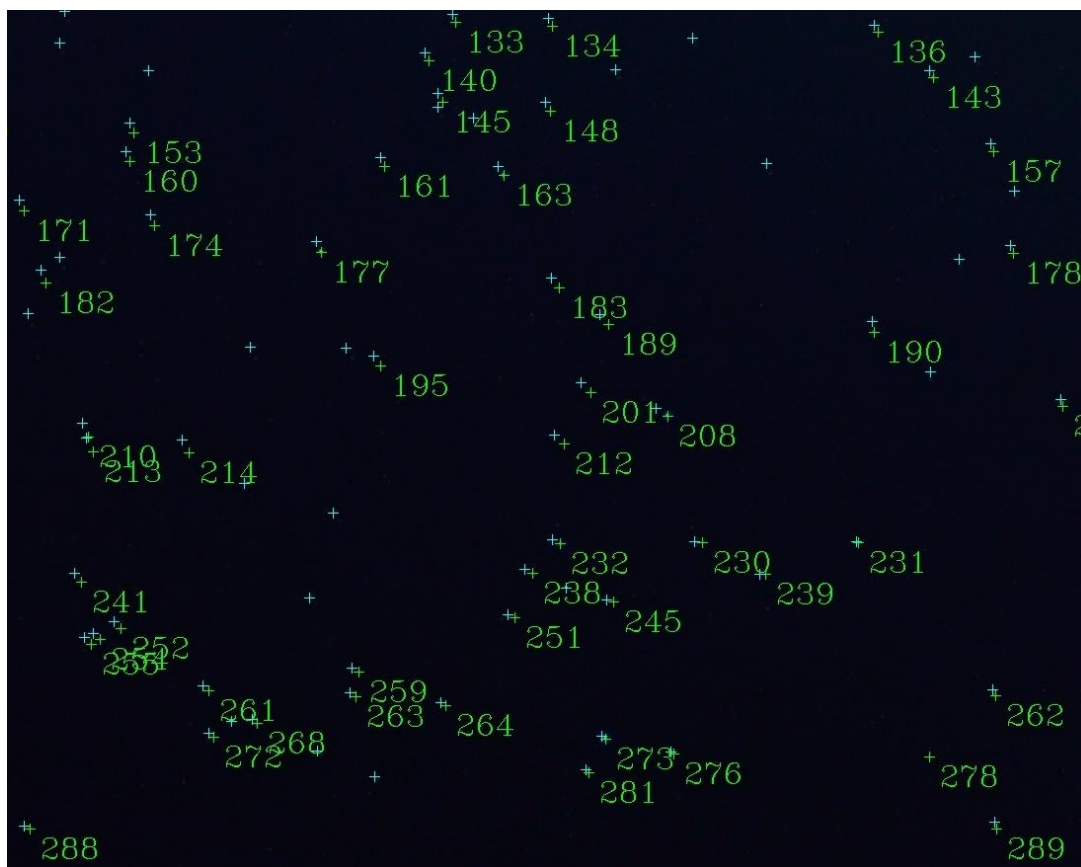
$$r = \sqrt{(x_* - x_c)^2 + (y_* - y_c)^2},$$

s tím rozdílem, že x_c a y_c nejsou souřadnice zenitu nýbrž souřadnice detekovaného bodu a x_* a y_* jsou souřadnice hvězd v seznamu WilData. V případě, že se v okolí detekovaného bodu vyskytuje hvězda ze seznamu WilData, jejíž vzdálenost od detekovaného bodu je menší, než je hodnota tolerance, je předběžně považována za detekovanou hvězdu. Takhle projdeme všechny prvky seznamu, které splňují podmínku velikostí hodnot x , y . Hledáme takovou hvězdu, jejíž vzdálenost je od detekovaného bodu nejmenší a zároveň menší, než jaká je hodnota prahu tolerance. V programu tento postup realizuje metoda

- **ResultStar.**

Výstupem je textový soubor obsahující číslo hvězdy odpovídající číslu na snímku, x a y souřadnice detekovaného bodu na snímku a rektascenzi, deklinaci a magnitudu hledané hvězdy. Část textového souboru je demonstrována v tabulce 4.6.

V případě, že se v blízkosti menší, než je práh tolerance (40 px) od okolí detekovaného bodu, nenachází žádná hvězda ze seznamu WilData, detekovaný bod není hvězdou. Může se tak stát v případě zaznamenání přelétávajícího letadla, helikoptéry či obyčejného prachu v kombinaci s veřejným osvětlením. Takový případ nastal například na obrázku 4.12 u detekovaného bodu 278. V jeho blízkém okolí se nenalézá žádná hvězda z načtené databáze, a tak je správně vyhodnoceno v tabulce 4.6, že se nejedná o hvězdu.



Obrázek 4.12 Výřez snímku s detekovanými body a zakreslenými hvězdami ze seznamu WilData

Hvězda	x	y	REKTASCENZE	DEKLINACE	MAGNITUDA
...
269	567	2005	23h39m20.88s	77°37'57"	3.20
270	2904	2009	12h50m10.68s	37°31'1.2"	5.90
271	3273	2014	12h51m41.76s	27°32'26.52"	4.90
272	1817	2018	12h59m54.96s	66°35'51"	5.40
273	2214	2020	12h54m1.8s	55°57'35.28"	1.75
274	3503	2020	12h53m17.52s	21°14'41.28"	4.90
275	767	2021	22h47m29.04s	83°9'14.76"	5.00
276	2283	2035	12h56m17.88s	54°5'57.84"	6.00
277	1011	2038	17h32m12.84s	86°35'11.4"	4.40
278	2542	2038	*** Detekovaný bod není hvězda ***		
279	253	2048	23h47m54.6s	67°48'24.48"	5.00
280	2873	2052	12h56m1.68s	38°19'6.24"	2.86
281	2197	2054	13h0m43.92s	56°21'59.04"	4.90
282	3641	2066	12h58m55.56s	17°24'33.84"	4.78
283	1200	2078	14h50m20.4s	82°30'42.84"	5.69
...

Tabulka 4.6 Výstupní tabulka s detekovanými hvězdami

Pro vykreslení obrázku 4.12 se používá již zmíněná metoda DrawFakeStars, v kombinaci s grafickým výstupem z kapitoly 4.5.4. Pro vytvoření grafických výstupů s koncovkami _outputAll.jpg a _fakestars.jpg metodu aktivujeme zadáním libovolného 3. parametru v příkazové řádce (1. parametr je název snímku, 2. parametr je maska). Zeleně očíslované body jsou detekovanými body, ke kterým hledáme jejich ekvivalent z databáze hvězd. Světlé modré body jsou předpokládané pozice hvězd uvedených v databázi. Vzhledem k poměrně přesně vytvořeným převodním funkcím vidíme, že rozdíly mezi detekovanými body a předpokládanými hvězdami jsou v řádech jednotek pixelů. U bodů, v jejichž vzdálenosti do 40 px nenalezneme žádnou hvězdu, můžeme bezpečně vyloučit, že by byly hvězdami.

4.6.7 Výběr vhodného stupně polynomu

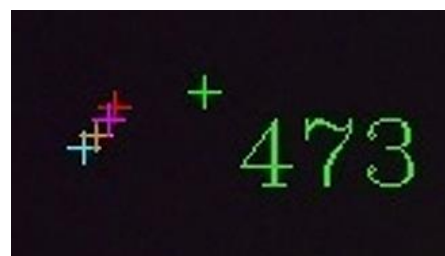
U snímku 2014_03_13__00_34_59.jpg jsme hledali takovou kombinaci polynomů převodních funkcí, která dosahuje nejlepších výsledků. Jako hodnotící kritérium jsme zvolili průměrnou a maximální odchylku hledané hvězdy od jejího obrazu. Detekované body, u kterých bylo rozhodnuto, že se nejedná o hvězdy, se do statistiky nepočítali. Proto maximální možná odchylka mohla být 40 px. Průměrná odchylka je počítána jako aritmetický průměr

$$\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i, \quad (4.11)$$

kde r_i je vzdálenost hvězdy z databáze od detekovaného bodu a n značí počet rozpoznaných hvězd.

r(z) polynom 2. stupně				
Stupeň polynomu $\alpha(Az)$	4	3	2	1
r_i [px]	8,74112	8,60156	10,9413	11,1173
r_{max} [px]	32,494	29,2836	37,4803	37,3278

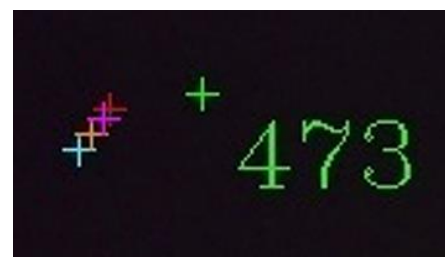
Tabulka 4.7 Kombinace r(z) 2. stupně a $\alpha(Az)$



Obrázek 4.13 Maximální odchylky u polynomu 2. stupně r(z)

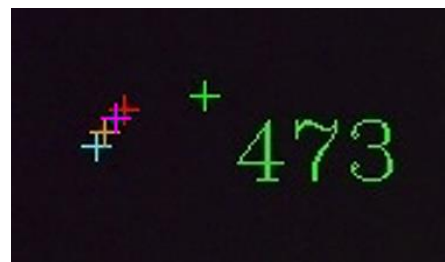
r(z) polynom 3. stupně				
Stupeň polynomu $\alpha(Az)$	4	3	2	1
r_i [px]	8,82737	8,64622	10,8584	11,0607
r_{max} [px]	33,2628	30,1362	38,1463	36,7992

Tabulka 4.8 Kombinace r(z) 3. stupně a $\alpha(Az)$



Obrázek 4.14 Maximální odchylky u polynomu 3. stupně r(z)

r(z) polynom 4. stupně				
Stupeň polynomu $\alpha(Az)$	4	3	2	1
r_i [px]	8,86296	8,67654	10,8817	11,0884
r_{max} [px]	33,002	29,8476	37,92	36,6817



Tabulka 4.9 Kombinace r(z) 4. Stupně a $\alpha(Az)$

Obrázek 4.15 Maximální odchylky u polynomu 4. Stupně r(z)

Z tabulek 4.7 - 4.9 jsme určili, že nejlepších výsledků minimální průměrné odchylky dosáhneme kombinací polynomu 2. stupně převodní funkce r(z) a polynomu 3. stupně převodní funkce $\alpha(Az)$. Pro tento případ také platí minimální odchylka u hvězdy 473 ve spodním pravém okraji snímku, kde byla pro všechny kombinace detekována největší vzdálenost bodu na snímku od hvězdy z databáze. Na obrázcích 4.13 - 4.15 je vždy tato odchylka znázorněna graficky. Zelenou barvu představuje detekovaný bod, azurová barva platí pro polynom 1. stupně, 2. stupni odpovídá oranžová, 3. stupni červená a 4. stupni purpurová.

Snímek	Počet detekovaných bodů	Průměrná odchylka \bar{r}_i [px]	Maximální odchylka r_{max} [px]
2014_03_13_00_14_59	493	8,6572	32,2888
2014_03_13_00_34_59	500	8,6508	29,2836
2014_03_13_00_55_00	486	8,4076	32,6206
2014_03_13_01_15_00	508	8,2606	33,6989
2014_03_13_01_34_59	501	8,1133	29,5589
2014_03_13_01_55_00	523	8,2788	32,6783
2014_03_13_02_14_59	534	8,2582	32,1093
2014_03_13_02_35_00	547	8,3134	31,6522
2014_03_13_02_54_59	558	8,3472	31,1053
2014_03_13_03_14_59	508	8,1662	32,2005
2014_03_13_03_34_59	514	8,2990	30,9999
2014_03_13_03_55_00	598	8,2251	29,9446
2014_03_13_04_14_59	585	8,0335	31,5162
2014_03_13_04_35_00	601	8,1866	36,1093
2014_03_13_04_54_59	615	7,9458	34,4881
2014_03_11_01_35_20	449	7,5964	30,6418
2014_03_10_00_55_19	447	7,4396	30,3507
2014_03_09_22_55_19	469	8,2462	30,8015
Průměrná odchylka z vybraných snímků	-	8,1903	31,7805

Tabulka 4.10 Seznam testovaných snímků

Na základě tabulek 4.7 - 4.9 jsme se rozhodli převodní funkci $r(z)$ aproximovat polynomem 2. řádu a funkci $\alpha(Az)$ polynomem 3. řádu. Pro toto nastavení jsme vypočítali průměrnou odchylku ze snímků pořízených ve 20 minutových intervalech od půlnoci 13.3.2014 do východu Slunce. Do statistiky jsme zahrnuli i několik snímků pořízených v jiném časovém rozmezí, abychom demonstrovali funkčnost algoritmu pro jiné dny. Hodnoty odchylek jsou uvedeny v tabulce 4.10.

5. Závěr

V teoretické části je shrnuto několik základních vlastností hvězd. Důraz je kladen na jejich pohyb vůči planetě Zemi a způsoby vyjádření jejich polohy v časově závislé a nezávislé soustavě. Podstatnou teoretickou část věnujeme časovým pásmům. Jelikož je systém navržen tak, aby fungoval na všech místech naší planety, je správný časový údaj místa, ze kterého jsou snímky pořizovány, jednou z nejdůležitějších informací, kterou pro správnou funkci programu potřebujeme znát. Program je navržen tak, aby byl aplikovatelný rovněž na archivované snímky. V momentě, kdybychom program chtěli aplikovat vždy jen na aktuálně pořízený snímek, bylo by možné program upravit zakomentováním metod pro přepočítání času a pracovat přímo s časem UTC, který bychom zjišťovali společně se zeměpisnými souřadnicemi z GPS modulu. Samozřejmě by bylo možné tento postup aplikovat i na archivované snímky. V takovém případě by ale bylo nutné archivovat společně s pořízeným snímkem vždy i textový soubor, v němž by byl uložen čas odpovídající pásnu UTC nebo jej vsadit do názvu ukládaných snímků. Aby program nebyl závislý na dalším textovém vstupu, zvolili jsme naši metodu, která se stará o časovou konverzi.

Obě převodní funkce měly více lineární charakter, než jaký jsme při počátečním návrhu předpokládali. Právě díky tomu, je systém navržen mnohem přesněji. Původní návrh počítal s nepřesností (odchylkou) okolo 50 - 60 px u hvězd detekovaných u okrajů snímku. Díky námi vytvořeným převodním charakteristikám jsme mohli toleranci snížit i s dostatečnou rezervou na 40 px.

V podkapitole 4.6.7 jsme na několika snímcích program testovali. V tabulce 4.10 jsou uvedeny maximální odchylky detekovaných bodů od předpokládaných míst odpovídajícím hvězdám z katalogu. Maximální odchylka se projevila vždy u hvězdy s největší vzdáleností od středu snímku. Zpravidla se jednalo o pravý spodní roh, právě proto je u obrázků 4.13 - 4.15 uvedena pro demonstraci hvězda s pořadovým číslem 473. Z maximálních odchylek uvedených v tabulce 4.10 je patrné, že i námi nastavená tolerance 40 px je naprosto dostačující. Pro více než 95% hvězd by stačila tolerance do 30 px. U hvězd v okolí zenitu (středu snímku) se nejméně projevily rozdíly vypočtených převodních funkcí od ideálních převodních funkcí, pro které by platila nulová tolerance a obraz hvězdy z katalogu by přesně odpovídal pozici detekovaného bodu. V okolí zenitu se odchylka pohybovala mezi 4 - 10 px a s rostoucí vzdáleností rostla až k maximální odchylce pohybující se okolo 30 px, což je pořád výborný výsledek, který předčil naše očekávání.

Ve stejné podkapitole jsme také zjistili, která z vhodných aproximací dosahuje nejlepších výsledků. Přesvědčili jsme se, že větší vliv na přesné rozpoznávání má převodní funkce pro výpočet úhlu α , kdy se i půlstupňová nepřesnost u okrajů snímku projeví výraznou odchylkou. Z našeho měření vyplývá, že nejvhodnější křivka prokládající data je charakterizována polynomem 3. řádu. Nicméně k tomu, aby systém bezpečně rozeznával detekované hvězdy, jsou vyhovující i všechny ostatní testované varianty. Byť by systém pracoval s nižší přesností (v průměru o 2-3 px), stále by dosahoval větší přesnosti než, se kterou jsme původně počítali. Naproti tomu z tabulek 4.7 - 4.9 je patrné, že stupeň polynomu, kterým prokládáme převodní funkci $r(z)$, se u průměrné a maximální odchylky

projeví maximální změnou o hodnotu 0,9 px. To je naprosto zanedbatelný rozdíl, a proto jsme zvolili, pouze 2. stupeň polynomu, který shodou okolností dosahoval nejlepších výsledků v kombinaci s 3. stupněm polynomu převodní funkce $\alpha(Az)$.

Pro vytvoření převodních funkcí jsme ručně rozpoznali z jednoho snímku 165 hvězd a na základě dat z těchto 165 hvězd jsme vytvořili převodní funkce. Pro případné zpřesnění by bylo možné tento postup opakovat u dalších snímků a vytvořit společnou převodní funkci, která by byla počítána z více dat. Vyplnily by se tak chybějící data pro hodnoty azimutu odpovídající $90^\circ - 130^\circ$ a $205^\circ - 240^\circ$ z obrázku 4.9, která by se mohla projevit mírnou změnou převodní funkce.

Testované snímky byly pořizovány s 10 s dobou expozice. Takto dlouhou dobu expozice jsme volili kvůli zachycení slabších jasových bodů, tedy hvězd s vyšší magnitudou (maximálně do hodnoty 6). Tím jsme docílili detekování většího počtu hvězd, což bylo žádoucí pro vytváření převodních funkcí. Tuto dobu expozice jsme rovněž volili z důvodu zaručení stálosti hvězd. U delších dob expozic by hrozilo, že se na snímcích projeví rotace Země, tedy vzdálený pohyb nebeské sféry. Potom by hvězdy nevypadaly jako samotné body. Tvořily by soustředné kružnice a program by je nebyl schopen detekovat jako hvězdy.

Program je napsán tak, aby byl funkční v původní verzi pro samotnou detekci hvězd bez jejich rozeznávání v případě, že bychom neměli k dispozici databázi hvězd, či soubor s načítanými daty. Program je také ošetřen proti zadání chybných dat. V momentě, kdy bychom například na pozici souřadnic x, y hvězdy Polárky v souboru PolarkaZenit.txt měli místo čísla jiný znak, se v konzoli objeví hláška vyzývající k překontrolování textového souboru z důvodu chybně zadaných dat a program provede pouhou detekci bez přiřazení hvězd z databáze.

Při vytváření kódu může nastat problém při explicitním přetypování proměnné datového typu double na integer a to i při použití funkce pro zaokrouhlování round či float. Pro řešení tohoto problému slouží námi vytvořená metoda DoubleToInt, která provádí přetypování skrze řetězec string.

Všechny pořízené snímky byly uloženy na školní FTP server a testované snímky z kapitoly 4.6.7 jsou vypáleny na příloženém CD. V průběhu pořizování snímků bylo nutné se soustavou hnout z důvodu problému s topením. To zapříčinilo posunutí souřadnic zenitu a hvězdy Polárky u snímků pořízených po datu 13.3.2014. Po nalezení jejich nových souřadnic program fungoval se stejnými výsledky jako v případě předešlého nastavení. Nebylo tedy nutné vytvářet novou převodní funkci.

Při rozpoznávání hvězd může nastat chyba, pokud by byl na snímku zachycen světelný objekt jiného typu než hvězdy, například přelétávající letadlo. V případě, že bude detekován v místě vzdáleném do 40px od hvězdy z katalogu, program není schopen objekt rozeznat a prohlásí jej za hvězdu. V takovém případě se může stát, že ve výsledném souboru bude dvěma či více bodům odpovídat jedna hvězda z katalogu. Potom musí uživatel provést vizuální kontrolu, aby poznal, který bod je skutečně hvězdou. Dalším problémem může být měsíc pohybující se v zorném poli objektivu. Tuto chybu je však možné odstranit použitím vhodné masky.

Seznam tabulek

Tabulka 1.1 Hvězdy hlavní posloupnosti [2].....	10
Tabulka 1.2 Porovnání typů hvězd [2].....	11
Tabulka 1.3 Třídy svítivosti a typy spektra hvězd.....	11
Tabulka 1.4 Příklady několika hvězd a jejich vlastních pohybů [6].....	13
Tabulka 2.1 Přehled souřadnicových soustav [1]	18
Tabulka 4.1 Obsah souboru „StarsFromImage_2014_03_13__00_34_59.txt“	32
Tabulka 4.2 Databáze hvězd wildabase	33
Tabulka 4.3 Obsah vytvořené databáze wildabase_converted	34
Tabulka 4.4 Obsah souboru StarsFromImage_2014_03_13__00_34_59.txt	37
Tabulka 4.5 Tabulka zbytkových tříd	42
Tabulka 4.6 Výstupní tabulka s detekovanými hvězdami	47
Tabulka 4.7 Kombinace $r(z)$ 2. stupně a $\alpha(Az)$	48
Tabulka 4.8 Kombinace $r(z)$ 3. stupně a $\alpha(Az)$	48
Tabulka 4.9 Kombinace $r(z)$ 4. Stupně a $\alpha(Az)$	49
Tabulka 4.10 Seznam testovaných snímků	49

Seznam obrázků

Obrázek 1.1 Sluneční absorpční a emisní spektrum [2]	10
Obrázek 2.1 Sférické souřadnice [3].....	15
Obrázek 2.2 Sférická souřadnicová soustava	15
Obrázek 2.3 Obzorníková soustava [8].....	16
Obrázek 2.4 Rovníková (ekvatoreální) soustava [8]	17
Obrázek 2.5 Popis světové sféry (shrnutí) [4]	21
Obrázek 3.1 Sférický dvojúhelník	22
Obrázek 3.2 Rozdíl mezi slunečním a standardním časem [19].....	24
Obrázek 4.1 Nikon D5100 [11]	25
Obrázek 4.2 Detail vyznačených středů hvězd	27
Obrázek 4.3 Určení středu snímku (zenitu).....	28
Obrázek 4.4 Úhlové souřadnice používané při detekci	31
Obrázek 4.5 Výřez grafického výstup bez středů hvězd	35
Obrázek 4.6 Výřez grafického výstupu s vyznačenými středy hvězd	35
Obrázek 4.7 Prostředí programu Stellarium	36
Obrázek 4.8 Převodní funkce $r(z)$	38
Obrázek 4.9 Převodní funkce $\alpha(Az)$	39
Obrázek 4.10 Orientace úhlů na obrázku.....	44
Obrázek 4.11 Snímek s vykreslenými hvězdami z načtené databáze.....	45
Obrázek 4.12 Výřez snímku s detekovanými body a zakreslenými hvězdami ze seznamu WilData.....	47
Obrázek 4.13 Maximální odchylky.....	48
Obrázek 4.14 Maximální odchylky.....	48
Obrázek 4.15 Maximální odchylky.....	49

Seznam použitých symbolů a zkratek

D_{OB} - průměr objektivu dalekohledu [mm]

GMT (Greenwich Mean Time) - greenwickský čas

GPS (Global Positioning System) - globální polohovací systém

h - výška [°]

JD - Juliánské datum

k - poměr středního slunečního dne a středního hvězdného dne

m - magnituda

M - absolutní magnituda

PTP (Picture Transfer Protocol) - protokol pro přenos snímků Sem zadejte rovnici.

r - vzdálenost [px]

\bar{r} - aritmetický průměr

r_{max} - maximální hodnota

S_0 - greenwickský pravý hvězdný čas

S_g - greenwickský hvězdný čas

S_h - horizontální soustava

Sr^1 - první rovníková soustava

Sr^2 - druhá rovníková soustava

S_m - místní hvězdný čas

SEČ - středoevropský čas

SELČ - středoevropský letní čas

t - hodinový úhel [°]

T_u - juliánské století

UT (Universal Time)- univerzální čas

UTC (Coordinated Universal Time) - univerzální koordinovaný čas

z - zenitová vzdálenost

α (RE) - rektascenze [°]

δ (DE) - deklinace [°]

θ - azimut [°]

μ - střední hodnota

σ^2 - rozptyl

λ - zeměpisná délka [°]

Υ - jarní bod

Zdroje

- [1] FIXEL, Jan. *Geodetická astronomie I. a základy kosmické geodézie*. Vyd. 1. Brno: VUTIUM, 2000, 183 s. ISBN 80-214-1786-2.
- [2] KÉHAR, Ota. *Astronomia Astronomie pro každého: Spektrální typy hvězd* [online]. 2010 [cit. 2014-02-14]. Dostupné z: <http://astronomia.zcu.cz/hvezdy/charakteristika/4-spektralni-typy-hvezd>
- [3] SCHEIRICH, Petr. *Základy astronavigace pro začátečníky*. 2. vydání. 2010. Dostupné z: <http://sajri.astronomy.cz/astronavigace/>
- [4] JELÍNEK, Petr. *Astronomie a astrofyzika: Klasická astronomie*. České Budějovice, 2013. Dostupné z: <http://www.prf.jcu.cz/data/files/18/103/10902.-souradnice.pdf>. Přednáška z předmětu UFY/AST. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- [5] SCHEIRICH, Petr. *Vzorce a recepty nebeské mechaniky* [online]. 3.0. 2004 [cit. 2014-02-14]. Dostupné z: <http://nebmech.astronomy.cz/VYPOCTY/vypocty.htm#ObcJul>
- [6] KÉHAR, Ota. *Astronomia Astronomie pro každého: Vlastní pohyb* [online]. 2010 [cit. 2014-02-14]. Dostupné z: <http://astronomia.zcu.cz/hvezdy/souhvezdi/796-vlastni-pohyb>
- [7] KULHÁNEK, Petr. ALDEBARAN GROUP FOR ASTROPHYSICS. *ALDEBARAN: Astrofyzika* [online]. [cit. 2014-02-14]. Dostupné z: <http://www.aldebaran.cz/astrofyzika/>
- [8] KITZBERGEROVÁ, Kristýna. *Vývoj systému pro automatické určování azimutu z měření na Slunce*. Praha, 2011. Diplomová práce. ČVUT v Praze fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Zdenek Lukeš, Ph.D.
- [9] KÉHAR, Ota. *Astronomický koutek: Slovník astronomických pojmů. Astronomický koutek* [online]. [cit. 2014-02-14]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~kehar/astrokoutek/slovník/slovník4.html>
- [10] BAXA, Jan. *Využití digitálního fotoaparátu pro snímání oblohy*. Praha, 2013. Diplomová práce. ČVUT v Praze fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce doc. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
- [11] NIKON CORPORATION. *Nikon D5100* [online]. 2011 [cit. 2014-02-14]. Dostupné z: http://www.nikon.cz/cs_CZ/product/digital-cameras/slr/consumer/d5100
- [12] LEŽOVIČ, Petr. *Užití sférické geometrie v zeměpise a astronomii*. Brno, 2008. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/25227/Bakalářská%20práce%202008.pdf?sequence=1>. Bakalářská práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Mgr. Jan Pavlík.
- [13] *Přesný čas online: Časová pásma, historie časových pásem a definice časových pásem* [online]. [cit. 2014-04-25]. Dostupné z: <http://presny-cas-online.cz/cas-presny/casova-pasma-historie-casovych-pasem-definice-casovych-pasem>

- [14] KAČER, Jindřich. *Historie web.cz: Kde včera znamená zítra?* [online]. 2012 [cit. 2014-04-25]. Dostupné z: <http://www.historieweb.cz/kde-vcera-znamená-zitra>
- [15] ŽANTA, Rudolf. *Dějiny astronomie*. Praha, Státní nakladatelství, 1931. Ročník VIII., svazek 4
- [16] VACHALA, Břetislav. *Staří Egyptané*. 1. vyd. Praha: Libri, 2001, 239 p. Historická řada, 14. sv. ISBN 80-727-7060-8.
- [17] NAVRÁTIL, Michal. *Geografické rozložení časových pásem - srovnání teorie se současnou praxí*. Olomouc, 2010. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce RNDr. Martin Jurek, Ph.D.
- [18] SIEGER, Ladislav. Navigace - jak to všechno začalo. In: *Časopis Ré* [online]. 2004 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.lode.cz/re.php?rub=5&ID=1950>
- [19] MAGGILOLO, Stefano. How much is time wrong around the world?. *The poor man's math blog* [online]. 2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://poisson.phc.unipi.it/~maggiolo/index.php/2014/01/how-much-is-time-wrong-around-the-world/>
- [20] PLZÁK, Jan. *Kinematika speciální teorie relativity pomocí k-faktoru*. [cit. 2014-04-26] Dostupné z: <http://www.plzi.wz.cz/STR/k-factory.pdf>
- [21] Astronomické dalekohledy: Záludné otázky. ASTRONOMICKÁ SPOLEČNOST V HRADCI KRÁLOVÉ. *Sirrah na Astronomickém ústavu MFF UK: Astronomie I* [online]. Hvězdárna a Planetárium Hradec Králové [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://sirrah.troja.mff.cuni.cz/~mira/astronomie/Astrofyzika/astrodal/otazky.html>
- [22] Letní čas. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Letní_čas
- [23] DUŠEK, Jiří, Pavel GABZDYL a Jan HOLLAN. *Báječný svět hvězd: jak se stát hvězdářem*. Vyd. 1. Brno: Hvězdárna a planetárium Mikuláše Koperníka v Brně, 1996, 65 p. ISBN 80-858-8203-5.
- [24] ŠOLC, Martin, Jiří ŠVESTKA a Vladimír VANÝSEK. *Fyzika hvězd a vesmíru*. 3., upr. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1991, 277 s., [32] s. obr. příl. Učebnice pro střední školy (Státní pedagogické nakladatelství). ISBN 80-042-4965-5.

Příloha A

CD-ROM

Soubory jsou rozděleny do následujících složek:

Matlab - obsahuje skript Fitting.m pro aproximaci převodní funkce

TransferFunction - obsahuje spustitelný skript TransferFunction.exe a projekt programu Visual Studio 2008 s odpovídajícím kódem popsáním v kapitole 4.5 pro vytvoření převodní funkce

WILLIAM - obsahuje spustitelný skript William.exe a projekt programu Visual Studio 2008 s odpovídajícím kódem popsáním v kapitole 4.6 pro výslednou detekci hvězd

Pictures - zde jsou uloženy testované snímky se seznamy detekovaných hvězd a grafickými výstupy z kapitoly 4.6.7

V kořenovém adresáři se nachází diplomová práce DP_HlavacekP_JanoutP_2014 ve formátu .pdf.