

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2008

Zdeněk Cejnar

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra telekomunikační techniky

**Autoexpozice pro kameru
se širokoúhlou předsádkou**

leden 2008

Diplomant: Zdeněk Cejnar

Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Burčík, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a konzultanta a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé diplomové práce nebo její části se souhlasem katedry.

Datum: 18. 1. 2008

.....

podpis diplomanta

Poděkování

Děkuji Ing. Jaroslavu Burčíkovi, Ph.D., vedoucímu mé diplomové práce, za zájem a věcné připomínky k tvorbě a organizaci práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Martinu Fuchsovi, zaměstnanci Štefánikovi hvězdárny v Praze, který mi svými připomínkami, náměty a radami pomáhal směřovat práci ke zdárnému cíli. Také děkuji Ing. Romanovi Pihanovi za užitečné rady k focení a zacházení s digitálním fotoaparátem. Největší poděkování ale patří mé rodině a přátelům za podporu během studia.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Zdeněk Cejnar
Obor: Telekomunikační technika
Název tématu: **Autoexpoze pro kameru se širokoúhlou předsádkou**

Zásady pro vypracování:

Navrhněte algoritmus autoexpoze pro kameru se širokoúhlou předsádkou. Kamera snímkuje oblohu v pravidelných intervalech (typicky 15 min). Algoritmus by měl být schopen na základě předchozích snímků (popřípadě zkušebního snímku zhotoveného těsně před expozicí) stanovit optimální trojici expozičních parametrů čas-clona-ISO citlivost čipu. Předpokládán je velký rozsah expozičních hodnot počínající plným slunečním svitem za jasného dne (1/1000s-8.2-80iso) a konče expozicí temné noční oblohy (15s-2.8-400iso).

Seznam odborné literatury:

- [1] Matoušek, D. *Práce s mikrokontroléry ATMEL*. BEN - technická literatura. Praha 2006. ISBN 80-7300-174-8
- [2] Dokumentace k optické kameře

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Burčík, Ph.D.

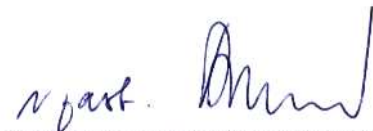
Termín zadání diplomové práce: **5. 1. 2007**

Termín odevzdání diplomové práce: **18. 1. 2008**



.....
doc. Ing. Boris Šimák, CSc.
vedoucí katedry

L.S.



.....
prof. Ing. Oldřich Starý, CSc.
pověřený zastupováním děkana

V Praze dne 2. 4. 2007

Anotace:

Tato diplomová práce se zabývá vývojem algoritmu autoexpozice pro celooblohovou kameru, kterou tvoří fotoaparát Olympus 5060WZ se širokouhlou předsádkou. Samotný algoritmus, který je schopen na základě předchozího snímku stanovit optimální trojici expozičních parametrů (čas, clona, ISO citlivost) a program umožňující kontrolu fotoaparátu je naprogramován ve vývojovém prostředí Borland Delphi 5.0 tak, aby mohl být později implementován do jednotného systému pro kontrolu vhodných podmínek pro pozorování autonomním hvězdářským teleskopem.

Summary:

This final project deals with creating of autoexposure algorithm for digital camera. Conventional Olympus 5060WZ with wide-angle objective will be finally used. The whole algorithm that should be capable according to already taken photograph calculate optimal values (shutter, aperture, ISO) and camera control program are created in the Borland Delphi 5.0 environment. This program code will be later implemented into integrated system verifying good conditions for observation with autonomous telescope.

Obsah

Seznam obrázků a tabulek	2
1 Úvod	3
2 Rozbor zadání.....	4
3 Projekt MARK.....	5
3.1 Řízení	7
3.2 Senzory pro analýzu počasí	8
4 Teoretické podklady	15
4.1 Základy fotografování.....	15
4.1.1 Parametry ovlivňující expozici	15
4.1.2 Expoziční hodnota	18
4.1.3 Způsoby měření EV	20
4.1.4 Reciprocita času, clony a ISO	21
4.1.5 Histogram.....	21
4.1.6 Barevné modely RGB a YUV.....	23
5 Ovládání celooblohové kamery.....	25
5.1 Volně dostupné programy pro ovládání kamery.....	26
5.2 SkyGuard	26
5.3 Algoritmus autoexpozice celooblohové kamery.....	27
5.3.1 Algoritmus hvězdárny.....	27
5.3.2 Algoritmus v programu SkyGuard.....	28
5.4 Vzhled aplikace SkyGuard	36
6 Výsledky algoritmu	41
7 Závěr	45
Seznam použitých pramenů a literatury.....	46
Seznam příloh.....	48

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1 Teleskop Meade LX200 a s CCD kamerou	5
Obr. 2 Východní kopule Štefánikovy hvězdárny v Praze.....	6
Obr. 3 Schéma projektu MARK	7
Obr. 4 Čidla pro analýzu počasí - meteostanice Davis Vantage Pro2 a	9
Obr. 5 Olympus C-5060 Wide Zoom	10
Obr. 6 Širokoúhlá předsádka WCON-07C	10
Obr. 7 Celooblohová kamera	10
Obr. 8 Snímky celooblohové kamery ze dne 8.10.2005	12
Obr. 9 Tvorba jasového diagramu (histogramu).....	22
Obr. 10 Aditivní míchání základních barev	23
Obr. 11 Po otevření krytu.....	25
Obr. 12 Po stisku Menu a Quick View	25
Obr. 13 Vývojový diagram základního algoritmu	29
Obr. 14 Modelový případ nárustu jasu v ranních hodinách.....	32
Obr. 15 Ilustrace vlivu rozsahu citlivosti senzoru na jas fotografie	33
Obr. 16 Reálný průběh závislosti jasu na EV a jeho aproximace.....	34
Obr. 17 Závislost změny jasu snímku neměnné scény při změně EV	34
Obr. 18 Hlavní okno programu SkyGuard.....	36
Obr. 19 SkyGuard - nastavení základních parametrů	38
Obr. 20 SkyGuard - nastavení expozičních parametrů	39
Obr. 21 Snímky pořízené dne 4.1.2008	41
Obr. 22 Graf závislosti jasu snímků na denní době	42
Obr. 23 Graf závislosti korekce snímků na denní době.....	42
Obr. 24 Graf závislosti absolutního EV scény na čase	43
Tab. 1 Výpočet hodnoty EV ze známých expozičních parametrů.....	19
Tab. 2 Výchozí hodnoty algoritmu	30

1 Úvod

I v dnešní uspěchané době se mezi námi najdou lidé, kteří se ve svém volném čase zajímají o astronomii. Bohužel takových lidí není mnoho, a to zejména díky vysokým cenám teleskopů pro pozorování a času nutného k přípravě. Na mnohých místech nejsou ani vhodné pozorovací podmínky. Tím myslím hlavně města a s nimi spojené světelné znečištění, nebo-li „světelný smog“.¹

Tyto a mnohé další překážky řeší využití služeb některého z robotických dalekohledů ve světě, který je dostupný široké veřejnosti. Uživatel si přes webové rozhraní jen zvolí, co a kdy chce pozorovat, a poté je mu poslána zpět fotografie oblohy na zadaných souřadnicích. Na návrhu takového systému jsme již dříve pracovali a výsledkem byl semestrální projekt s názvem *Návrh systému robotizovaného dalekohledu*² a diplomová práce Aleny Křivské s názvem *Rozhraní pro řízení hvězdářského dalekohledu*³, ve které zpracovala problematiku a návrh zcela autonomního robotického dalekohledu jako celku se všemi obslužnými systémy a zmapovala situaci v ČR a jinde ve světě.

Cílem mé diplomové práce je již vyřešení jednoho z dílčích úkolů, který je nutný pro správnou funkci robotického dalekohledu, má-li fungovat zcela bez lidské obsluhy. Tímto úkolem je vytvoření a otestování programu pro ovládání celooblohové kamery, která bude snímat oblohu v pravidelných intervalech a na základě následné analýzy těchto snímků se určí, zda jsou či nejsou vhodné podmínky pro pozorování. Lze tak předejít poškození dalekohledu a dalších drahých komponent systému, případně k jejich zničení.

K řešení tohoto úkolu jsem využil vstřícnosti Ing. Martina Fuchse, který se stará o projekt MARK⁴ na Štefánikově hvězdárně v Praze. Poradil mi v začátcích a nasměroval mou práci ke zdárnému výsledku. Důvodem ke spolupráci je i to, že výsledek mojí práce bude později součástí projektu MARK.

¹ Světelné znečištění [online]. Wikipedie, otevřená encyklopedie. 2007 [cit. 2008-01-02]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Světelný_smog.

² CEJNAR, Zdeněk, CHMELA, Ladislav, VLÁČIL, Petr, VRÁNA, Jaroslav. *Návrh systému robotizovaného dalekohledu*. Praha, 2006. 12 s. Elektrotechnická fakulta ČVUT. Vedoucí semestrálního projektu Ing. Jaroslav Burčík, Ph.D.

³ KŘIVSKÁ, Alena. *Rozhraní pro řízení hvězdářského dalekohledu*. Praha, 2007. 65 s. Elektrotechnická fakulta ČVUT. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Burčík, Ph.D. Dostupný z WWW: <http://www.observatory.cz/mark/download/krivska.pdf>.

⁴ MARK [online]. 2000 [cit. 2008-01-02]. Dostupný z WWW: <http://www.observatory.cz/mark/index.php>.

2 Rozbor zadání

Přestože je algoritmus pro určení správné expozice, tzv. automatika, implementován v každém dnes běžně prodávaném digitálním fotoaparátu, nelze ji použít za zhoršených světelných podmínek. Důvodem je to, že automatika je prakticky vždy používána jen při focení tzv. z ruky (bez stativu). Aby nehrozilo rozmazání snímků, nepoužívají se v automatickém režimu dlouhé časy. Konkrétně fotoaparáty od firmy Olympus nedovolí fotit s časem delším než 1 sekunda. Jediným řešením je přepnout na manuální režim a delší časy nastavovat ručně. Při focení noční oblohy se bez dlouhých časů nelze obejít a jsou tedy dvě možnosti, jak tento problém vyřešit. Buď zaměstnáme člověka, který dle vlastních zkušeností a svého uvážení v pravidelných okamžicích nastaví do fotoaparátu expoziční hodnoty a udělá snímek, anebo napíšeme algoritmus, který bude dělat totéž. První možnost v případě autonomního systému nepřipadá v úvahu. Navíc nastavovat fotoaparát třeba každou minutu celý den není sen žádného uchazeče o zaměstnání. Zbývá tedy druhá možnost.

Jak ale dostat algoritmus do fotoaparátu? Je jasné, že to jen tak jednoduše nepůjde. Výrobce sice může u svých kamer umožnit výměnu jejich programového vybavení, neboli firmwaru, ale jen za takový, který sám vydá. Jinak přijdeme o záruku. A to jen v lepším případě. Navíc žádný výrobce neprozradí, jak takový program napsat a přeložit do binární podoby. Byl by sám proti sobě a jen by to pomohlo konkurenci. Nabízí se ale možnost kameru ovládat z externího zařízení. Tím nemám na mysli dálkový ovladač, ale počítač, který podle daného algoritmu fotoaparátu řekne, co má dělat. Podrobněji si postup ovládání popíšeme v 5. kapitole.

Algoritmus je vytvořen na platformě Delphi. To byl požadavek ze Štefánikovy hvězdárny v Praze, protože to usnadní implementaci algoritmu do stávajícího programového vybavení systému MARK. Stejně tak nebylo nutné vybírat kameru, kterou tvoří konvenční digitální fotoaparát Olympus 5060WZ⁵ s rybí předsádkou⁶. Ta je na hvězdárně již zakoupena a pro účely analýzy počasí je plně dostačující.

⁵ *Specifikace fotoaparátu Olympus C-5060 WideZoom* [online]. [2004] [cit. 2008-01-02]. Anglický jazyk. Dostupný z WWW: http://www.olympus-europa.com/consumer/29_C-5060_WideZoom_Specifications.htm.

⁶ *Popis širokouhlé předsádky WCON-07C* [online]. [2004] [cit. 2008-01-02]. Anglický jazyk. Dostupný z WWW: http://www.olympus-europa.com/consumer/198_WCON-07C.htm.

3 Projekt MARK

Tato kapitola se věnuje projektu MARK a stručně popisuje jednotlivé části celého systému robotického dalekohledu. Jméno MARK se již objevilo v několika semestrálních a diplomových pracích odevzdaných na ČVUT v Praze, což nasvědčuje, že tento systém je propracovaný soubor několika menších funkčních celků, které mezi sebou vzájemně spolupracují.

MARK, neboli **Malý Autonomní Robotický telesKop**, je prototyp dalekohledu, který bude schopen zcela sám bez pomoci lidské obsluhy plnit požadavky uživatelů, kteří si usmyslí pozorovat cokoli na hvězdné obloze. Dalekohled se díky vlastní databázi objektů hvězdného nebe sám nastaví na správné souřadnice, na kterých se daný objekt nachází nebo lze nastavit přímo na zadané souřadnice. Jeho kapacitu je plánováno využít také pro vědecké účely při měření poloh planetek, detekci zákrytů extrasolárních planet nebo při zkoumání spekter hvězd. Všechna tato pozorování vyžadují zhotovení stovek až tisíců fotografií zdánlivě nezajímavých oblastí oblohy.

Teleskop tvoří upravený komerční zrcadlový dalekohled Schmidt-Cassegrain Meade LX200 o průměru 16" (40.6cm) a ohniskovou vzdáleností 4,060 m a světelností $f/10$ (obr. 1). Jeho okem je vysoce citlivá digitální CCD kamera SBIG ST10XE s rozlišením 3,2 mil. pixelů (2 184x1 472), která je 100krát citlivější než běžný fotoaparát. Je ovšem nutné ji chladit.



Obr. 1 Teleskop Meade LX200 a s CCD kamerou⁷

⁷ Zdroj: FUCHS, Martin. *MARK*. Praha, Štefánikova hvězdárna: 2005, s. 5. Dostupný z WWW: <http://observatory.cz/mark/download/mark.pps>.

V této konfiguraci bude přístroj schopen pracovat bez zásahu člověka i mnoho pozorovacích nocí po sobě a bude pouze odesílat zhotovené snímky dle předem stanoveného pozorovacího programu. Jen se zadá co je potřeba nafotit a on sám sestaví a zaktualizuje frontu požadavků, počká na vhodné podmínky pro pozorování a zašle pořízené snímky.

Vhodné podmínky pro pozorování MARK sleduje z několika výstupů meteorologických čidel, které pak vyhodnocuje a určí, zda je možné otevřít kopuli nebo je naopak nutné ji zavřít. Tím je zajištěna ochrana teleskopu a vybavení v kopuli hlavně před zničením deštěm, sněhem a silným větrem.



Obr. 2 Východní kopule Štefánikovy hvězdárny v Praze⁸

Vedle kopule s dalekohledem a senzorů pozorovacích podmínek je neméně důležité výpočetní centrum se třemi servery. Ty zpracovávají data z čidel, řídí pohyby kopule, dalekohledu a kamery a umožňují komunikaci s okolním světem a ukládání dat. Zabezpečené internetové připojení pak umožňuje dálkové ovládání a řízení. Vlastní montáž dalekohledu je umístěna ve východní kopuli Štefánikovy hvězdárny o průměru 5 m (obr. 2).

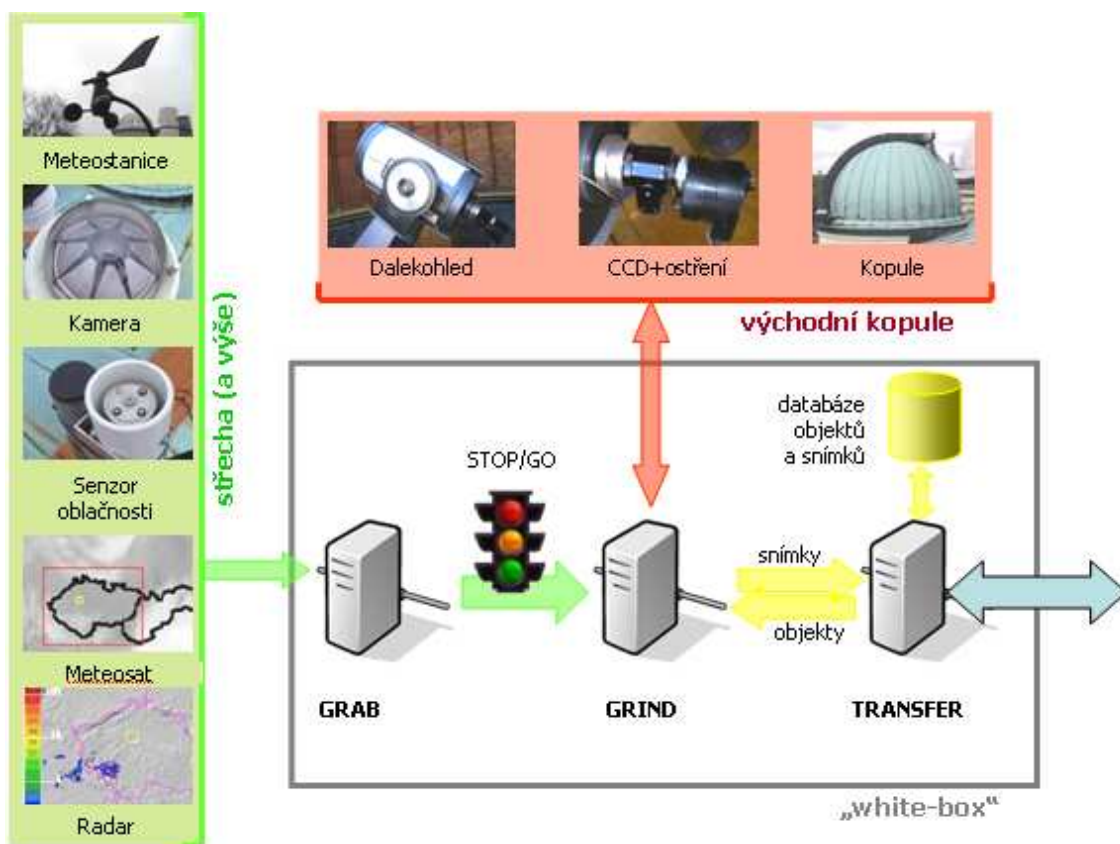
Na střeše budovy jsou umístěna také čidla pozorovacích podmínek. Jsou nainstalovány v těsné blízkosti kopule. Výpočetní centrum s počítači, jimiž je systém řízen, se nachází v předsálí východní kopule, takže je vše pohromadě.

⁸ Zdroj: FUCHS, Martin. *MARK*. Praha, Štefánikova hvězdárna: 2005, s. 16. Dostupný z WWW: <http://observatory.cz/mark/download/mark.pps>.

3.1 Řízení

O řízení a ochranu celého systému MARK se starají tři servery ve výpočetním centru v předsálí pod kopulí s teleskopem. Jsou to dostatečně výkonné servery s procesory Pentium 4 o frekvenci 2,8 GHz běžící na operačním systému Windows XP Professional.

To, k čemu který server slouží velice ilustrativně zobrazuje následující obrázek.



Obr. 3 Schéma projektu MARK⁹

GRAB je prvním počítačem, který má na starosti sběr dat z čidel a vyhodnocení pozorovacích podmínek. Běží na něm software **MCM** (**M**ark **C**ondition **M**onitor). Ten obsahuje algoritmus nepřetržitě běžících operací, které prověřují všechna vstupní data. Mimo jiné je na něm spuštěn právě algoritmus autoexpozice celooblohové kamery, který bude součástí MCM. Výstupní data jsou jen STOP nebo GO, které říkají, je-li

⁹ Zdroj: FUCHS, Martin. *MARK*. Praha, Štefánikova hvězdárna: 2005, s. 7. Dostupný z WWW: <http://observatory.cz/mark/download/mark.pps>.

možné pozorovat a jsou vstupem pro druhý server GRIND.

GRIND je druhým počítačem. Běží na něm program s názvem **MCP** (**M**ark **C**ontrol **P**anel), který má na starosti:

- řízení pohybu dalekohledu včetně jeho kalibrace a parkování do klidové polohy
- pořizování snímků (ovládání CCD kamery, nastavování filtrů)
- ovládání kopule (otáčení, kalibrace, parkování, otevírání štěrbin)
- řízení napájení komponent dalekohledu

Výstupem jsou snímky z CCD kamery, které se ukládají na třetí server a také zápis o výsledcích pozorování do databáze pozorovacích programů MFE.

TRANSFER je třetím počítačem se softwarem **MFE** (**M**ark **F**ront **E**nd). Ten, jak už název napovídá, zajišťuje zadávání pozorování, plánování a datové služby. Vstupem jsou instrukce uživatelů a STOP/GO signál z MCM. Zároveň je přes tento server umožněno dálkové ovládání a řízení pozorovacích programů. Výstupem jsou data o pozorovaném objektu.

3.2 Senzory pro analýzu počasí

K analýze počasí neslouží jen analýza snímků z celoblohové kamery, ale je zajištěna sběrem dat z několika čidel. Některá z nich ani nejsou přímo na hvězdárně, ale data jsou poskytována ČHMÚ¹⁰. Takovými daty jsou snímky z družic a radaru, ze kterých se vyhodnocuje oblačnost nad celou Českou republikou. Naopak přímo na hvězdárně je umístěna meteostanice **Davis Vantage Pro2** (na obr. 4 nahoře a vpravo), která měří teplotu venku i uvnitř výpočetního centra se servery, vlhkost a tlak

¹⁰ Český hydrometeorologický ústav [online]. 21.12.2007 [cit. 2008-01-02]. Dostupný z WWW: <http://www.chmi.cz/>.

vzduchu, rosný bod, srážky, rychlost a směr větru, pocitové teploty (wind-chill, heatIX), sluneční výkon a intenzitu UV záření. Data jsou zpracovávána každou minutu a jejich průběh je zaznamenáván do souvislých řad, které se kompletně archivují. V současné době jsou analyzovány pouze kritické informace o síle a směru vanoucího větru a vlhkosti. Dále je na hvězdárně sensor oblačnosti a srážek **Boltwood Cloud Sensor** firmy Difraction Limited (na obr. 4 vlevo dole). Kromě oblačnosti a srážek zajišťuje detekci kondenzace vody pomocí vnitřně vyhřívaného čidla, které stanoví čas odpaření vlhkosti. Je možné použít vlastní detekční algoritmus. Výstupem jsou čtyři stavy: jasno, oblačno, zataženo a déšť.



Obr. 4 Čidla pro analýzu počasí - meteostanice Davis Vantage Pro2 a dole vlevo senzor oblačnosti a srážek Boltwood Cloud Sensor¹¹

¹¹ Zdroj: FUCHS, Martin. *MARK*. Praha, Štefánikova hvězdárna: 2005, s. 9. Dostupný z WWW: <http://observatory.cz/mark/download/mark.pps>.

Nakonec jsem si nechal detekční zařízení, které je také přítomné přímo na hvězdárně. Je to digitální fotoaparát **Olympus C-5060WZ** (obr. 5) se širokoúhlou předsádkou **WCON-07C** (obr. 6).



Obr. 5 Olympus C-5060 Wide Zoom



Obr. 6 Širokoúhlá předsádka WCON-07C

Vše je skryto pod skleněným krytem tak, jak zachycuje obrázek 7. Fotoaparát může být kromě analýzy oblohy použit pro fotografování větších těles, např. meteorů nebo družic.



Obr. 7 Celooblohová kamera¹²

¹² Zdroj: FUCHS, Martin. *MARK – senzory pozorovacích podmínek* [online]. Štěstíková hvězdárna, 2000-2007 [cit. 2007-12-19]. Dostupné z <http://observatory.cz/mark/img/celooblohovka.jpg>.

Dokumentace a technické parametry k fotoaparátu Olympus C-5060 WideZoom jsou standardně na internetových stránkách firmy Olympus¹³. Z těch nejdůležitějších pro tento projekt zmíním jen několik.

Obrazový snímač je 1/1,8" CCD s rozlišením 5,13 mil. pixelů (efektivní počet pixelů je 5,10 milionů). Optická soustava je tvořena 8 členy v 7 skupinách, 2 asférickými čočkami a ED členem. Ohnisková vzdálenost je 5,7–22,9 mm, což je ekvivalent 27-110 mm u kinofilmových fotoaparátů.

Adaptér pro připevnění filtru nebo předsádky má označení CLA-7. Samotná širokoúhlá předsádka se zorným polem cca. 120° zmenšuje ohniskovou vzdálenost 0,7krát. Optické přiblížení objektivem (zoom) je maximálně 4 násobné a lze ho posouvat po jemnějších krocích než jen po celých číslech. Naproti tomu digitální zoom je maximálně 3,5 násobný a lze ho použít jen po skocích 0,5krát. Největší přiblížení, které lze použít je tedy 14krát.

Ostření je buď manuální nebo automatické. Pro automatický režim jsou přednastavené hodnoty pro super-makro do 3 cm vzdálenosti od foceného předmětu, makro do 80 cm, a běžné vzdálenosti od 80 cm do nekonečna. Množství světla na scéně se měří buď maticově, což je průměr z oblastí, do kterých je snímek rozdělen. Například fotoaparáty Olympus dělí snímek na 49 stejných obdélníkových oblastí. Fotoaparáty jiných značek mohou používat jiný počet a tvar oblastí. Nebo se měří pouze v některých bodech, anebo lze použít měření se zdůrazněným středem.

Režim kontroly nad expozicí je buď automatický, plně manuální, nebo manuální s prioritou clony nebo času. Využitelné hodnoty času v manuálním režimu jsou od 250 μs do 16 s. ISO citlivost lze nastavit od 50 do 400 a clonu od 2,8 do 8,0. Tyto parametry lze nastavovat jen po krocích, které jsou vypsány v tabulce použitelných hodnot v příloze 4. Snímky lze ukládat ve formátu JPEG, TIFF, RAW¹⁴.

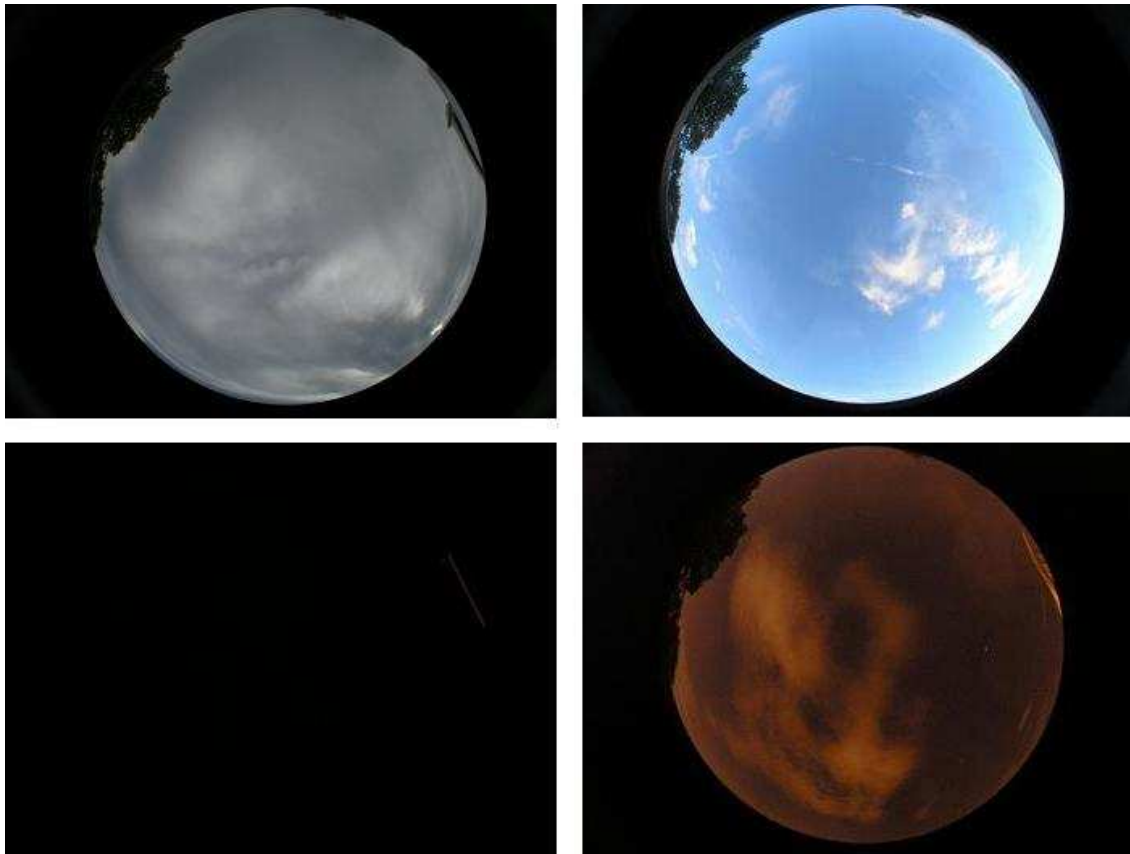
O napájení se stará 7,2 V akumulátor nebo napájecí adaptér. Použitelná rozhraní fotoaparátu jsou USB1.1 a A/V výstup.

¹³ *Specifikace fotoaparátu Olympus C-5060 WideZoom* [online]. [2004] [cit. 2008-01-02]. Anglický jazyk. Dostupný z WWW: http://www.olympus-europa.com/consumer/29_C-5060_WideZoom_Specifications.htm.

¹⁴ *Grafický formát* [online]. 2007 [cit. 2008-01-02]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Grafický_formát.

Na Štefánikově hvězdárně v Praze se celooblohovou kamerou fotí již od září 2005. Kamera pořizuje snímek oblohy vždy jednou za 15 minut. V současné jsou snímky jen archivovány, ale už je vytvořen prototyp algoritmu pro analýzu těchto fotek od mého kolegy Ladislava Chmely, který ho podrobně popsal v semestrální práci *Analýza snímků z celooblohové kamery*¹⁵. Archiv fotek není kompletní, což je způsobeno neustálým vývojem celého systému a jeho laděním. Pro představu je v databázi systému MARK od srpna 2006 do srpna 2007 uloženo přibližně 15 tisíc snímků.

Výstupem celooblohové kamery jsou snímky v rozlišení 2 592x1 944 pixelů v průběhu celého dne, tedy denní i noční. Pro analýzu meteorologické situace je sice dostačující rozlišení 800x600 pixelů, ale s ohledem na možnost budoucího využití i archivních snímků se ukládají v nejvyšším možném rozlišení.



Obr. 8 Snímky celooblohové kamery ze dne 8.10.2005¹⁶

¹⁵ CHMELA, Ladislav. *Analýza snímků z celooblohové kamery*. Praha, 2006. 12 s. Elektrotechnická fakulta ČVUT. Vedoucí semestrálního projektu Ing. Jaroslav Burčík, Ph.D.

¹⁶ Snímky z archivu dat projektu MARK, Štefánikova hvězdárna

Pro ilustraci přikládám na obrázku 8 čtyři snímky v podobě, ve které jsou pořizovány. Jedná se o fotografie ze dne 8.10.2005 v 16, 18, 20 a 22 hodin. V tento den došlo mezi 16. a 18. hodinou k roztrhání oblačnosti. To jen abych vysvětlil, proč je pozdější fotografie jasnější. Automatika fotoaparátu exponovala snímky správně do západu Slunce. Naprosto ale selhala po západu ve 20 hodin. Fotografie je absolutně bez kresby a nejsou na ní žádné detaily ani po zesvětlení. Automatika nastavila clonu 2,8, ISO 250 a expoziční čas 1 sekundu, což je absolutně nedostačující. Noční fotka z 22. hodiny je focena po přepnutí na manuální režim s časem 15 sekund, clonou 2,8 a ISO 400. To jsou bohužel maximální možnosti fotoaparátu, viz. tabulka v příloze 4.

Na okrajích snímků jsou vpravo pozorovatelné i části vedlejší kopule a vlevo stromy. V konkrétním algoritmu analýzy snímků se tyto objekty neuvažují a počítá se jen s konkrétní středovou oblastí snímku, na které je pouze obloha.

Všechna potřebná zařízení jsou tedy na hvězdárně funkční, k dispozici a se všemi nutnými spojeními včetně napájení. Jedná se tedy o kameru s předsádkou a počítač s názvem GRAB, na kterém běží program MCM (**M**ark **C**ondition **M**onitor).

V domácích podmínkách jsem pro potřeby vývoje použil fotoaparát Olympus C-740 UltraZoom¹⁷, který se ovládá stejným způsobem. Rozdíl je jen v technických parametrech. Obrazový CCD senzor má jen 3,34 mil. pixelů. Z toho plyne menší rozlišení snímků (maximálně 2 048x1 536 pixelů). Nepoužívá časy pod 1/1000 sekundy a ISO citlivost v manuálním režimu lze nastavit jen 100, 200, 400. Na druhé straně je použit kvalitnější systém čoček objektivu. Nic z jmenovaných rozdílů ale nebránilo tento fotoaparát použít. Jen jsem s těmito odlišnostmi musel počítat a pamatovat na to, že ve výsledku bude použit Olympus C-5060WZ.

Algoritmus analýzy meteorologické situace ze snímků

Výstupem programu z této práce budou snímky oblohy. To jsem již uvedl. Pojdme se ale podívat k čemu jsou využívány a jak jsou analyzovány.

¹⁷ *Specifikace fotoaparátu Olympus C-740 UltraZoom* [online]. [2004] [cit. 2008-01-02]. Anglický jazyk. Dostupný z WWW: http://www.olympus-europa.com/consumer/29_C-740_UltraZoom_Specifications.htm.

Pro vyhodnocení meteorologické situace nad hvězdárnou se využívá pouze středová část snímku, která má π -krát menší plochu než je plocha celé kruhové oblasti. Je to hlavně z důvodu výrazného zarušení snímku světelným smogem těsně nad obzorem.

Analýza objektů na celooblohovém snímku je založena na studiu barevného spektra těchto objektů. Například mraky mají větší obsah červené barvy. To je dáno osvětlením rozptýleným světlem města například z pouličního osvětlení. Je eliminován i rušivý vliv hvězd a Měsíce. Tyto objekty mají výrazný jas ve všech spektrech. Měsíc je rozpoznán a podle jeho polohy a velikosti je upraveno vyhodnocení celooblohového snímku.

Výsledkem analýzy části oblohy je její plocha v procentech, na které je rozpoznána oblačnost. Výstupem algoritmu je jedna z následujících zpráv celému kontrolnímu systému. Zpráva GO, pokud je pokrytí oblohy menší nebo rovno 20 %, zpráva WARN, pokud je pokrytí oblohy větší jak 20 %, a zpráva STOP, pokud je pokrytí oblohy větší jak 40 %.

4 Teoretické podklady

4.1 Základy fotografování

Před popisem vlastního algoritmu bude vhodné se alespoň s minimálními základy o technice fotografování. Rozeberu, které parametry ovlivňují správnou expozici a jak s nimi zacházet. Vyčerpávající návody a rady k fotografování lze nalézt například na stránkách Ing. Romana Pihana¹⁸.

4.1.1 Parametry ovlivňující expozici

Správnou expozici ovlivňují pouze 3 základní faktory - *expoziční čas, clona a ISO citlivost*. Problém, kterému se musíme vyhnout, je podexponování nebo přeexponování (podpaly nebo přepaly) jako důsledek příliš krátkého nebo dlouhého expozičního času.

Celkové množství světla, které projde objektivem, tedy ovlivňují dva faktory - expoziční čas a průměr clony. Třetí faktor, který ovlivní expozici, je elektronická regulace citlivosti senzoru na světlo - ISO.

Pojďme si nyní rozebrat jednotlivé parametry podrobněji.

Expoziční čas

To je doba, po kterou dopadající světlo působí na senzor fotoaparátu. Čím delší je tato doba, tím více fotonů dopadne na senzor. Lidské oko ale nevnímá rozdíly jasu lineárně, nýbrž exponenciálně. To znamená, že pokud dáme vedle sebe subjektivně stejně odstupňované odstíny šedé, bude vždy podíl sousedních hodnot roven 2. To je zároveň základní násobitel stupnice expozičních časů. Základní stupnice expozičních časů by mohla být například tato řada:

1/1000, 1/500, 1/250, 1/125, 1/60, 1/30, 1/15, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8, 15

Krok není vždy přesně 2krát, protože je snahou používat „rozumná čísla“, a proto se čísla zaokrouhlují. V praxi se zpravidla setkáme ještě s jemnějším dělením,

¹⁸ PIHAN, Roman. *Fotografie a fototechniky* [online]. 2003 [cit. 2007-12-26]. Dostupný z WWW: <http://www.fotoroman.cz/>.

kdy mezi sousedními hodnotami je ještě jedna nebo dvě mezihodnoty. Obecně platí zásada, že při focení z ruky se dá bez problémů udržet převrácená hodnota aktuálně použité přepočítané ohniskové vzdálenosti.

V algoritmu autoexpozice celooblohové kamery nejsou dlouhé časy tolik kritické a lze je použít, protože fotoaparát je připevněn na pevné konstrukci. Obloha s mraky, která je fotografovaným objektem, se také nehýbe příliš rychle. Ani při použití 15 sekundové expozice nebudou mraky na noční obloze natolik rozmazané, že znemožní následnou analýzu.

Větším problémem však je, že při použití dlouhých expozičních časů, delších než 1 sekunda, se u snímacích senzorů začíná objevovat tzv. „Dark current noise“.¹⁹ To je šum způsobený jemnými fluktuacemi elektronů uvnitř senzoru. Tento druh šumu se objeví hlavně při expozici úplné tmy (odtud název Dark current noise). Čím delší je expozice a čím teplejší je senzor, tím patrnější bude tento šum v obraze. Z vlastní zkušenosti mohu potvrdit, že tento šum se projevuje už výrazně při focení tmy a časech od 5 sekund jako pixely, které mají výraznější jas než okolí, ačkoli by měly mít stejný jas. Tyto pixely jsou většinou zbarvené do červené nebo modré barvy. Není jich však mnoho a do výpočtu průměrného jasu celého snímku vnesou jen minimální chybu. Pokud by však snímky byly použity i pro detekci hvězd a souhvězdí, vadné pixely by byly prohlášeny za cizí a neznámé objekty.

Některé kamery u expozičních časů nad 1 sekundu zapínají buď automaticky nebo podle nastavení v menu redukci šumu (Long Exposure Noise Reduction nebo jen Noise Reduction), čehož s výhodou využívám. Jedná se o softwarové odstranění šumu z obrazu, jehož výpočet může trvat i několik sekund a tím výrazně zvýší množství času mezi stiskem spouště a uložením snímku do paměti.

Clona

Průměrem clony se určuje hloubka ostrosti. Clonové číslo je velice často chybně považováno za poměr množství světla, které do objektivu vstupuje ku množství, které jím projde. To ale není pravda. Clonové číslo udává poměr ohniskové vzdálenosti objektivu k průměru vstupního otvoru (clony). Ten je přibližně kruhového tvaru ve středu objektivu (je složena z tenkých lamel) a ovlivňuje tak množství světla, které jím

¹⁹ *Johnson–Nyquist noise* [online]. Wikipedie, otevřená encyklopedie. 2007 [cit. 2007-01-02]. Dostupný z WWW: http://en.wikipedia.org/wiki/Johnson–Nyquist_noise.

projde. Čím větší je průměr clony, tím více světla projde objektivem a dopadne na senzor. Matoucí se může zdát i fakt, že při zvětšování průměru clony se clonové číslo snižuje. To je dáno právě tím, že průměr clony je ve jmenovateli vzorce.

Množství světla, které dopadne na senzor, závisí kromě průměru otvoru clony také na ohniskové vzdálenosti, která je v čitateli vzorce. Je to analogie promítání obrazu na plátno projektořem. Oddalováním projektořu od plátna zvětšujeme obraz. Ten ale současně s oddalováním bledne, protože se světlo promítá na větší plochu. Oddálením projektořu 2krát klesne intenzita světla na plátně 4krát. Ve fotoaparátu je vzdálenost otvoru clony od senzoru analogická právě vzdálenosti projektořu od plátna. Nazývá se ohnisková vzdálenost objektivu. Kdybychom museli uvažovat tuto vzdálenost ve výpočtech, byly by zbytečně složité a výpočet by trval také o něco déle. Proto se zavedla clonová čísla F . Nastavíme-li clonové číslo např. 2,8, fotoaparát si sám určí potřebný průměr clony, protože aktuální ohniskovou vzdálenost zná.

Je vhodné zmínit i pojem světelnost objektivu, který s clonovým číslem úzce souvisí. Světelnost objektivu je to nejmenší clonové číslo, kterého u něj lze dosáhnout. Nebo lze také říct, že při clonovém čísle rovném světelnosti objektivu, projde objektivem nejvíce světla. Světelnost se uvádí společně s ohniskovou vzdáleností přímo na těle objektivu.

Platí tedy přímá úměra mezi plochou otvoru (nikoli průměru!) a množstvím světla. Pokud chceme zdvojnásobit expozici, musíme poloměr otvoru zvětšit nikoliv 2krát, ale pouze 1,4krát. Je to proto, že plocha, kterou světlo prochází, je $3,14 \cdot r^2$, kde r je poloměr clony. Řada clonových čísel proto není odstupňována po násobcích 2 ale po násobcích přibližně 1,4 (tj. odmocniny ze 2). Clonová čísla by tedy mohla být odstupňována takto:

1,0; 1,4; 2,0; 2,8; 4,0; 5,6; 8; 11; 16; 22; 32; 45

U většiny digitálních fotoaparátů se ale setkáme jen s řadou od 2,8 do 8 nebo i jemnějším dělení s jednou nebo dvěma mezihodnotami.

ISO citlivost

ISO u digitálního fotoaparátu udává citlivost senzoru na světlo. Funguje tak, že se elektronicky ovlivňuje velikost zesílení signálu, který senzor detekuje. Čím vyšší je zesílení (ISO citlivost), tím se elektronika spokojí se slabším signálem přicházejícím ze senzoru, protože si ho pro další zpracování zesílí. Normuje se celková citlivost

soupravy senzoru a zesilovače, neboť různí výrobci uvádí na trh senzory různých vlastností a musí se tedy sjednotit právě tím zesilovačem.

ISO citlivost se udává v ISO jednotkách tak, aby odpovídala citlivosti klasického filmu. Sousední hodnoty mění citlivost vždy právě 2krát. To souvisí opět s fyziologickými vlastnosti lidského oka. Základní stupnice ISO citlivostí vypadá takto:

50, 100, 200, 400, 800, 1600

Při dvojnásobném zvýšení ISO citlivosti stačí tedy ke stejné expozici poloviční množství světla. V praxi se lze setkat i s jemnějším dělením s jednou nebo dvěma mezihodnotami, ale to jen velice zřídka. Spíše se objevuje jako první hodnota 64 nebo 80. To je dáno elektronikou uvnitř kamery, protože nižší hodnoty nelze dosáhnout. Velkou výhodou digitálních fotoaparátů oproti analogovým je skutečnost, že je možné nastavovat ISO pro každý snímek jinak a není třeba vyměnit vždy celý film.

Stejně jako u analogových kamer roste na filmu se zvyšujícím se ISO velikost „zrna“, tak u digitálních kamer roste obrazový šum. Ten se projevuje jako náhodné barevné body viditelné zejména v tmavých částech snímku, které snižují ostrost snímku. Proto je doporučeno nastavovat ISO maximálně 200. Větší hodnoty lze použít už jen v případě opravdové nutnosti.

4.1.2 Expoziční hodnota

EV (Exposure value) udává absolutní množství světla na scéně. Zdůrazňeme slovo **absolutní**, protože každý pozorovatel nezávisle na vybavení a metodě musí dojít ke stejné hodnotě EV, měří-li ve stejném místě (bodě) scény. Je asi patrné, že každý bod na scéně má jiné EV, proto se určuje průměrné EV scény. Z této průměrné hodnoty EV pak spočítáme jednotlivé expoziční parametry (ISO, clona, čas), anebo to zcela přenecháme automatickému fotoaparátu. Tyto tři parametry automatika určí tak, aby vznikl dobře exponovaný snímek, který v průměru vede na střední šedou. Fotoaparáty musí nezářídka zaznamenat scénu s rozsahem světla od 1 do 15 EV. To je například scéna se Sluncem v pozadí a stíny vrženými předměty v popředí. Pro ilustraci uvedu, že rozsah od 1 do 15 EV je poměr jasů více než 1:16000. V případě snímání oblohy není ale rozsah EV nikdy tak veliký.

Uvedu i užitečnou tabulku, která zjednodušuje výpočet EV hodnoty ze známých expozičních parametrů:

expoziční čas (s)	přírůstek EV		clonové číslo	přírůstek EV		ISO	přírůstek EV
1	0	+	1	0	+	50	1
1/2	1		1,4	1		100	0
1/4	2		2	2		200	-1
1/8	3		2,8	3		400	-2
1/15	4		4	4		800	-3
1/30	5		5,6	5		1600	-4
1/60	6		8	6		3200	-5
1/125	7		11	7			
1/150	8		16	8			
1/500	9		22	9			
1/1000	10		32	10			
1/2000	11		45	11			

Tab. 1 Výpočet hodnoty EV ze známých expozičních parametrů²⁰

Zvýšení o 1 EV signalizuje zdvojnásobení světla na scéně a snížení o 1 EV ukazuje pokles světla na polovinu. EV rovné 0 znamená například expozici časem 1 sekunda při cloně 2,5 a ISO = 100. Jednoduše zjistíme hodnotu EV pomocí tabulky tak, že najdeme expoziční čas a jemu přiřazený přírůstek EV. K němu přičteme přírůstek EV clonového čísla a nakonec přičteme přírůstek EV pro nastavené ISO. Celkové EV je tedy součet všech tří přírůstků.

V algoritmu jsem ale využil matematického vyjádření EV hodnoty:

$$\begin{aligned}
 EV &= \log_2 (F^2 / t) - \log_2 (ISO / 100) \\
 &= \log_2 F^2 + \log_2 (1 / t) - \log_2 (ISO / 100) \\
 &= 2 * \log_2 F - \log_2 t - \log_2 (ISO / 100),
 \end{aligned}$$

kde F je clonové číslo a t je expoziční čas v sekundách.²¹

²⁰ PIHAN, Roman. Expoziční základy. *Fotografovani.cz* [online]. 2006 [cit. 2007-11-20]. Dostupný z WWW: http://www.fotografovani.cz/art/fozak_df/rom_expozice1.html.

²¹ *Exposure value* [online]. 2007 [cit. 2007-12-25]. Text v anglickém jazyce. Dostupný z WWW: http://en.wikipedia.org/wiki/Exposure_value.

4.1.3 Způsoby měření EV

Existuje několik režimů měření expozice, které se liší plochou z celé scény, ze které se EV počítá. Nejuniverzálnější je poměrové (zónové či maticové měření).

Maticové měření

To pracuje na principu rozdělení snímku na určitý počet zón. Olympus používá rozdělení snímku na 7x7 stejných obdélníků. To je 49 zón, ale u jiných výrobců se tento počet může lišit. Může se lišit i tvar jednotlivých zón.

V každé zóně se zjistí průměrný jas v EV jednotkách (barva se ignoruje a pracuje se pouze s černobílým jasnem) a připojí se další údaje jako poloha zaostřovacího bodu, vzdálenost objektu, svislé nebo vodorovné fotografování, atd. Následně jsou údaje porovnány s databází uvnitř fotoaparátu a fotoaparát se snaží odhadnout správné hodnoty ISO citlivosti, clony a času.

Tuto metodu lze použít v běžné každodenní praxi, ale logicky selže v situacích, kdy nelze předpokládat, že průměrný jas scény je střední šedá, dále u snímků v protisvětle, silně kontrastních scén a v situacích, kdy požadujeme speciální expoziční záměr (západy slunce nebo třeba noční snímky).

Celoplošné se zdůrazněným středem

Podobně jako maticové měření bere do úvahy celou plochu snímku avšak za nejdůležitější část se považuje střed snímku bez ohledu na zaostřovací bod. Okraje snímku tak promluví do expozice mnohem méně významně. Používá se pokud chceme řídit expozici podle hlavního objektu, který je jasově blízko středně šedé. To je typické u portrétů zejména v protisvětle nebo v jiných náročných světelných podmínkách. Běžný obličej či pleťová barva je totiž velmi blízko střední šedé, a tak se dá k naměření expozice snadno použít.

Automatika funguje dobře, pokud je obrázek v průměru středně šedý. Co to ta středně šedá ale vůbec je? Střední šedá je definována jako šedá, která odráží 18% dopadajícího světla.²² V 8bitové RGB reprezentaci je vyjádřena jako trojice {127,127,127}. Střední se jmenuje proto, že subjektivně leží ve středu stupnice mezi černou a bílou. Téměř každý dobře exponovaný snímek vede po zprůměrování všech zón na střední šedou. Měření expozice fotoaparátů tedy v principu probíhá tak, že hledají kombinaci expozičního času, clony a ISO citlivosti, která po zprůměrování jasů celé fotografie vede ve výsledku na střední šedou.

4.1.4 Reciprocita času, clony a ISO

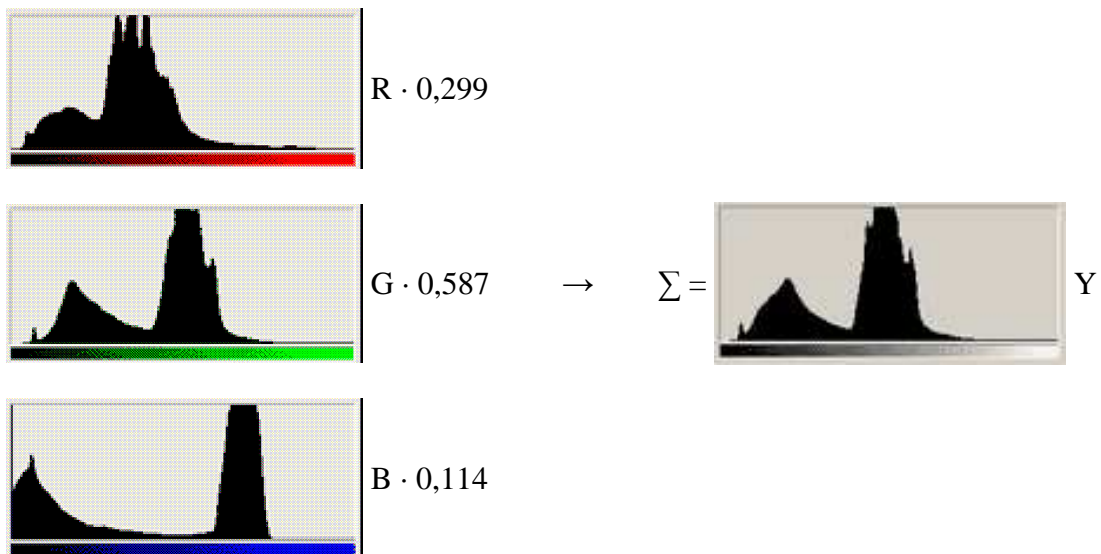
Jinými slovy jde o zaměnitelnost jednotlivých expozičních parametrů. Pokud např. zdvojnásobíme množství světla změnou clony, tak totéž docílíme změnou expozičního času nebo ISO citlivosti. Výsledek je stejný. V praxi vede ke stejné expozici mnoho trojic expoziční čas, clona, ISO. Například dojde-li automatika k závěru, že správná expozice je 500 ms při cloně 4 a ISO 100, tak stejné expozice lze dosáhnout kombinací například 250 ms při cloně 2,8 a ISO 100. Změna světla způsobená změnou clony je tak kompenzována opačnou změnou času. Clona zvětšila množství světla na dvojnásobek, ale poloviční expoziční čas množství světla opět vrátil na původní hodnotu.

V praxi je tak možné najít velké množství trojic clony, času a ISO citlivosti, které povedou ke stejné expozici. Ze zkušeností mohu ale potvrdit, že to je jen teorie a platí jen přibližně.

4.1.5 Histogram

Histogram je v podstatě graf, který má na vodorovné ose jednotlivé odstíny od černé k bílé a na svislé ose je množství jasu (odtud také jasový diagram). Pokud ho použijeme při focení, dokážeme hned určit, zda jsme z hlediska expozice pořídili dobrý snímek. Běžný jasový histogram integrovaný ve fotoaparátech je sestaven jen z jasového kanálu jako součet R, G, B kanálů a zcela tak ignoruje barvu.

²² PIHAN, Roman. Expoziční základy. *Fotografovani.cz* [online]. 2006 [cit. 2007-11-20]. Dostupný z WWW: http://www.fotografovani.cz/art/fozak_df/rom_expozice1.html.



Obr. 9 Tvorba jasového diagramu (histogramu)

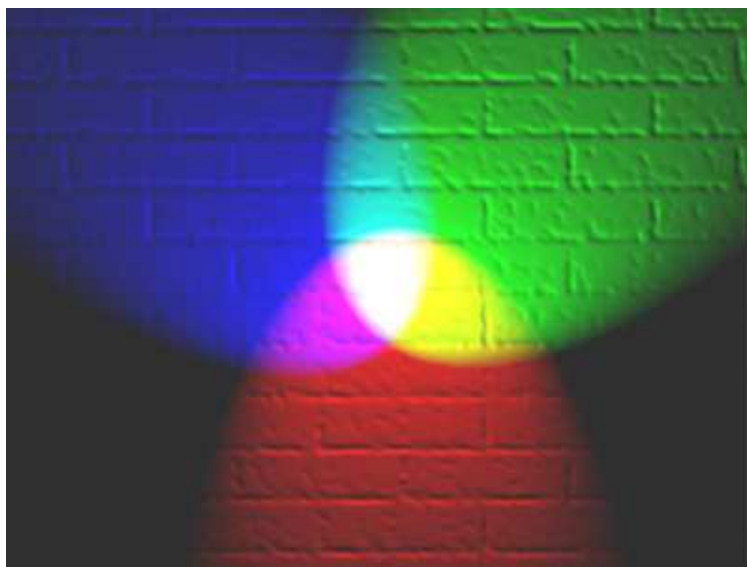
Pokud je na histogramu v pravé části (čistá bílá) již oříznutá plocha indikující překročení povoleného jasu, budou na fotografii místa bez jakékoliv kresby. Těmto místům se říká „přepaly“ a působí nepřírozně. „Podpaly“ jsou naproti tomu místa s čistě černou kresbou. Na histogramu se objeví oříznutá plocha grafu vlevo (např. na obr. 9 dochází k podpalu v modrém kanále) . Subjektivně podpal černé moc nevadí a může být i žádoucí.

Zrádné ale je, že běžný histogram v kameře pracuje jen s odstíny šedi. To, jestli nedochází k přepalu nebo podpalu v některém z RGB kanálů nám ale už nezobrazí. Velice často, například při focení zeleně v přírodě, dojde k přepalu pouze v zeleném barevném kanálu a ztratí se jemné detaily kresby. V hodnotách RGB by byl pixel vyjádřen trojicí třeba $\{180;255;110\}$ s přepalem v zeleném kanále. Jeho celkový jas je ale 216, což odpovídá světle šedé a žádný přepal fotoaparát nenahlásí, protože tento jas je uvnitř rozsahu 0 až 255.

4.1.6 Barevné modely RGB a YUV

RGB

Barevný model RGB je používán pro jednoznačný popis libovolné barvy. Je založen na faktu, že každá barva lze vytvořit ze tří základních barev – červené (**R**ed), zelené (**G**reen) a modré (**B**lue).²³ Jde o aditivní způsob míchání barev, který se používá ve všech obrazových monitorech, projektorech a některých tiskárnách.



Obr. 10 Aditivní míchání základních barev²⁴

Každá barva je udána množstvím (mohutností) tří základních barev, tzv. komponent. Základní barvy mají vlnové délky 630 nm (červená), 530 nm (zelená) a 450 nm (modrá). Mohutnost se udává buď v procentech (dekadický způsob) nebo jako určitý počet bitů vyhrazených pro barevnou komponentu. V této práci je použito 8 bitů na komponentu a rozsah hodnot je tedy 0–255. Pro 16 bitů na komponentu by rozsah hodnot byl 0–65535. Platí, že čím větší je mohutnost, tím vyšší intenzitou je barva komponenty zobrazena.

²³ *RGB* [online]. Wikipedie, otevřená encyklopedie, 2007 , 27.11.2007 [cit. 2008-1-1]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/RGB>.

²⁴ Zdroj: Otevřená encyklopedie Wikipedia. Dostupné zde: http://en.wikipedia.org/wiki/Image:RGB_illumination.jpg.

YUV

Tento barevný model používá k popisu barvy tříprvkový vektor $[Y,U,V]$, kde Y je jasová složka a U a V jsou barevné složky. U je také někdy označováno jako $B-Y$ a V odpovídá $R-Y$. Barevné modely RGB a YUV jsou vzájemně svázány matematickými vztahy a lze je mezi sebou vzájemně převádět.²⁵ Pro nás je nejdůležitější převod ze složek RGB na jas Y . Ten je určen vztahem:

$$Y = 0,299 \cdot R + 0,587 \cdot G + 0,114 \cdot B$$

Jasová složka Y zde má stejný rozsah jako mají RGB komponenty, tedy od 0 do 255 (od 00_H do FF_H v hexadecimálním vyjádření). Při převodu obrazu do stupně šedi se počítá pro každý pixel hodnota Y z jeho složek RGB a tato hodnota Y se zpětně dosadí za každou ze složek RGB. Například pro pixel s RGB vyjádřením $\{68,105,202\}$ získáme pro pixel ve stupních šedé $\{104,104,104\}$. Takto lze jednoduše převádět barevné obrázky na černobílé.

²⁵ YUV [online]. Wikipedie, otevřená encyklopedie, 2007 , 4.10.2007 [cit. 2008-1-1]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/YUV>.

5 Ovládání celooblohové kamery

Kamera Olympus C-5060WZ lze ovládat přes rozhraní USB. Před připojením je nutné kameru nejprve přepnout do režimu „Control“ pomocí tajné kombinace úkonů (pořadí stisků tlačítek). V případě Olympusu C-5060WZ se jedná o kroky:

- Přepnout režim fotoaparátu do A/S/M.
- Zapnout fotoaparát.
- Otevřít kryt paměťové karty, ale nevytahovat ji. Na displeji se zobrazí hláška podle obrázku 11.
- Stisknout tlačítko Menu a zároveň Quick View přibližně na 2 sekundy.
- Objeví se menu (obr. 12), ve kterém přepneme způsob chování fotoaparátu po připojení k PC. Tedy z režimu „Storage“ do režimu „Control“.
- Zavřeme kryt paměťové karty a vypneme.



Obr. 11 Po otevření krytu



Obr. 12 Po stisku Menu a Quick View

Kamera si toto nastavení pamatuje, a proto je nutné pro přepnutí zpět do „Storage“ režimu postup opakovat. Připojíme USB kabel a kameru zapneme.

U ostatních modelů fotoaparátů od Olympusu je to prakticky stejné. V tomto okamžiku už můžeme přes USB kabel posílat příkazy a data nebo je pomocí jiných instrukcí číst.

5.1 Volně dostupné programy pro ovládání kamery

Existují i programy, které lze volně stáhnout z Internetu v omezené verzi, které umožňují také vzdálené ovládání kamery. Jejich omezením většinou je, že nepovolí uložit snímek ve větším rozlišení než 640x480 pixelů. Po zakoupení samozřejmě získáte plnou verzi.

Jako příklad jsem vybral programy *Cam2Com*²⁶ a *Pine Tree Computing Camera Controller*²⁷. Určitě bych se jich dalo nalézt i více, ale pro tvorbu algoritmu autoexpozice je stejně nelze použít. Jediné, co totiž uživateli umožní s fotoaparátem dělat, je nastavování některých parametrů, které lze nastavovat přímo na fotoaparátu. Nelze však programy upravovat ani nijak programovat.

To, co mají tyto programy v převážné většině případů společné, je to, že ke komunikaci s kamerou používají knihovnu RyeDLL.dll. Tu používám i já. Tuto knihovnu lze získat společně se softwarem Digital Camera SDK, který Olympus nabízí za 29 Euro. SDK, nebo-li **S**oftware **D**evelopment **K**it, je soubor nástrojů, které programátorům umožní převzít kontrolu nad ovládáním kamery a implementovat ji do svých aplikací.²⁸

5.2 SkyGuard

Program SkyGuard jsem úmyslně nazval jako „Strážce oblohy“, protože to je jeho hlavním úkolem. Snímat oblohu v pravidelných intervalech. Sice toho ve své nynější podobě zvládne ještě víc, ale to už je jen malý bonus navíc.

SkyGuard jsem vytvořil z důvodu zvládnutí komunikace mezi počítačem a kamerou a hlavně sloužil k vývoji a testování algoritmu autoexpozice pro celooblohovou kameru. Vzhledem k tomu, že Digital Camera SDK od Olympusu obsahuje knihovnu jen pro Visual C++ nebo Visual Basic, měl jsem z hvězdárny na Petříně k dispozici ještě knihovnu fotak.dll, která je jejich dílem. Umožňuje použít stejné instrukce, ale v prostředí Borland Delphi 5.0.

²⁶ *CamToCom* 4.1 [online]. 2007 [cit. 2007-10-26]. Dostupný z WWW: <http://www.grafika.cz/art/df/olympusremote.html?pos=1>.

²⁷ *Camera Controller* 1.09.0000 [online]. 2006 [cit. 2007-10-26]. Dostupný z WWW: <http://www.grafika.cz/art/df/olympusremote.html>.

²⁸ *Software Development Kit* [online]. [2007] [cit. 2007-10-26]. Dostupný z WWW: <http://developer.olympus.com/>.

V programu využívám hlavně možností nastavení v manuálním režimu. V tomto režimu lze ovládat všechny parametry aniž by do toho vstoupila vnitřní logika fotoaparátu. Vedle ISO citlivosti, času expozice a clonového čísla lze nastavovat i způsob měření expozice, způsob ostření, zoom, vyvážení bílé, korekce expozice, blesk, formát a rozlišení snímků, ve kterém se budou ukládat na disk. To je výčet jen těch nejdůležitějších, které jsem použil při vývoji algoritmu.

Program lze také všemožně upravit, aby ho bylo možné použít i k jinému účelu. Například focení ve fotografických studiích, pořizování kontrolních snímků na montážních linkách v továrnách nebo třeba jen pro zálohování nastavené konfigurace. Omezením tohoto programu je nutnost použít některý z fotoaparátů Olympus. Popis ovládání programu je uveden v kapitole 5.4.

5.3 Algoritmus autoexpozice celooblohové kamery

V této kapitole popíšu jak fungoval algoritmus, který MARK používal předtím, než jsem začal psát nový. Jakým způsobem jsem nový vytvářel a jak ho testoval.

5.3.1 Algoritmus hvězdárny

Tento algoritmus pořizoval snímky od září 2005. Od té doby byl samozřejmě několikrát upraven a vylepšen, ale ani v současné podobě není schopen pracovat zcela bezchybně a bylo nutné se spokojit i s některými nekvalitními a pro analýzu zcela nevyhovujícími snímky. Na přiloženém CD je ukázka celooblohových snímků zaznamenaných ve dnech od 6.10.2007 do 8.10.2007.

Pracoval tak, že byly definovány dva pevně stanovené režimy: den a noc. V nočním režimu, který trval od 9. hodiny večer do 5. hodiny ráno, byl nastaven manuální režim expozice a fotoaparát fotil po celou tuto dobu s neměnnými expozičními hodnotami. ISO citlivost byla nastavena na 400, clona byla plně otevřena a expoziční čas byl nastaven na 15 sekund. Vyvážení bílé bylo nastaveno na denní světlo, což má za následek nádech nočních snímků do žluté barvy. V denním módu, který trval ve zbývajícím čase (od 5. hodiny ráno do 9. hodiny večer), byl nastaven automatický režim. V tomto čase byly snímky pořizovány správně jen pokud nebylo

nutné použít delší čas než 1 sekunda. Poté se podle algoritmu mód přepnul zpět na noční režim. V příloze jsou zobrazeny náhledy snímků zobrazujících přechod z nočních snímků na denní (příloha 2) a přechod ze dne do noci (příloha 3).

V obou módech bylo zaostřeno bylo na nekonečno a snímky se ukládaly v maximálním možném rozlišení (2 592x1 944 pixelů). Toto nastavení jsem zachoval.

5.3.2 Algoritmus v programu SkyGuard

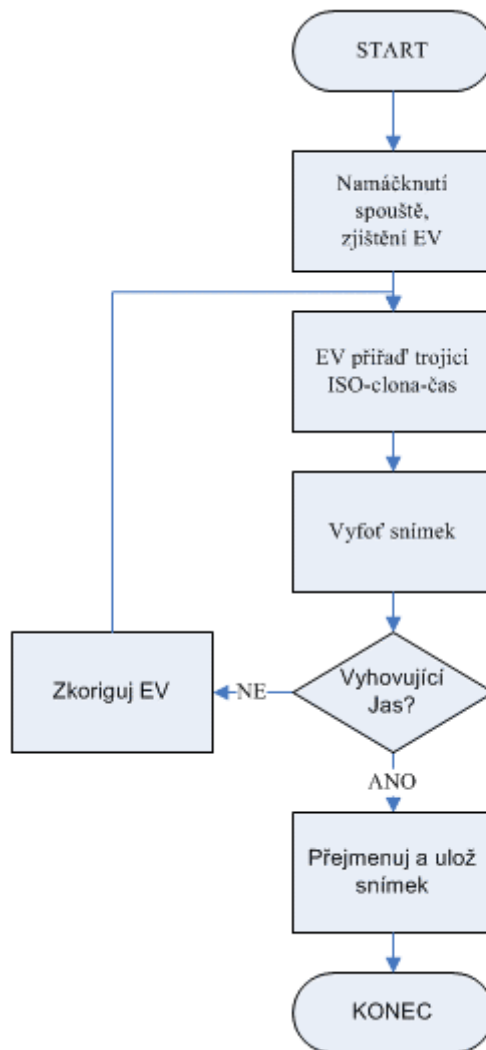
Jako nejjednodušší řešení každého napadne následující postup. Nechat scénu proměřit vestavěným expozimetrem ve fotoaparátu. Tuto expoziční hodnotu si načíst a podle nějaké tabulky nebo matematického vzorce k této hodnotě přiřadit trojici ISO, clona, čas. Něco podobného jako postup vnitřního algoritmu v kameře po namáčknutí spouště. Po tomto úkonu totiž kamera proměří scénu a navrhne sama expoziční hodnoty bez pořízení snímku.

Tento postup popisuje vývojový diagram na obrázku 13.

Algoritmus by vypadal po jednotlivých krocích asi takto:

1. Zjištění EV nebo rovnou expozičních hodnot navrhovaných fotoaparátem po namáčknutí spouště.
2. Podle tabulky nebo matematické formulace nalézt pro změřené EV vhodnou trojici ISO, clona, čas.
3. Vyfotit snímek.
4. Vyhodnotit snímek, zda je vhodný pro následnou analýzu.
5. Uložit snímek pod požadovaným jménem (datum a čas).

Zásadní je ověření průměrného jasu fotky v kroku 4. Pokud ten vede v průměru na střední šedou v hlavní oblasti snímku, pak je vše v pořádku a snímek se uloží na pevný disk počítače. Pokud nevede na střední šedou, pak musíme přidat nebo ubrat EV o jeden nebo více kroků a opět vyfotit. Tato korekce by ale ve většině případů nebyla nutná, protože předpokládám, že fotoaparát proměří scénu správně.



Obr. 13 Vývojový diagram základního algoritmu

Bohužel jsem po prostudování manuálu ke knihovně RyeDLL.dll, přítomného v Digital Camera SDK, zjistil, že taková instrukce, která by umožnila načíst jen EV hodnotu neexistuje. Proto jsem byl nucen celou úlohu řešit jiným způsobem.

Expoziční parametry lze tedy načíst až po vyfoceném snímku. A to buď z EXIF informací uložené fotografie nebo lze využít toho, že tyto hodnoty si kamera pamatuje, dokud se jí nenastaví nové. Toho s výhodou využiji a načtu si je tedy z kamery. Z nich podle vzorce $EV = 2 \cdot \log_2 F - \log_2 t - \log_2 (ISO / 100)$ spočítám hodnotu EV. Proto bude vždy jako první akce pořízení fotografie bez ohledu na to, je-li dobrá nebo není.

Další otázkou bylo, jestli by nestačilo namísto focení nového snímku jen softwarová úprava snímku. V případě, že by fotka byla přepálená nebo podpálená

(v některých oblastech snímku čistá bílá nebo černá), tak už to nemá vůbec žádný smysl, protože detaily na takové fotografii nebudou. Proto bude rozumnější vyfotit snímek nový.

Konečná verze algoritmu pracuje podle vývojového diagramu v příloze 1. Jeho popis v jednotlivých krocích je následující. V programu SkyGuard běží odpočet času udávající čas, který zbývá do focení dalšího snímku od vyfotografování předchozího. Po uplynutí tohoto času se spustí algoritmus autoexpozice, který skončí uložením vyhovujícího snímku na pevný disk počítače.

Jako první činnost, která se provádí, je kontrola, jestli je program nově spuštěn. To znamená, že algoritmus předtím ještě neběžel. Pokud je tomu tak, pak se nastaví všechny potřebné parametry do kamery. Nastavuje se manuální režim, ostření, vyvážení bílé, zoom, rozlišení výstupního snímku a jeho formát. Tyto parametry si může uživatel ještě před spuštěním algoritmu sám v aplikaci nastavit, anebo může využít tlačítka Default a vše se nastaví podle následující tabulky.

Parametr		Hodnota
Anglický název	Český název	
Program Mode	Režim expozice	Manual
Exposure Time	Expoziční čas	1 s
Aperture Number	Clona	2,8
SO Speed	ISO citlivost	100
Exposure Bias	Rozvážení expozice	0
Take Mode	Režim ukládání snímků	Normal
Flash	Blesk	Off
Metering	Měření	Spot
Optical Zoom	Optické přiblížení	70
Electric Zoom	Digitální přiblížení	0
Focus Mode	Režim ostření	Manual
Focus Position	Ohnisková vzdálenost	240
White Balance	Vyvážení bílé	Auto
Resolution	Rozlišení snímku	2 592x1 944 pixelů

Tab. 2 Výchozí hodnoty algoritmu

Pokud algoritmus již alespoň jednou proběhl, načtou se korigované hodnoty expozice z vyhodnocení snímku v předchozím běhu. To znamená korigovaná ISO citlivost, clona a expoziční čas. Ostatní parametry, týkající se nastavení fotoaparátu

se nemění. Tyto parametry se nastaví do kamery a vyfotí se snímek. Ten je ihned uložen na pevný disk počítače a analyzuje se jeho jas. Jasem zde myslím hodnotu v RGB vyjádření spočítanou podle vzorce:

$$Y = 0,299 \cdot R + 0,587 \cdot G + 0,114 \cdot B,$$

jehož výsledkem je hodnota v rozsahu $\langle 0;255 \rangle$. 0 znázorňuje zcela černou a 255 čistou bílou. Počítá se z každého druhého pixelu v hlavní oblasti snímku, což urychluje výpočet. Na přesnost to u snímků oblohy nemá vzhledem k rozložení snímaných objektů vliv a zřejmě by stačilo počítat jen s každým třetím, čtvrtým nebo i desátým pixelem.

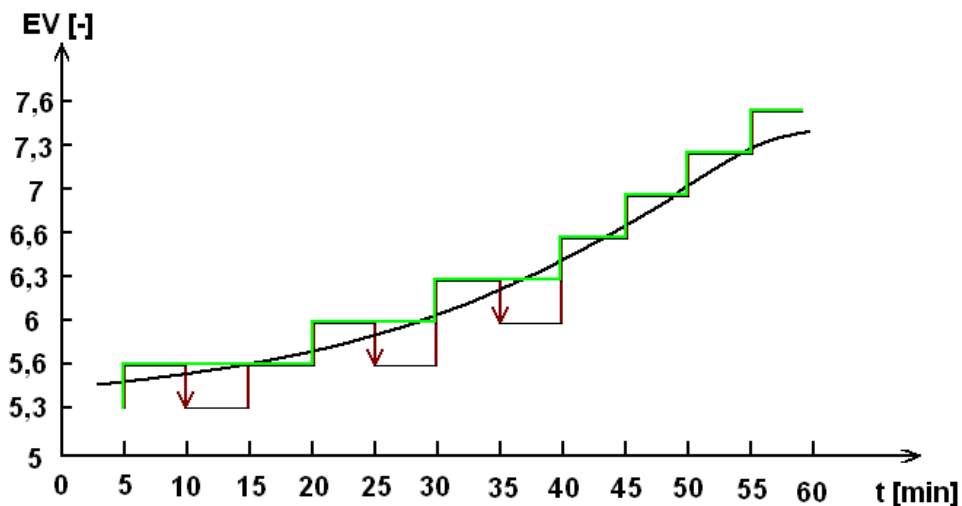
Pokud je jas v intervalu hodnot od 100 do 150, pak je snímek vyhodnocen jako vyhovující a je uložen pod jménem, které se skládá z aktuálního data a času. Pokud jas padne mimo tento interval, pak je snímek již nevhovující s nedostatkem detailů a dostane příznak nevhovující. V tomto případě se navrhne korigované EV a snímek se fotí ihned ještě jednou. Způsob nalezení korigovaného EV popisují v závěru této kapitoly. Samozřejmě může nastat případ, kdy má korigované EV takovou hodnotu (příliš velkou nebo naopak nízkou), kterou už kamera nedokáže nastavit. V tom případě nastavím tu poslední, kterou ještě nastavit lze.

Ať už je snímek dobrý nebo není, vždy dělám záznam do logu. To je textový soubor, který si ukládám na disk vedle snímků. Pokládám to za velice užitečné, protože tak lze sledovat, jestli algoritmus funguje podle mých představ nebo pomůže nalézt příčinu, proč správně nefungoval. Každý řádek v logu obsahuje název uloženého snímku, ISO citlivost, clonu a expoziční čas, kterým byl vyfocen, jas snímku a korekci EV pro následující snímek. Ukázka záznamu z logu je v příloze 8 a také ho rozeberu v kapitole 6 o výsledcích algoritmu.

Predikce EV pro další snímek

Mám tedy vyhovující snímek, ale tím činnost algoritmu ještě nekončí. Provádím totiž ještě úpravu expozičních hodnot pro další snímek. Dobrý snímek má sice jas v intervalu od 100 do 150, ale pokud spočítám ihned korekci EV vedoucí na jas 127, pak je mnohem větší pravděpodobnost, že jas příštího snímku padne opět mezi hodnoty 100 a 150 a nebude se muset fotit korigovaný snímek. To platí zvláště při nastaveném krátkém intervalu mezi snímky.

Do algoritmu jsem zaimplementoval i kontrolu aktuálního času. Lze totiž předpokládat, že v ranních hodinách bude množství světla jen narůstat. To znázorňuje křivka na obr. 14. Kdyby totiž algoritmus jen korigoval EV podle spočítaného jasu snímku, docházelo by ke zbytečné úpravě o jeden krok směrem dolů. To je zobrazeno na obrázku červenými šipkami v 10., 25. a 35. minutě. Takové korekce jsou zbytečné a v 30. a 40. minutě tak dokonce dochází k úpravě EV o 2 kroky zpět směrem nahoru, což by na pořízených fotografiích způsobilo zbytečně velký jasový skok. Pokud je tedy v ranních hodinách jas snímku v mezích od 127 do 140, pak neprovádím korekci EV směrem dolů. Analogicky to platí i ve večerních hodinách, kdy lze při západu Slunce očekávat jen pokles jasu a pokud je tedy jas mezi 110 a 127, pak opět neprovádím korekci EV.



Obr. 14 Modelový případ nárůstu jasu v ranních hodinách

Nalezení korigované expoziční hodnoty

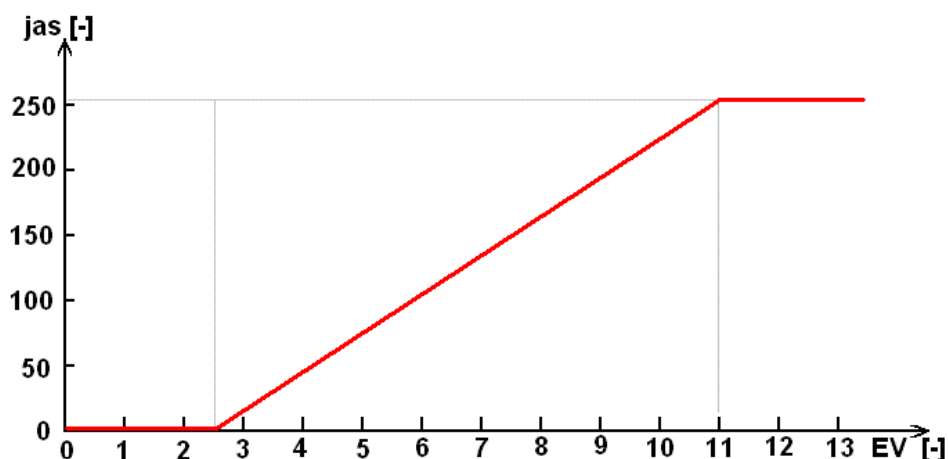
Nejdříve musím mít co korigovat. Předpokladem je tedy vyfocení snímku. Tento snímek byl focen s nějakým konkrétním expozičním časem, clonou a ISO citlivostí, které mám načtené z fotoaparátu. Zároveň má tento snímek nějaký jas, který jsem vypočítal. Pokud je tento jas v intervalu od 100 do 150, pak je vše v pořádku. Pokud ne, počítám korekci EV podle vztahu:

$$\Delta EV = (JAS_{Snímku} - 127) / 30,$$

kde $JAS_{Snímku}$ je jas analyzované fotografie.

Tento vztah platí zcela obecně pro daný fotoaparát. Číslo 30 ve jmenovateli není

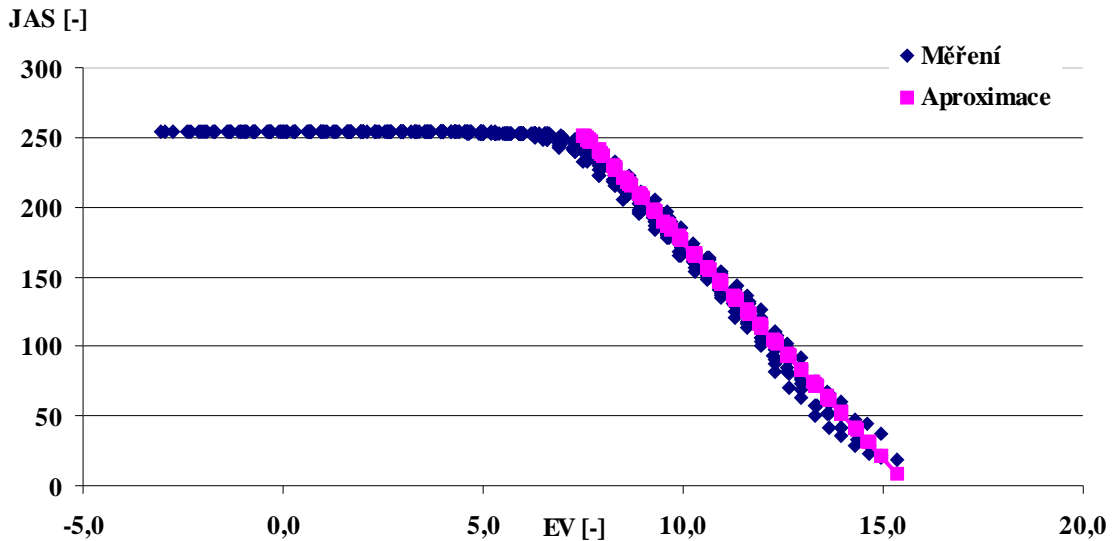
také zvolené jen tak náhodně, ale dospěl jsem k němu následující úvahou, kterou přiblížím i na příkladu. Použitý fotoaparát Olympus C-5060WZ dokáže na jednu fotografii zaznamenat scénu s rozsahem maximálně 8,5 EV, například od 2,5 EV do 11 EV. To, co padne pod 2,5 EV bude na fotografii černé (v RGB vyjádření {0;0;0}) a naopak to, co padne nad 11 EV bude zcela bílé (v RGB vyjádření {255;255;255}). Na následujícím obrázku je grafické znázornění tohoto příkladu.



Obr. 15 Ilustrace vlivu rozsahu citlivosti senzoru na jas fotografie

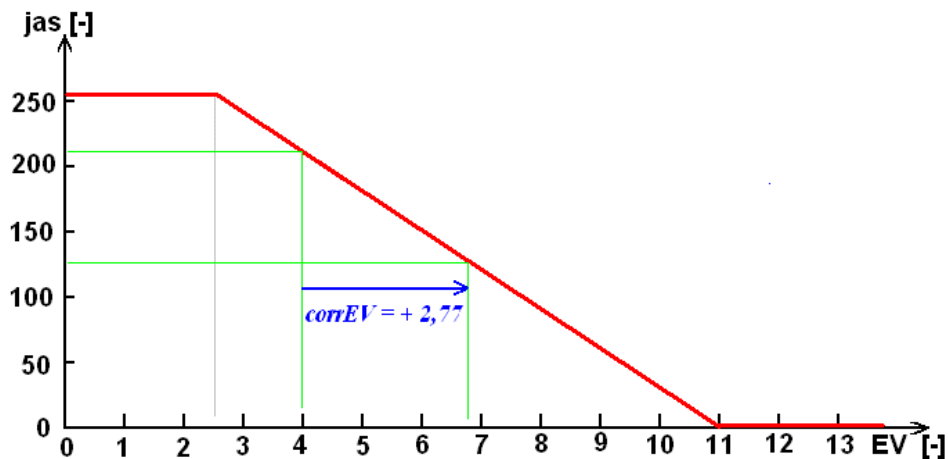
V rozmezí od 2,5 do 11 EV je průběh lineárně rostoucí s konstantou 30, což platí obecně. Už jsem se také zmiňoval v kapitole o základech fotografování, že jednotlivé řady ISO citlivosti, clony, expozičního času nejsou s ohledem na fyziologické vnímání lineární řady, ale jsou to exponenciální řady (vždy násobky dvou a předchozí hodnoty). EV se počítá jako logaritmus se základem 2 těchto hodnot, a tedy závislost jasu v RGB jednotkách na EV je lineární. Sklon přímky je tedy $255 / 8,5 = 30$ a je určen citlivostí optického senzoru, která je 8,5 EV.

Tuto konstantu jsem ověřil i malým měřením, které jsem s kamerou provedl. Nechal jsem ji fotit snímky jednoho místa (scéna s konstantním EV) pro všechny možné kombinace ISO citlivosti, clony a expozičního času a sledoval jsem průběh jasu na měnícím se EV (to závisí na ISO, cloně, času). Výsledek měření je uveden v grafu na obrázku 15. Tabulka naměřených hodnot je jen na přiloženém CD, protože v této práci by tabulka zabírala 10 stránek! Ověřil jsem si tak sklon přímky (aproximace), který je opravdu přibližně 30 a zároveň jsem zjistil, že reciprocity clony, ISO citlivosti a času platí jen přibližně.



Obr. 16 Reálný průběh závislosti jasu na EV a jeho aproximace

Dokázal jsem tedy, že konstanta 30 je pro daný fotoaparát skutečně správně. Teď ještě vysvětlím obsah závorky ve vzorci. Uvažujme modelový případ odpovídající předchozímu měření. Pro lepší názornost jsem graf překreslil na obr. 17. Směrnice je zde klesající, protože jas na scéně se v dané situaci nemění a s rostoucím EV říkám fotoaparátu, že je na scéně více světla, než tam ve skutečnosti je.



Obr. 17 Závislost změny jasu snímku neměnné scény při změně EV

V oblasti od 2,5 do 11EV má přímka matematický zápis:

$$JAS = 255 - (EV - 2,5) \cdot 30 = 330 - 30 EV$$

Uvažujme, že fotím scénu s nastavenými expozičními parametry, které odpovídají podmínkám s $EV = 4$. Algoritmus mi spočítá, že jas získaného snímku je

210. Nic ale neví o skutečných světelných podmínkách (o poloze přímky v grafu). Platí:

$$JAS = 255 - (EV - \text{posun}) \cdot 30, \text{ a tedy}$$

$$210 = 255 - (4 - \text{posun}) \cdot 30.$$

Navrhnout korekci EV tak, aby výsledná fotka měla jas 127, znamená řešit soustavu rovnic:

$$210 = 255 - (4 - \text{posun}) \cdot 30$$

$$127 = 255 - (EV - \text{posun}) \cdot 30.$$

Jejím řešením je výsledek $EV = 6,77$ a $\text{posun} = 2,5$. To odpovídá grafu na obr. 17.

Obecně se tedy ke korigovanému EV dostaneme po vyřešení soustavy rovnic:

$$JAS_{\text{Snímku}} = 255 - (EV_{\text{Snímku}} - \text{posun}) \cdot 30$$

$$JAS_{127} = 255 - (EV_{\text{Korigované}} - \text{posun}) \cdot 30.$$

$$\begin{aligned} \text{Jejím řešením je: } EV_{\text{Korigované}} &= (JAS_{\text{Snímku}} - JAS_{127}) / 30 + EV_{\text{Snímku}} = \\ &= \Delta EV + EV_{\text{Snímku}}. \end{aligned}$$

Korekce EV je tedy:

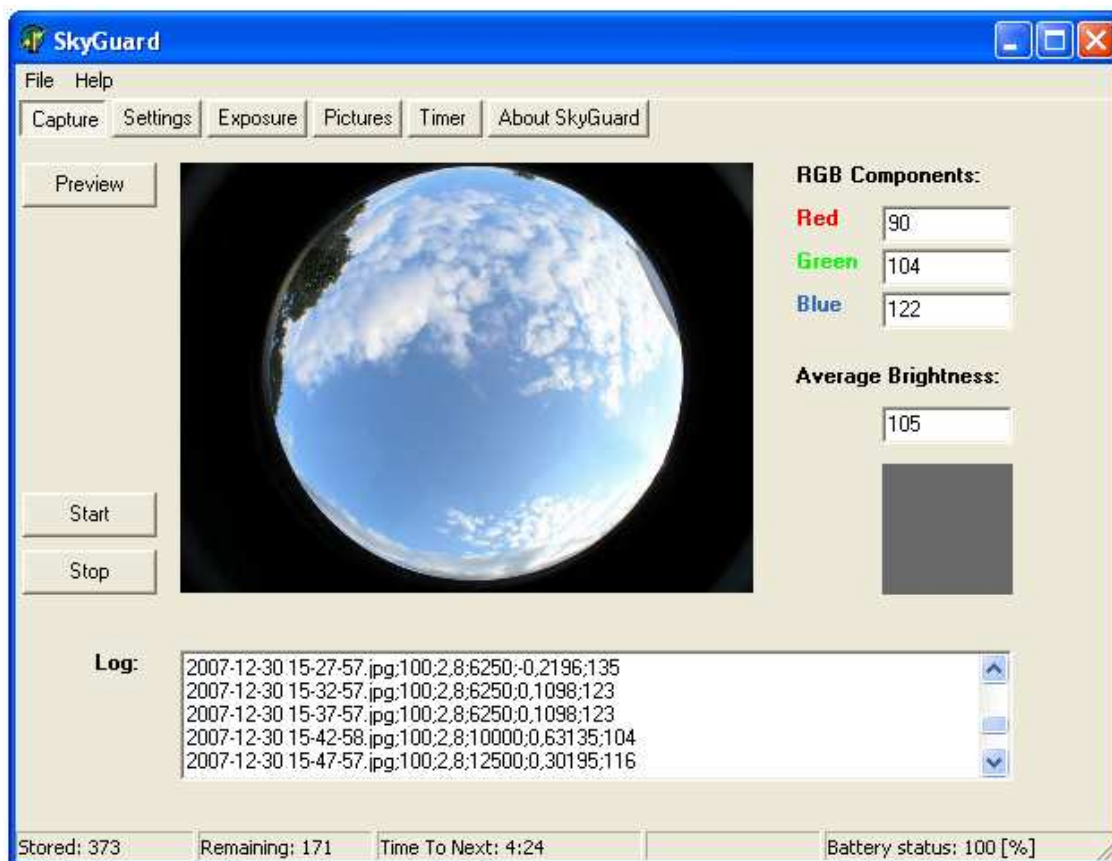
$$\Delta EV = (JAS_{\text{Snímku}} - 127) / 30.$$

Pro případ na obrázku by platilo $\Delta EV = + 2,77$.

V algoritmu autoexpozice k takto spočítanému korigovanému EV naleznou odpovídající trojici ISO-clona-čas. Přiřazené trojice ke všem použitelným hodnotám EV jsou seskupeny do tabulky v příloze 5. Tyto nalezené hodnoty nastavím do kamery a vyfotím tak správně exponovaný snímek.

5.4 Vzhled aplikace SkyGuard

Aplikace má uživatelské rozhraní, které je na obrázku níže. Je vytvořené tak, aby bylo možné veškeré nastavení uživatelem provést jen pomocí myši bez nutnosti vstupu z klávesnice.



Obr. 18 Hlavní okno programu SkyGuard

Celé uživatelské rozhraní se skládá ze tří hlavních částí. Zprv je to menu, které je tvořeno standardním způsobem podle zásad tvorby všech aplikací pro Windows. Obsahuje jen nejnütnější položky – File a Help. V podmenu položky File je volba Close, kterou lze aplikaci ukončit. V podmenu položky Help jsou volby About, která zobrazí základní informace o programu a volba Help. Po jejím výběru se otevře textový soubor s návodem, jak s programem zacházet. Toto menu by ani nemuselo být použito, ale je to slušností a každý správný programátor by ho měl použít, i kdyby mělo obsahovat jen volbu pro ukončení aplikace.²⁹

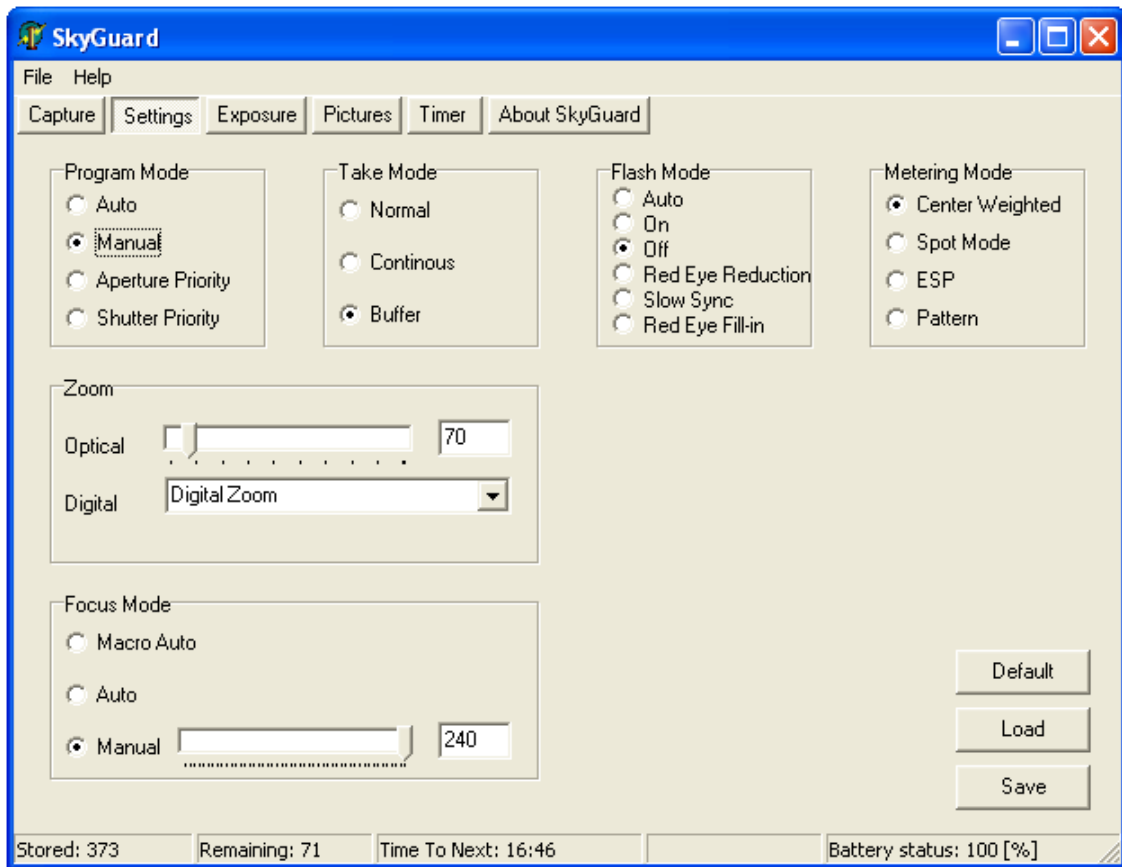
²⁹ KADLEC, Václav. *Umíme to s Delphi* [online]. 2001 [cit. 2008-01-02]. Dostupný z WWW: <http://www.zive.cz/default.aspx?article=30959>.

Druhou částí je hlavní oblast aplikace, která je rozdělena do šesti záložek umožňujících konfiguraci jednotlivých parametrů. Na záložce Capture jsou důležitá tři tlačítka. Zbývající komponenty této záložky mají hlavně informativní charakter. Tlačítko Preview fotí pouze jeden snímek s hodnotami parametrů, které si uživatel nastavil na ostatních záložkách. Slouží zejména ke kontrole nastavení a funkčnosti kamery. Tlačítko Start spustí pořizování snímků po nastavené době. Původně bylo požadováno snímkování oblohy po 15 minutách, ale považuji za výhodné nechat tuto hodnotu nastavitelnou.

Pořízený snímek se zobrazí jako náhled v rozlišení 320x240 pixelů. Souběžně s tím se zapíše řádek do logu, který je zobrazen v dolní části. V každém řádku je obsaženo jméno snímku, ISO citlivost, clona a expoziční čas, kterým byl vyfocen, následuje korekce EV (expoziční hodnoty) navržená pro následující snímek za použití hodnoty průměrného jasu aktuálního snímku, který je poslední částí záznamu.

Napravo od náhledu pořízené fotografie je informace o průměrné mohutnosti základních barev obsažených v celém snímku. Jedná se o základní barvy (červenou, zelenou, modrou), kterými lze jednoznačně popsat jakýkoliv odstín v RGB vyjádření. Pod nimi je zobrazena informace o průměrném jasu po přepočítání do odstínů šedi a v obrazovém poli pod touto hodnotou je zobrazen náhled této barvy. Tlačítko Stop zastaví běžící snímkování a zruší odpočítávání času.

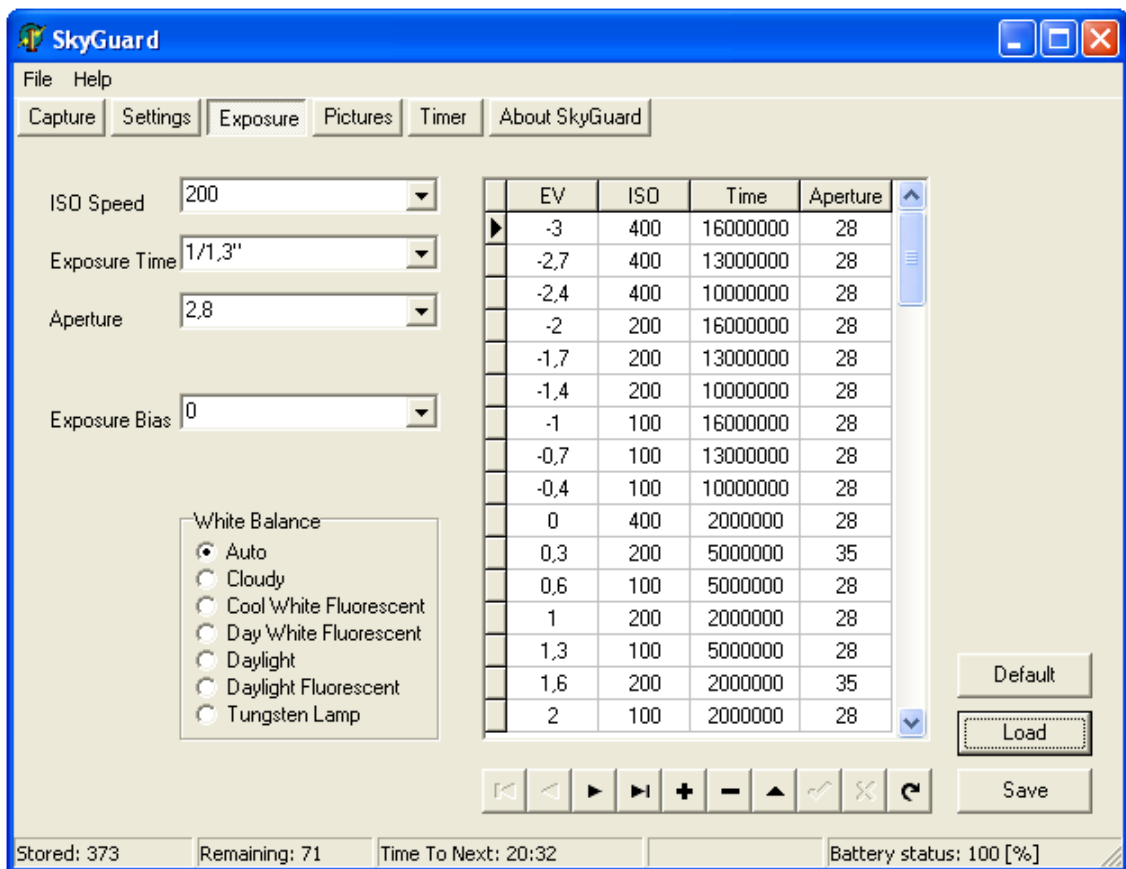
Pod záložkou Settings se skrývá nastavení základních funkcí fotoaparátů.



Obr. 19 SkyGuard - nastavení základních parametrů

Lze nastavit automatický nebo manuální režim určení expozičních hodnot, ale i režimy s prioritou clony a expozičního času. Dále lze nastavit, zda se bude fotit a ukládat na disk jeden snímek (volba Normal) nebo zda se bude fotit sled 3 snímků, anebo lze nastavit, aby se snímek vůbec neukládal na paměťovou kartu fotoaparátu. To je velice výhodné v této úloze, protože to zbytečně nezdržuje algoritmus a snímek je uložen pouze na pevný disk počítače. Dále jsou zde všechny využitelné volby pro nastavení režimu blesku. Při focení oblohy je blesk zcela zbytečný, proto je ve všech případech vypnut. Následuje režim měření expozice. Lze nastavit maticové měření se zdůrazněným středem, bodové měření, ESP a jednoduché maticové měření. Dále lze nastavit optický i elektronický zoom (přiblížení) a způsob ostření v intervalu od 0 do 240. Tlačítkem default se přednastaví hodnoty vhodné pro snímání oblohy. Tlačítkem Save se do kamery uloží hodnoty nastavené uživatelem a tlačítkem Load se načtou a zobrazí.

Na záložce Exposure je skryto nastavení týkající se expozičních hodnot.



Obr. 20 SkyGuard - nastavení expozičních parametrů

Lze nastavit ISO citlivost, clonu, expoziční čas a způsob vyvážení bílé.

Jsou tu opět tlačítka Default, Load a Save, která mají stejnou funkci jako na předchozí záložce.

Největší pozornost si zaslouží tabulka, kde je každé Expoziční hodnotě (EV) přiřazena trojice ISO, clona, expoziční čas. Tato tabulka je sestavena tak, že bylo snahou použít hlavně co nejnižší ISO a čas kvůli šumu. Clona může být plně otevřená, protože objektiv nemá znatelné zkreslení a nemá tedy výrazný vliv na kvalitu snímků.

Na záložce Pictures lze nastavit rozlišení snímků od nejmenšího 640x480 pixelů do nejvyššího 2 592x1 944 pixelů. U každého rozlišení lze zvolit nízkou (N) nebo vysokou kvalitu (H). Uživatel tu má na výběr, zda se jas bude počítat z celé plochy obrázku, anebo jen ze středové části, na které je obloha. Tlačítkem Load se načte a zobrazí aktuální rozlišení nastavené v kameře a tlačítkem Save se uloží zvolené rozlišení.

Další záložky už neobsahují tolik nastavení, proto je popíšu už jen bez obrázků. Na záložce Timer se pomocí posuvníku nastavuje interval, po kterém se bude fotit. Je zobrazen i jako číselná hodnota s udanou časovou jednotkou. Nad posuvníkem je informace o aktuálním času a datu. V dolní části je odpočítávající se čas do následujícího snímku. Je to stejný údaj jako ten, který je ve stavovém řádku.

Na poslední záložce je informace o tvůrci programu a odkaz na Štefánikovu hvězdárnu v Praze a jejich projekt MARK.

Třetí a poslední částí aplikace je informativní stavový řádek, který zobrazuje informace o počtu snímků uložených na interním úložišti (paměťová karta xD Picture Card³⁰) a snímků, které lze s nastaveným rozlišením ještě uložit. Dále je zde zobrazen čas, který zbývá do vyfocení následujícího snímku (odpočet) a informace o stavu napájecích akumulátorů v procentech.

³⁰ *XD-Picture Card* [online]. 2007 [cit. 2008-01-05]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/XD-Picture_Card.

6 Výsledky algoritmu

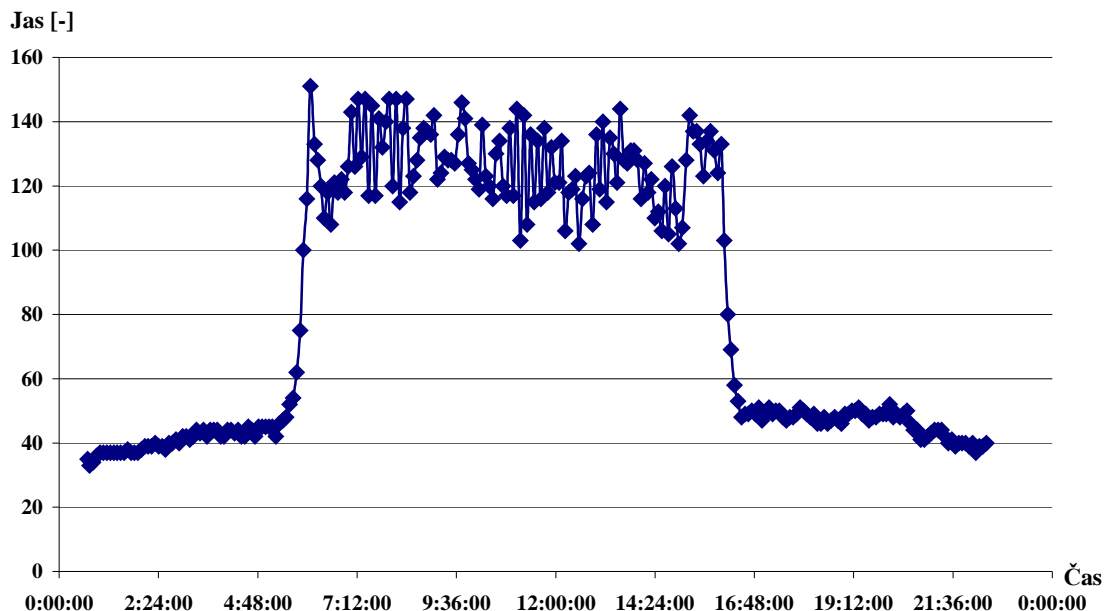
Hlavním úkolem algoritmu bylo zejména zvládnout situaci měnících se světelných podmínek při svítání a při západu Slunce. V těchto časových intervalech dochází k prudkým změnám expozičních hodnot a automatický režim fotoaparátu není schopen pro tyto podmínky stanovit optimální trojici ISO, clona, čas. Vytvořením vlastního algoritmu je tato nevýhoda vyřešena. Pro ilustraci jsou na obrázku 21 snímky z 4.1.2008 pořízené v noci (čas 1:00), při svítání (čas 7:00), v poledních hodinách (čas 13:00) a při západu Slunce (čas 17:00). Celou řadu pořízených snímků jsem přidal i na příložené CD a ve formě náhledů je snímky možné zhodnotit v přílohách 3 a 4. Pro úplnost uvedu, že algoritmus fotil snímky po 5 minutách a z celkového počtu 289 snímků bylo vyhodnoceno pouze 27 jako nevhodných pro další zpracování.



Obr. 21 Snímky pořízené dne 4.1.2008

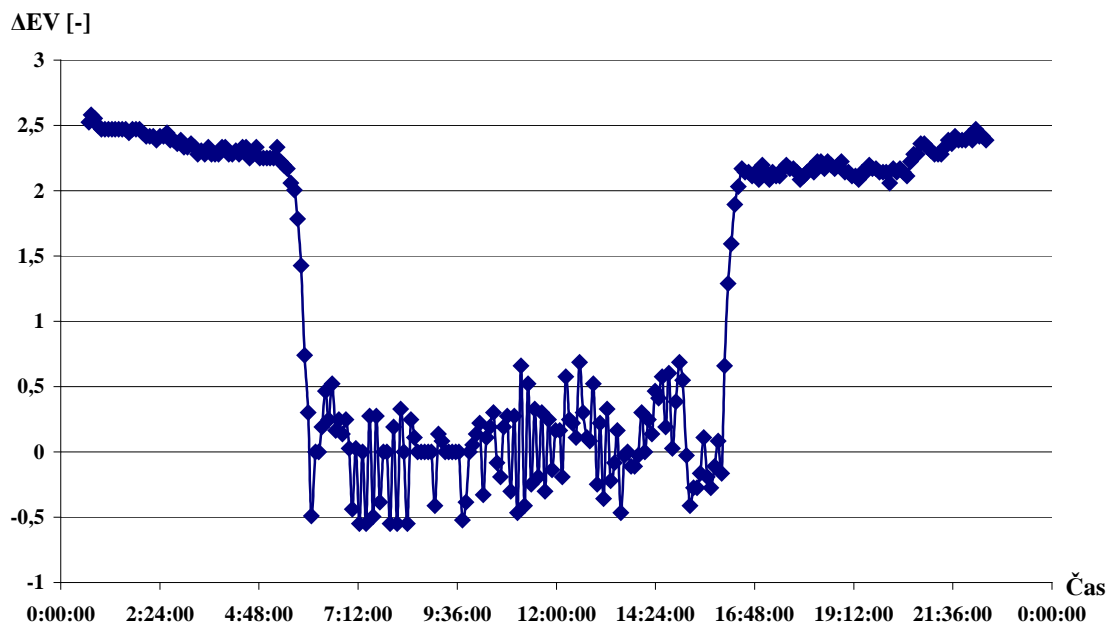
Je vidět, že i v době svítání a západu Slunce je scéna na snímcích zachycena se všemi detaily. Pro názornost jsem nechal fotit i část povrchu Země pod obzorem bez širokoúhlé předsádky.

Výstupem programu SkyGuard je i log (příloha 8), ze kterého lze sestavit i několik užitečných grafů pro posouzení činnosti algoritmu. Na prvním grafu (obr. 22) je průběh jasů pořízených snímků.



Obr. 22 Graf závislosti jasu snímků na denní době

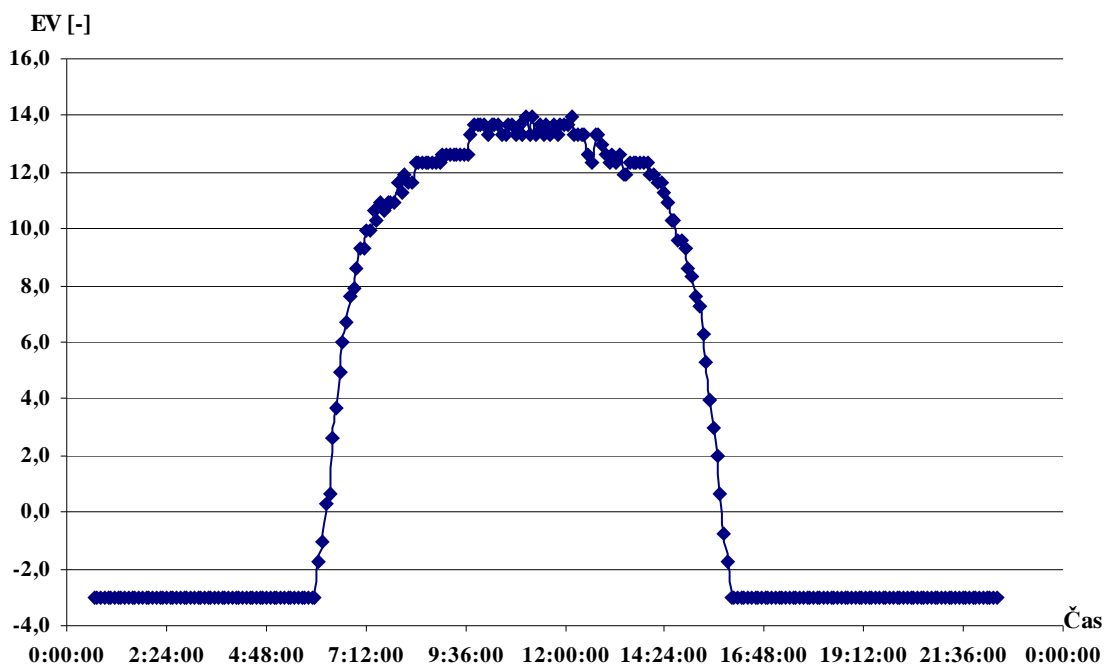
Ty jsou v povolených mezích ve všech situacích, kdy je to možné zařídit. Mezními schopnostmi fotoaparátu jsou expoziční čas 16 sekund, clona 2,8 a ISO 400. V případě zhoršených světelných podmínek již není možné pokračovat ve snižování EV a jas snímků přirozeně klesá.



Obr. 23 Graf závislosti korekce snímků na denní době

Další graf na obrázku 23 zobrazuje průběh požadovaných korekcí EV algoritmem pro další snímek v závislosti na čase. V ideálním případě by měl být požadavek na korekci pouze o 1 krok (1/3 EV). Pokud je ale kamera již na mezi svých možností je požadavek na korekci mnohem větší. Bohužel tomuto požadavku nelze z již zmíněných omezení vyhovět.

Třetím grafem na obrázku 24, který lze vytvořit z logu, je závislost absolutního EV scény na čase. Jednoduše řečeno je to průběh absolutních světelných podmínek na fotografované scéně. Tuto závislost v případě snímání oblohy nelze nijak ovlivnit. Jak se říká: „Počasí nelze poručit.“



Obr. 24 Graf závislosti absolutního EV scény na čase

Zmíním už jen jednu výhodnou vlastnost algoritmu, na kterou vás ani nemusím upozorňovat, pokud jste tento text dočetli pozorně od začátku až sem. Algoritmus se totiž chová ideálně v případě krátkého časového intervalu mezi pořizováním snímků. Situace na scéně se za 1 minutu změní jen minimálně a pro korekci následujícího snímku stačí jen predikce EV od vyhodnocení minulého snímku. Při použití dlouhých intervalů, například 15 minut, je nutné v případě rychle měnící se světelné situace dělat korekci expozice prakticky vždy.

Snímkování s kratším časovým intervalem je vhodnější pro analýzu

meteorologické situace nejen z hlediska zvýšení jistoty, že jsou dobré podmínky, ale lze vyzorovat třeba i směr pohybu mraků.

Celooblohová kamera jako detektor počasí má samozřejmě také své záporné vlastnosti. Zmíním dvě nejpodstatnější. První, méně závažnou slabinou, je rychlost USB rozhraní fotoaparátu verze 1, která je pouze 12 Mb/s. Ta, v případě použití snímků ve formátu RAW, může prodloužit přenos snímku i na několik sekund. Druhou, závažnější slabinou, je ale vlastní konstrukce celooblohové kamery. Nebo přesněji řečeno její skleněný kryt, na kterém se drží napadaný sníh nebo kapky deště. Jsou-li velké rozdíly teplot uvnitř a vně krytu, pak na něm může kondenzovat voda, která může v zimě i namrznat. Vhodným řešením by bylo například kryt vytápět třeba topnými drátky jako na zadních sklech automobilů. To by ale mělo negativní vliv na pořizované fotografie. Nebo je možnost vytápět celý vnitřní prostor krytu. Samozřejmostí je také občasná údržba krytu a jeho očištění. Při této činnosti by se mohl kryt ošetřit i speciálním přípravkem „odpuzujícím“ vodu, který by také výrazně pomohl.

7 Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit algoritmus, jehož výstupem jsou snímky celé oblohy použitelné pro další analýzu. V současné době je prováděna jen analýza meteorologické situace přímo nad hvězdárnou. Počítá se ovšem i s využitím snímků pro další účely. Těmi mohou být například detekce meteorů, družic nebo jiných vesmírných i nevesmírných těles. Nebo třeba jen kontrola situace nad hvězdárnou online.

V textu této diplomové práce popisuji postup krok za krokem, kterým jsem postupoval k dosažení funkčního algoritmu, který plní požadavky zadání. To znamená od rozboru zadání přes hledání podobných témat a studování potřebné teorie k danému problému až po návrh a konečnou realizaci a testování algoritmu.

Výsledkem mého snažení není tedy jen tento text, ale i funkční program. Ten navíc nebyl vytvořen jen z povinnosti, ale práce na něm se mi stala i zábavou. Možná to je jeden z důvodů, proč nebyl vytvořen jen algoritmus samotný, ale celý program, umožňující i základní uživatelská nastavení. Program dostal i své příznačné jméno – *Sky Guard*, neboli strážce oblohy. Přece jen je to jeho hlavní činnost.

Tento algoritmus je v současné době testován přímo na Štefánikově hvězdárně v Praze jako součást komplexního systému, který kontroluje, nakolik jsou vhodné podmínky pro pozorování vesmíru. Pořizované snímky jsou nyní správně exponované i za zhoršených světelných podmínek, ve kterých automatika fotoaparátu selhávala. Je ale jasné, že k plnohodnotnému otestování nestačí jen týden nebo měsíc. Nebude stačit ani celý rok, protože je nutné algoritmus podrobit všem možným podmínkám, které mohou nastat. A to nelze jinak, než za provozu. Základní činnosti algoritmu jsem tedy vyzkoušel jen v domácích podmínkách, které ale na ověření stability programu stačí.

Doufám, že tato práce bude k užítku nejen hvězdárně, ale i zájemcům, kteří si budou chtít naprogramovat vlastní aplikaci pro dálkové ovládání kamery. V mnohých případech to dokáže ušetřit nejen spoustu starostí.

Další krůček k vytvoření plně autonomního robotického dalekohledu byl tedy učiněn a doufám, že se naleznou i další nadšenci, kteří se budou podílet na tvorbě a vylepšování celého systému. Ten totiž nemusí být využíván jen k vědeckým astronomickým pozorováním, ale může sloužit i veřejnosti a třeba tím uděláte do budoucna i něco pro sebe.

Seznam použitých pramenů a literatury

Camera Controller 1.09.0000 [online]. 2002 [cit. 2007-10-26]. Dostupný z WWW: <http://www.grafika.cz/art/df/olympusremote.html>.

CamToCom 4.1 [online]. 2002 [cit. 2007-10-26]. Dostupný z WWW: <http://www.grafika.cz/art/df/olympusremote.html?pos=1>.

CEJNAR, Zdeněk, CHMELA, Ladislav, VLÁČIL, Petr, VRÁNA, Jaroslav. *Návrh systému robotizovaného dalekohledu*. Praha, 2006. 12 s. Elektrotechnická fakulta ČVUT. Vedoucí semestrálního projektu Ing. Jaroslav Burčík, Ph.D.

Český hydrometeorologický ústav [online]. 21.12.2007 [cit. 2008-01-02]. Dostupný z WWW: <http://www.chmi.cz/>.

Exposure value [online]. 2007 [cit. 2007-12-25]. Text v anglickém jazyce. Dostupný z WWW: http://en.wikipedia.org/wiki/Exposure_value.

FUCHS, Martin. *MARK*. Praha, Štefánikova hvězdárna: 2005. Dostupné z WWW: <http://observatory.cz/mark/download/mark.pps>.

FUCHS, Martin. *Robotický dalekohled MARK* [online]. Praha: Štefánikova hvězdárna, 2000-2007 [cit. 2007-12-19]. Dostupné z WWW: <http://observatory.cz/mark/>.

Grafický formát [online]. 2007 [cit. 2008-01-02]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Grafický_formát.

HOLAN, Tomáš. *Delphi v příkladech*. 2. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2001. 208 s., CD-ROM. ISBN 80-7300-033-4.

CHMELA, Ladislav. *Analýza snímků z celooblohové kamery*. Praha, 2007. 16 s. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická. Dostupné z WWW: <http://www.observatory.cz/mark/download/chmela.pdf>.

Johnson–Nyquist noise [online]. Wikipedie, otevřená encyklopedie. 2007 [cit. 2007-01-02]. Dostupný z WWW: http://en.wikipedia.org/wiki/Johnson–Nyquist_noise.

KADLEC, Václav. *Umíme to s Delphi* [online]. 2001 [cit. 2008-01-02]. Dostupný z WWW: <http://www.zive.cz/default.aspx?article=30959>.

KŘIVSKÁ, Alena. *Rozhraní pro řízení hvězdářského dalekohledu*. Praha, 2007. 65 s. Elektrotechnická fakulta ČVUT. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Burčík, Ph.D. Dostupný z WWW: <http://www.observatory.cz/mark/download/krivska.pdf>.

PIHAN, Roman. Expoziční základy. *Fotografvani.cz* [online]. 2006 [cit. 2007-11-20]. Dostupný z WWW: http://www.fotografvani.cz/art/fozak_df/rom_expozice1.html.

PIHAN, Roman. *Fotografie a fototechniky* [online]. 2003 [cit. 2007-12-26]. Dostupný z WWW: <http://www.fotoroman.cz/>.

Popis širokoúhlé předsádky WCON-07C [online]. [2004] [cit. 2008-01-02]. Anglický jazyk. Dostupný z WWW: http://www.olympus-europa.com/consumer/198_WCON-07C.htm.

RGB [online]. Wikipedie, otevřená encyklopedie, 2007 , 27.11.2007 [cit. 2008-1-1]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/RGB>.

Software Development Kit [online]. [2007] [cit. 2007-10-26]. Dostupný z WWW: <http://developer.olympus.com/>.

Specifikace fotoaparátu Olympus C-5060 WideZoom [online]. [2004] [cit. 2008-01-02]. Anglický jazyk. Dostupný z WWW: http://www.olympus-europa.com/consumer/29_C-5060_WideZoom_Specifications.htm.

Specifikace fotoaparátu Olympus C-740 UltraZoom [online]. [2004] [cit. 2008-01-02]. Anglický jazyk. Dostupný z WWW: http://www.olympus-europa.com/consumer/29_C-740_UltraZoom_Specifications.htm.

Světelné znečištění [online]. Wikipedie, otevřená encyklopedie. 2007 [cit. 2008-01-02]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Světelný_smog.

Štefánikova Hvězdárna - MARK [online]. 2000 [cit. 2008-01-02]. Dostupný z WWW: <http://www.observatory.cz/mark/index.php>.

XD-Picture Card [online]. 2007 [cit. 2008-01-05]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/XD-Picture_Card.

YUV [online]. Wikipedie, otevřená encyklopedie, 2007 , 4.10.2007 [cit. 2008-1-1]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/YUV>.

Seznam příloh

Příloha 1: Vývojový diagram algoritmu autoexpozice

Příloha 2: Přejchod snímků noc – den starého algoritmu

Příloha 3: Přejchod snímků den - noc starého algoritmu

Příloha 4: Tabulka použitelných hodnot ISO-clona-čas a rozlišení

Příloha 5: Tabulka trojic ISO-clona-čas přiřazených EV

Příloha 6: Přejchod snímků noc – den nového algoritmu

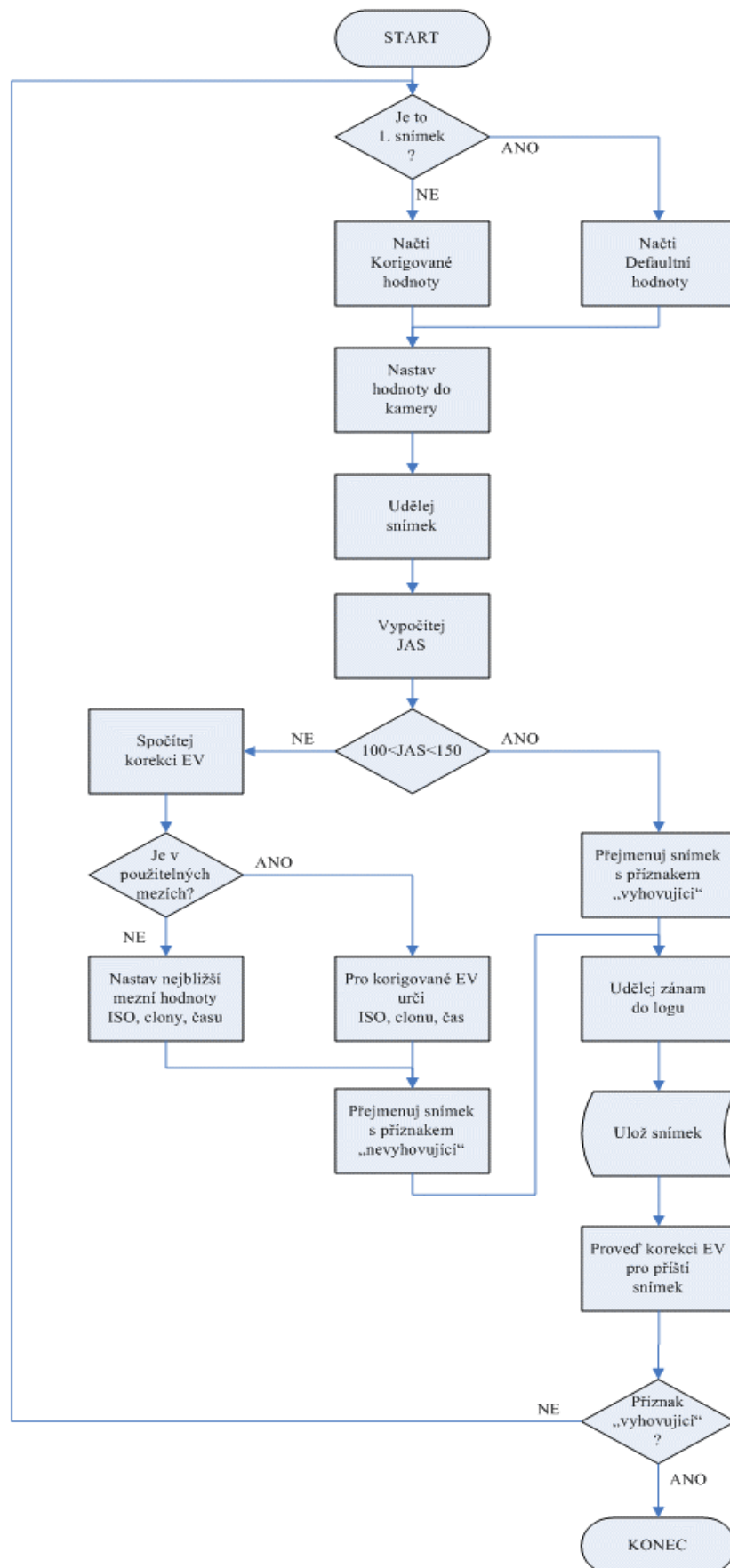
Příloha 7: Přejchod snímků den – noc nového algoritmu

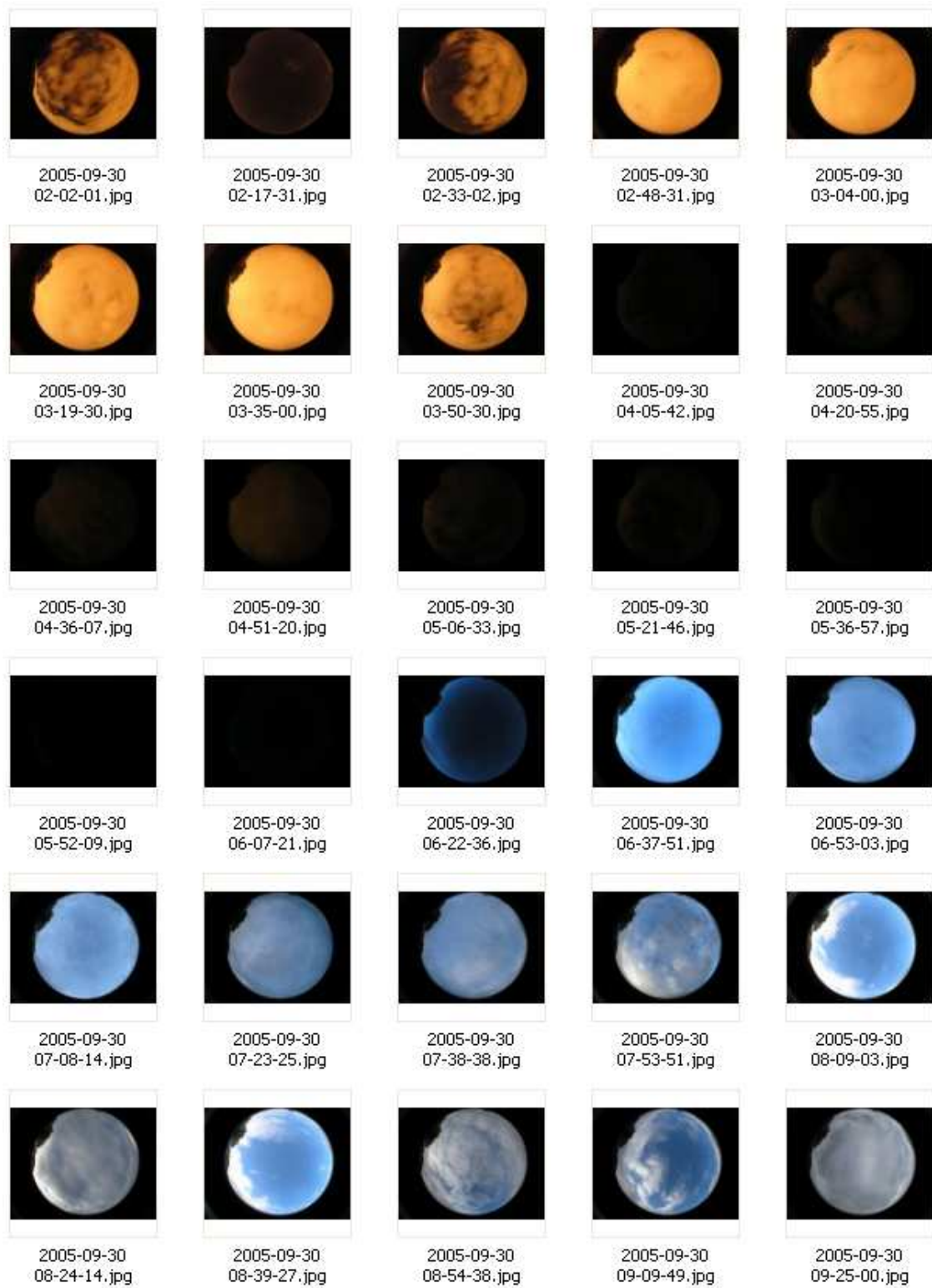
Příloha 8: Ukázka zápisu řádků v logu

Příloha 9: Zkratky použité v textu

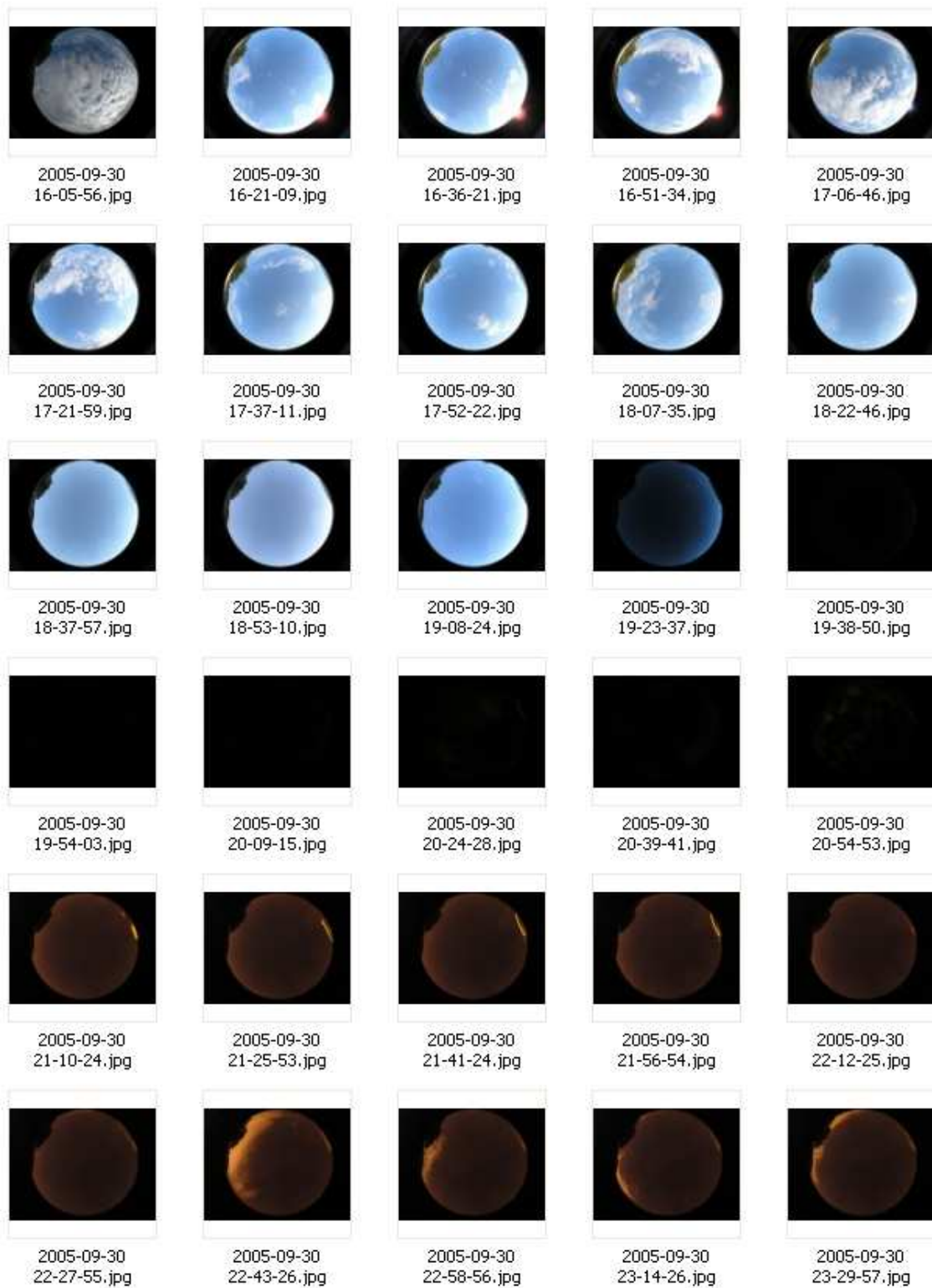
Příloha 10: Obsah přiloženého CD

Příloha 1: Vývojový diagram algoritmu autoexpozice



Příloha 2: Přechod snímků noc – den starého algoritmu

Příloha 3: Přechod snímků den – noc starého algoritmu



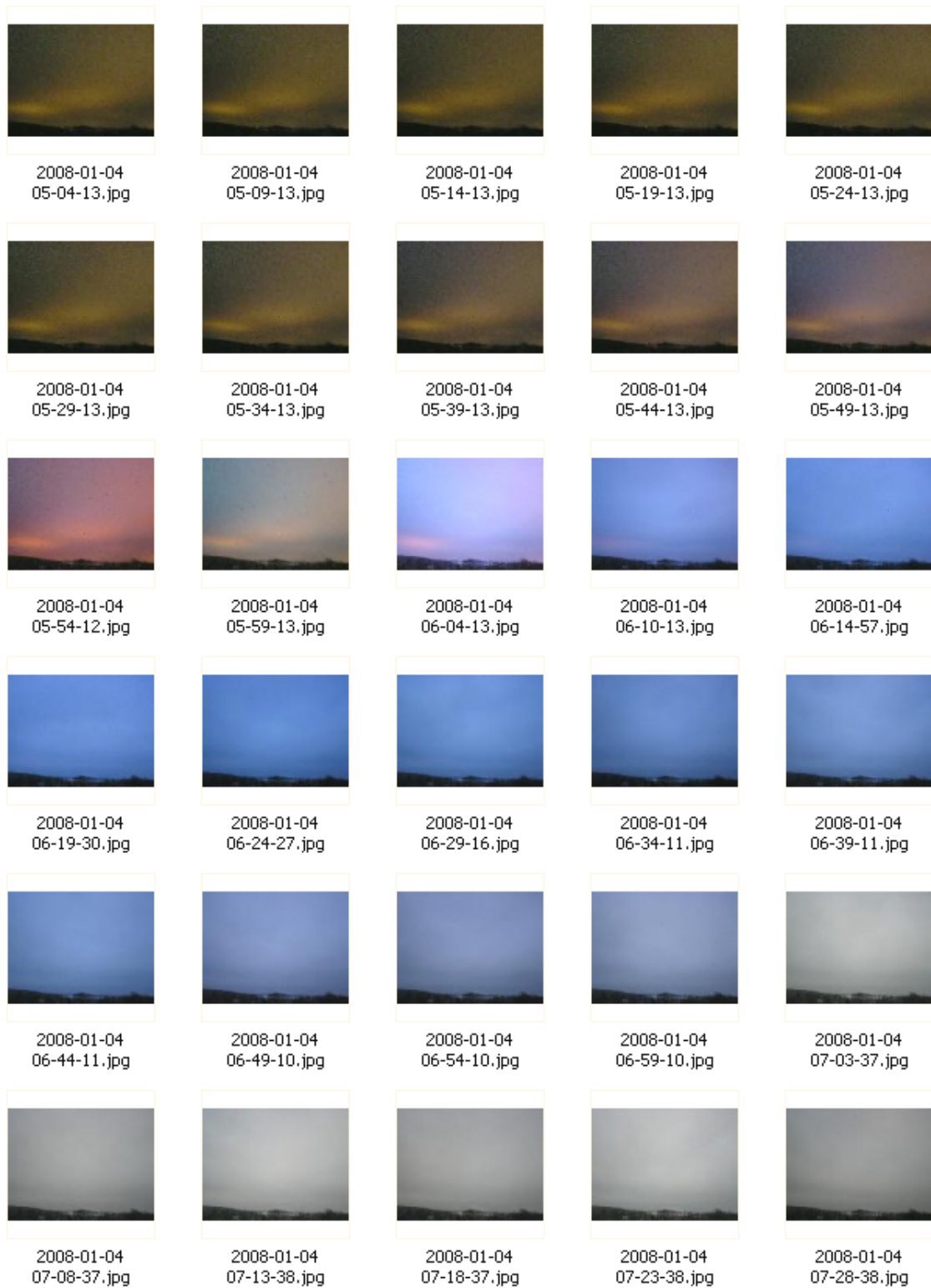
Příloha 4: Tabulka použitelných hodnot ISO-clona-čas a rozlišení

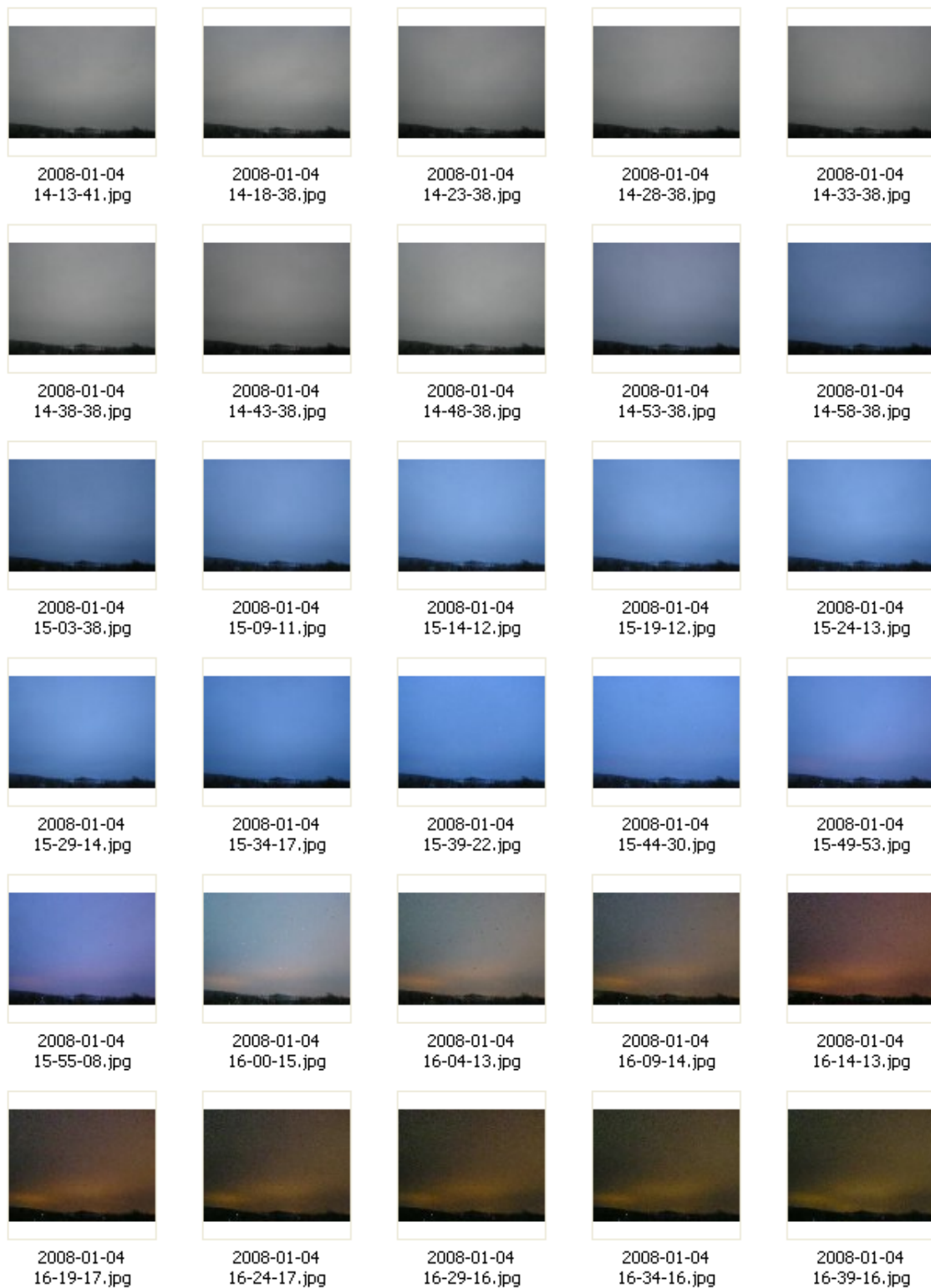
ISO citlivost	clona	čas expozice	formát	rozlišení
50	2,8	1/4000"	JPEG	640x480 N
100	3,5	1/3200"	JPEG	640x480 H
200	4	1/2500"	JPEG	1024x768 N
400	5,6	1/2000"	JPEG	1024x768 H
	8	1/1600"	JPEG	1280x960 N
		1/1250"	JPEG	1280x960 H
		1/1000"	JPEG	1600x1200 N
		1/800"	JPEG	1600x1200 H
		1/650"	JPEG	2048x1536 N
		1/500"	JPEG	2048x1536 H
		1/400"	JPEG	2288x1712 N
		1/320"	JPEG	2288x1712 H
		1/250"	JPEG	2592x1728 N
		1/200"	JPEG	2592x1728 H
		1/160"	JPEG	2592x1944 N
		1/125"	JPEG	2592x1944 H
		1/100"	JPEG	3264x2448 N
		1/80"	JPEG	3264x2448 H
		1/60"	TIFF	640x480
		1/50"	TIFF	1024x768
		1/40"	TIFF	1280x960
		1/30"	TIFF	1600x1200
		1/25"	TIFF	2048x1536
		1/20"	TIFF	2288x1712 N
		1/15"	TIFF	2288x1712 N
		1/13"	TIFF	2288x1712 N
		1/10"		
		1/8"		
		1/6"		
		1/5"		
		1/4"		
		1/3"		
		1/2.5"		
		1/2"		
		1/1.6"		
		1/1.3"		
		1"		
		2"		
		5"		
		10"		
		13"		
		15"		
		16"		

Příloha 5: Tabulka trojic ISO-clona-čas přiřazených EV

EV	ISO	Expoziční čas	Clona
-3	400	16000000	2,8
-2,7	400	13000000	2,8
-2,4	400	10000000	2,8
-2	200	16000000	2,8
-1,7	200	13000000	2,8
-1,4	200	10000000	2,8
-1	100	16000000	2,8
-0,7	100	13000000	2,8
-0,4	100	10000000	2,8
0	400	2000000	2,8
0,3	200	5000000	3,5
0,6	100	5000000	2,8
1	200	2000000	2,8
1,3	100	5000000	2,8
1,6	200	2000000	3,5
2	100	2000000	2,8
2,3	200	769230	2,8
2,6	200	1000000	3,5
3	100	1000000	2,8
3,3	100	769230	2,8
3,6	100	625000	2,8
4	100	500000	2,8
4,3	100	400000	2,8
4,6	100	333333	2,8
5	100	250000	2,8
5,3	100	200000	2,8
5,6	100	166666	2,8
6	100	125000	2,8
6,3	100	100000	2,8
6,7	100	76923	2,8
6,9	100	66666	2,8
7,3	100	50000	2,8

EV	ISO	Expoziční čas	Clona
7,6	100	40000	2,8
7,9	100	33333	2,8
8,3	100	25000	2,8
8,6	100	20000	2,8
8,9	100	16666	2,8
9,3	100	12500	2,8
9,6	100	10000	2,8
9,9	100	8000	2,8
10,3	100	6250	2,8
10,6	100	5000	2,8
10,9	100	4000	2,8
11,3	100	3125	2,8
11,6	100	2500	2,8
11,9	100	2000	2,8
12,3	100	1538	2,8
12,6	100	1250	2,8
12,9	100	1000	2,8
13,3	100	1538	4
13,6	100	1250	4
14	100	1000	4
14,3	100	1538	5,6
14,6	100	1250	5,6
14,9	100	1000	5,6
15,3	100	1538	8
15,6	100	1250	8
16	100	1000	8
16,3	100	800	8
16,6	100	625	8
17	100	500	8
17,3	100	400	8
17,6	100	313	8
18	100	250	8

Příloha 6: Přechod snímků noc – den nového algoritmu

Příloha 7: Přechod snímků den – noc nového algoritmu

Příloha 8: Ukázka zápisu řádků v logu

2008-01-04 05-49-13.jpg;400;2,8;16000000;1,4274;75
2008-01-04 05-54-12.jpg;400;2,8;16000000;0,74115;100
2008-01-04 05-59-13.jpg;400;2,8;16000000;0,30195;116
2008-01-04 06-04-13.jpg;200;2,8;13000000;-1,29015;174
KO-2008-01-04 06-09-07.jpg;200;2,8;13000000;-0,7686;155
2008-01-04 06-10-13.jpg;100;2,8;16000000;0;133
KO-2008-01-04 06-14-13.jpg;100;2,8;16000000;-1,45485;180
2008-01-04 06-14-57.jpg;200;3,5;5000000;0;128
KO-2008-01-04 06-18-51.jpg;200;3,5;5000000;-1,4274;179
2008-01-04 06-19-30.jpg;100;2,8;5000000;0,19215;120
KO-2008-01-04 06-23-51.jpg;100;2,8;5000000;-2,22345;208
2008-01-04 06-24-27.jpg;200;3,5;1000000;0,46665;110
KO-2008-01-04 06-28-43.jpg;200;3,5;1000000;-1,4823;181
2008-01-04 06-29-16.jpg;100;2,8;625000;0,24705;118
KO-2008-01-04 06-33-39.jpg;100;2,8;625000;-1,56465;184
2008-01-04 06-34-11.jpg;100;2,8;250000;0,52155;108
KO-2008-01-04 06-38-39.jpg;100;2,8;250000;-1,12545;168
2008-01-04 06-39-11.jpg;100;2,8;125000;0,1647;121
KO-2008-01-04 06-43-39.jpg;100;2,8;125000;-0,9333;161
2008-01-04 06-44-11.jpg;100;2,8;76923;0,24705;118
KO-2008-01-04 06-48-38.jpg;100;2,8;76923;-1,07055;166
2008-01-04 06-49-10.jpg;100;2,8;40000;0,13725;122
KO-2008-01-04 06-53-38.jpg;100;2,8;40000;-0,6588;151
2008-01-04 06-54-10.jpg;100;2,8;33333;0,24705;118
KO-2008-01-04 06-58-38.jpg;100;2,8;33333;-0,85095;158
2008-01-04 06-59-10.jpg;100;2,8;20000;0,02745;126
2008-01-04 07-03-37.jpg;100;2,8;12500;-0,4392;143
2008-01-04 07-08-37.jpg;100;2,8;12500;0,02745;126
2008-01-04 07-13-38.jpg;100;2,8;8000;-0,549;147
2008-01-04 07-18-37.jpg;100;2,8;8000;0;129
2008-01-04 07-23-38.jpg;100;2,8;5000;-0,549;147
2008-01-04 07-28-38.jpg;100;2,8;6250;0,2745;117
2008-01-04 07-33-37.jpg;100;2,8;4000;-0,4941;145
2008-01-04 07-38-38.jpg;100;2,8;5000;0,2745;117
2008-01-04 07-43-37.jpg;100;2,8;4000;-0,3843;141
2008-01-04 07-48-37.jpg;100;2,8;4000;0;132
2008-01-04 07-53-38.jpg;100;2,8;4000;0;140
2008-01-04 07-58-38.jpg;100;2,8;2500;-0,549;147
2008-01-04 08-03-38.jpg;100;2,8;3125;0,19215;120
2008-01-04 08-08-37.jpg;100;2,8;2000;-0,549;147

Příloha 9: Zkratky použité v textu

A/S/M	Aperture priority/Shutter priority/Manual
A/V	Audio/Video
CCD	Charge-Coupled Device
ČHMÚ	Český HydroMeteorologický Ústav
ČR	Česká Republika
ČVUT	České Vysoké Učení Technické
ED	Extra-low Dispersion glass
EV	Exposure Value
ESP	Electro Selective Pattern
F	Focal
JPEG	Joint Photographic Experts Group
MARK	Malý Autonomní Robotický telesKop
MCM	Mark Condition Monitor
MCP	Mark Control Panel
MFE	Mark Front End
RAW	Není zkratkou, ale jde přímo o anglické slovo „raw“, které v češtině znamená syrový, nezpracovaný.
RGB	Red-Green-Blue
SDK	Software Development Kit
TIFF	Tag Image File Format
USB	Universal Serial Bus
UV	Ultraviolet
UZ	Ultra Zomm
WZ	Wide Zoom

Příloha 10: Obsah přiloženého CD

Cejnar_Zdenek.pdf	Text diplomové práce v elektronické podobě.
Celooblohove snimky	Ukázka (snížené rozlišení) celooblohových snímků zaznamenaných ve dnech od 6.10.2007 do 8.10.2007 na Štefánikově hvězdárně. ³¹
Jine programy	Volně dostupné programy pro ovládání kamery - Pine Tree Computing Camera Controller a Cam2Com.
SkyGuard	Program pro ovládání kamery a zdrojový soubor.
Tabulky a Grafy	Tabulky naměřených hodnot jasu v závislosti na nastaveném EV (pro kapitolu 6 – Výsledky algoritmu).
Zkusebni snimky	Snímky pořízené během testování algoritmu v lednu 2008.

³¹ Snímky z archivu dat projektu MARK, Štefánikova hvězdárna