

Digitální astronomická fotografie

R. Prokeš

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1
radekpro@seznam.cz

Abstrakt

Tato práce se zabývá digitální astronomickou fotografií. Klade si za cíl seznámit čtenáře s problematikou digitální fotografie a jejího využití v astronomii. Práce se skládá z několika částí. Část první se zabývá vysvětlením funkce CCD čipu a popsáním jeho vlastností, protože postupy fotografování a zpracovávání fotografií z nich přímo vyplývají. Ve druhé části jsou obecně popsány druhy nežádoucích vlivů (šumy) ve fotografiích. V poslední části je uveden konkrétní způsob zpracování astronomických fotografií. Výsledkem práce jsou vlastní fotografie, které vznikly postupem uvedeným v práci a dokládají tak jeho praktické využití.

1 Úvod

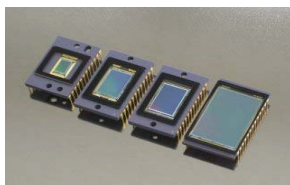
Digitální technika dnes zaujímá čelní místo ve všech oborech, astronomické focení nevyjímaje. Největší výhodou digitálních fotoaparátů a kamer je to, že nemusíme čekat dlouhou dobu na vyvolání fotografií a digitální fotografie můžeme snadno upravovat. Lze použít základní tři typy přístrojů: kompaktní fotoaparáty (nepříliš výhodné), digitální zrcadlovky (standard) a CCD kamery (profesionální vybavení, vysoká cena, vysoká kvalita).

2 CCD čip

Čip je základní součástí digitálních zrcadlovek. Většina přístrojů používá typ CCD (Charge Coupled Device – nábojově vázané prvky). Skládá se z kondenzátorů (přechodů PN) a fotodiod. Když na čip dopadne světlo (foton), vytvoří se v polovodiči elektrický náboj (fotoelektrický jev). Protože čip obsahuje svislé negativní potenciálové valy odpuzující elektrony a systém vodorovných elektrod, rovněž s negativním nábojem, vytváří se na čipu mřížky tzv. „potenciálových studní“, z nich elektrony nemohou uniknout. Tyto „studny“ se nazývají pixely. Počet pixelů je jedna ze základních charakteristik CCD čipu. Čím déle dopadá na pixel světlo, tím více elektronů nashromáždí. Oproti lidskému oku mají tedy nespornou výhodu, protože mohou akumulovat náboj po dlouhou dobu. Hodí se tedy pro fotografování astronomických objektů, které jsou jako zdroj světla velmi slabé a musí být exponovány po dlouhou dobu.

3 Princip funkce CCD čipu

CCD čip je pokryt sítí elektrod, které udržují elektrony na svém místě (v pixelech). Po dobu expozice se na pixelech vytváří náboj (elektrony). Po skončení expozice, když je potřeba informaci z čipu vyčíst, se na elektrody přivede napětí. Toto napětí způsobí, že se elektrony „přelévají“ z pixelu na pixel. Takto se náboj posouvá po čipu až do výstupního zesilovače, kde se působením elektronů vytvoří výstupní napětí. Hodnota tohoto napětí je pak změřena a převedena na číslo pomocí analogově/digitálního převodníku (dále A/D převodník) z každého pixelu. Na konci procesu tedy získáme datový soubor, který obsahuje informace o množství světla, které dopadlo na pixely. Tato informace je vyjádřena pomocí čísla ADU.



Obr.1 CCD čipy firmy Kodak

3 Převodní poměr CCD čipu

Výstupní zesilovač CCD čipu přeměňuje náboj na napětí v určitém poměru. Elektronika kamery/fotoaparátu konvertuje toto napětí na jednotky ADU také v určitém poměru. Lze tedy jednoduše spočítat poměr náboje/ADU:

- předpokládejme, že výstupní uzel CCD vytváří napětí $10\ \mu\text{V}$ na 1 elektron
- vygenerované napětí se nyní převede v A/D převodníku na číslo
- předpokládejme, že máme CCD kameru s 16-ti bitovým převodníkem, který má vstupní rozsah 1,5 V (v tom případě se 1,5 V rozdělí na 65 536 jednotek). Pak tedy platí:

$$\text{napětí vytvořené na jeden náboj} = \frac{10\ \mu\text{V}}{e^-}; \quad \text{napětí na 1 jednotce} = \frac{1,5\text{V}}{65536\ \text{ADU}} = \frac{22,9\ \mu\text{V}}{\text{ADU}}$$

$$\text{z toho plyne: poměr náboj/ADU} = \left(\frac{22,9\ \mu\text{V}}{\text{ADU}} \right) \div \left(\frac{10\ \mu\text{V}}{e^-} \right) = \frac{2,3e^-}{\text{ADU}}$$

Získali jsme převodní poměr, což je důležitý parametr CCD kamer a fotoaparátů. V tomto případě vyšlo, že v průměru 2,3 elektronů (statisticky) v „potenciálové studni“ způsobí vytvoření jednotky čísla výsledného obrazu.

4 Šum, nežádoucí vlivy ve fotografiích

Nevýhodou CCD čipu je to, že nepracuje bezchybně. Jeho kvalita je omezena jednak výrobními postupy a jednak samotným procesem fotografování. Výsledkem je šum, což je informace, která nás nezajímá a která se musí oddělit od signálu, aby byla fotografie kvalitní. Existuje několik druhů šumu:

a) Temný proud

Elektrony v pixelech se uvolňují nejen působením záření, ale také náhodně vlivem tepla. Tento proces se nazývá tepelný šum neboli temný proud. Vyjadřuje se v elektronech za sekundu na pixel při definované teplotě (0°C). Hodnoty temného proudu uvádí výrobce a obvykle se pohybují kolem $1\ e^-/\text{s}$ při 0°C . Výhodou je, že tento šum zůstává při stejných podmínkách konstantní, takže existuje postup, jak ho z fotografie odstranit.

b) Čtecí šum

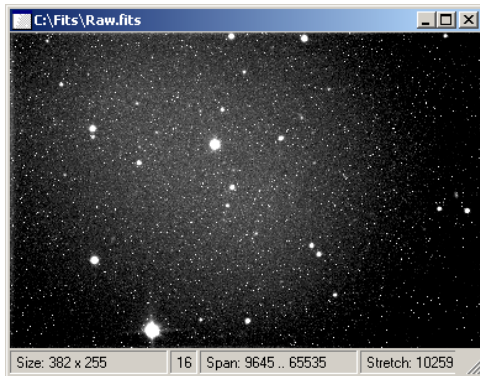
Čtecí šum je způsoben přesunem elektronů po dokončení expozice. Tento šum nezávisí na teplotě a je charakteristický pro každý čip. Vyjadřuje se v elektronech. Například firma Kodak vyrábí čip KAF-0400 CCD, jehož čtecí šum je $15\ e^-$. To znamená, že z čipu není možné obraz vyčistit s menší úrovní šumu než je $15e^-$.

c) Fotonový šum (poissonovský)

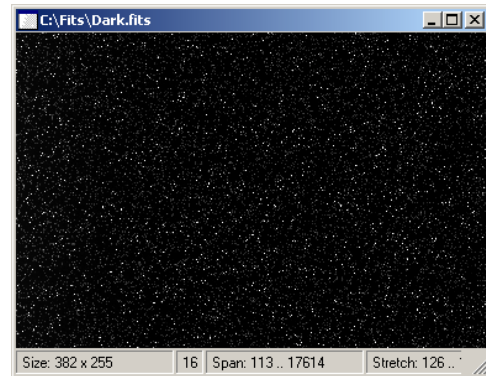
Tento šum není způsoben vlastnostmi čipu, ale vlastnostmi záření. Fotony totiž nepřicházejí v pravidelných intervalech, ale náhodně.

5 Kalibrace snímků

Když vyfotíme snímek, je obvykle ve formátu **raw** (z angličtiny syrový). Takový snímek ještě nemá nic společného s pěknými zpracovanými snímky, které jsme získali kalibrací a složením více snímků. Nejprve musíme z každého snímku odstranit šum a nežádoucí vlivy, a to provedením základních 2 kroků: odečíst dark frame a aplikovat flat field.



Obr. 2 Raw snímek



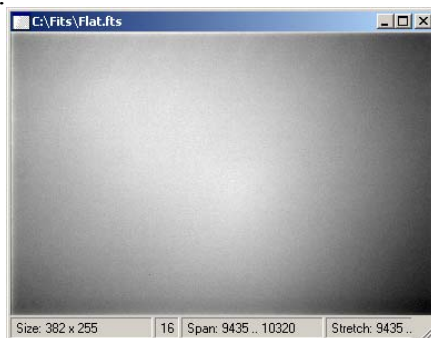
Obr.3 Dark frame

4 Odečtení dark frame

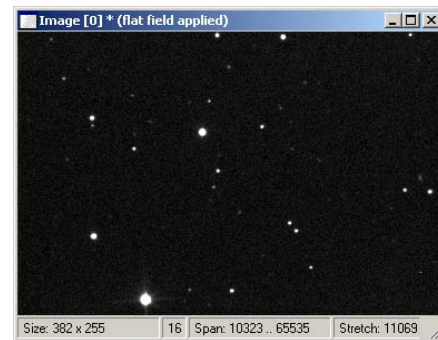
Abychom se zbavili temného proudu, musíme od snímku odečíst tzv. dark frame. Dark frame je snímek o určité expoziční době, ale pořízený s uzavřenou závěrkou. Z toho vyplývá, že na čip nedopadá žádné světlo a elektrony se budou uvolňovat jen v důsledku tepla. Tím získáme černý snímek, na kterém bude pouze tepelný šum. Potom tento snímek odečteme od snímku raw, čímž se zbavíme tepelného šumu. Protože je tento šum závislý na teplotě, musí být dark frame vytvořen za stejné teploty a musí být pořízen stejnou expozicí jako snímek raw.

5 Aplikace flat field

Anglický termín flat field vyjadřuje odezvu celé snímací soustavy (dalekohledy, filtry, CCD čipy) na rovnoměrné osvětlení. Snímek je totiž znehodnocen vlivy, které snižují rovnoměrnost jeho jasu. Abychom odstranili tyto vady, musíme aplikovat tzv. flat field. Je to obraz rovnoměrně osvětleného pozadí. Aplikace spočívá v dělení každého pixelu raw formátu příslušným pixelům flat field obrazu. Pixely raw snímku jasnější kvůli nerovnoměrnosti osvětlení jsou poděleny pixely flat fieldu, které jsou jasnější ze stejného důvodu. Aby se nezměnila škála obrazu, vynásobí se výsledná hodnota průměrnou hodnotou jasu flat field obrazu.



Obr. 4 Flat field



Obr. 5 Snímek po aplikaci flat field

6 Zpracování snímků na počítači

V dnešní době existuje poměrně dost programů na zpracování astronomických snímků. Pracoval jsem s programem Iris, protože tento program patří k těm nejoblíbenějším, je snadno ovladatelný a dá se stáhnout zdarma. Ke stažení je na oficiální internetové stránce programu Iris: <http://www.astrosurf.com/buil/us/iris/iris.htm> Výsledné úpravy jsem prováděl v programu Photoshop.

Abychom získali kvalitní snímek oblohy, musíme provést několik kroků:

- odečíst dark frame pro každý snímek
- aplikovat flat field na každý snímek
- registrovat snímky („srovnat snímky podle polohy hvězd“)
- složit snímky (sečíst jednotlivé expozice, abychom dostali výsledný snímek s dlouhou expozicí)

Po tomto základním procesu ještě není snímek zcela hotový. Dostali jsme nyní složení několika expozic. Aby fotografie vypadala pěkně, je potřeba provést několik úprav:

- ořezat snímek (kvůli registraci se často jednotlivé snímky posunou a výsledný snímek je natočen či ořezán na jedné straně)
- doostřit snímek (rozumně, při doostření se objeví vyšší šum)
- upravit barvy a jas (pomocí grafů pro vstupní a výstupní hodnoty jasu pixelů)
- v případě nutnosti použít klonovací razítko (pokud chceme vymazat nějaký kaz, tato metoda je často kritizována, protože ubírá snímku na pravdivosti)

Tyto a mnohé další úpravy se dají snadno provádět v programu Adobe Photoshop, který není na rozdíl od Irisu volně šiřitelný.

Tento výčet metod a postupů si neklade nárok na úplnost. Každý upřednostňuje jiný postup a úpravy podle toho, na co je zvyklý. Existuje ovšem zásada, že výsledný snímek by se měl co nejméně odlišovat od reality, protože jinak ztrácí výpovědní hodnotu a fotografie se změní na omalovánku.

7 Závěr

Ve své práci jsem uvedl základní informace o fotografování oblohy. Praktické využití postupů, které jsem zde uvedl, dokládají fotografie, které jsem vytvořil. Z úsporných důvodů uvádím jen odkaz na internetové stránky, kde si čtenář může prohlédnout výsledné fotografie:

- <http://www.expedice.astronomie.cz/expa08/>
- <http://blog.astronomie.cz/expa09/author/prokes>

8 Poděkování

Na tomto místě chci poděkovat organizátorům Astronomické expedice 2008 na hvězdárně v Úpici, kde jsem měl možnost naučit se základy astronomického fotografování a pracovat s profesionální fotografickou technikou.

Reference

[1] <http://ccd.mii.cz/art?id=303&cat=1&lang=405>

[2] <http://denik.astronomy.cz/digifoto/povetron-2008-s1.pdf>