

**České vysoké učení technické v Praze,
Fakulta elektrotechnická**

**Czech Technical University in Prague,
Faculty of Electrical Engineering**

Mgr. Petr Páta, Ph.D.

**Systémy pro snímání vědeckotechnických obrazových dat
Systems for scientific image data acquisition**

Summary

This presentation deals with problematic of scientific image acquisition systems. Approaches used in these systems are different from traditional methods of multimedia applications. Multimedia algorithms are optimized with regard to human vision. This approach is not suitable for scientific image, which are processed by specific algorithms.

The system BOOTES (Burst Observer Optical Transient Exploring System) is equipped with a network of robotic telescopes based in the south Spain (BOOTES – 1, BOOTES – 2 and BOOTES IR), in New Zealand and in the Czech Republic (BART). This system is operated as a ground based supporting experiment of the INTEGRAL satellite. There are also described systems UWFC (Karlovy Vary) and two-station video system for detection of weak meteors.

Real image acquisition systems with wide field cameras are influenced by space variant optical aberrations. Zernike polynoms are suitable for their modeling. These models allow image reconstruction and image processing with higher precision.

The one-chip approach to the scientific image acquisition is a source of specific artifacts with influence to the precision of used image processing algorithms. The influence has origin in color filter array (CFA) and application of interpolation algorithms.

Lossy compression of the scientific image data is specific area where is necessary to define of the standard of the acceptable distortion. Approaches based on the wavelet and integral transforms are used in this time. There is introduced the coder based on Karhunen – Loève transform in this presentation.

Souhrn

Tato prezentace se zabývá problematikou systémů pro snímání vědeckotechnických obrazových dat. Metody použité v takových systémech jsou odlišné od obvyklých používaných v multimediálních aplikacích. Algoritmy v multimediální technice jsou optimalizovány vzhledem k vlastnostem lidského zraku. Tento přístup není vhodný pro vědeckotechnická obrazová data, která jsou zpracovávána specifickými algoritmy.

Systém BOOTES (Burst Observer Optical Transient Exploring System) je tvořený sítí robotických dalekohledů umístěných v jižním Španělsku (BOOTES – 1, BOOTES – 2 a BOOTES IR) na Novém Zélandu a dalekohledem BART (Ondřejov). Tento systém je koncipovaný jako pozemní experiment družice INTEGRAL. Dále jsou zde popsány UWFC v Karlových Varech a dvojestaniční televizní systém pro sledování slabých meteorů a rekonstrukci trajektorie částice v atmosféře Země.

Reálné snímací systémy s širokým zorným polem jsou ovlivněny prostorově variantními optickými vadami. Jejich modelování je vhodné provádět Zernikovými polynomy. Což umožní odstranění těchto poškození a zvýšení přesnosti na snímku prováděných měření.

V případě použití jednočipového přístupu je možné pozorovat vznik typických artefaktů, které nepříznivě ovlivní přesnost dalších algoritmů. Projevuje se zde rozmístěných barevných polí (CFA) a aplikace interpolačních algoritmů.

Ztrátové komprese vědeckotechnických obrazových dat je specifickou oblastí, ve které je třeba definovat míru přípustné ztráty. V současné době se využívají přístupy založené na vlnkové a integrální transformaci. V této práci je představen kódér založený na Karhunenově – Loèvehovo transformaci.

Klíčová slova: Astronomické snímací systémy, BOOTES, BART, prostorově variantní optický systém, UWFC, CFA, ztrátové algoritmy komprese obrazu v astronomii, KLT.

Keywords: Astronomical image acquisition systems, BOOTES, BART, space variant optical system, UWFC, CFA, lossy image compression algorithms of images in astronomy, KLT.

České vysoké učení technické v Praze

Název: Systémy pro snímání vědeckotechnických obrazových dat

Autor: Mgr. Petr Páta, Ph.D.

Počet stran: 22

Náklad: 150 výtisků

© Petr Páta, 2009
ISBN 80-01-

Obsah

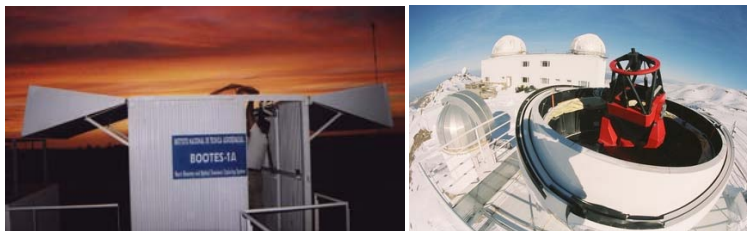
1. Úvod	6
2. Vybrané systémy pro snímání vědeckotechnických obrazových dat 6	
2.1 Celoblohový monitor v Karlových Varech.....	8
2.2 Systém pro televizní sledování slabých meteorů.....	9
3. Reálné optické systémy.....	10
4. Problematika použití CFA při pořizování vědeckotechnických	
obrazových dat	14
5. Specifické otázky komprese vědeckotechnických snímků.....	17
6. Závěr	18
7. Literatura.....	20
8. Mgr. Petr Páta, Ph.D.	22

1. Úvod

V posledním desetiletí došlo k mohutnému rozvoji systémů, které získávají a především zpracovávají vědeckotechnická obrazová data. Tyto systémy jsou založené na CCD a CMOS technologii obrazových snímačů a umožňují poskytovat měření ve vysoké přesnosti. Jejich uplatnění lze nalézt v geoinformatice (dálkový průzkum Země), astronomii a využití satelitní techniky pro snímání obrazu. Dále jsou to také projekty digitalizace archivů skleněných desek z přehlídek oblohy za posledních mnoho desítek let. Mezi tyto projekty je vhodné zařadit především archiv STSI (Space Telescope Institute), který obsahuje soubor více než 1500 digitalizovaných skleněných desek [20], databázi harvardského centra pro astrofyziku (The Harvard College Observatory Astronomical Plate Stacks) obsahující více než 500.000 exponovaných fotografických desek [18]. Dále je to digitalizace archívu pozorování proměnných hvězd GCVS (General Catalogue of Variable Stars) obsahující desítky tisíc záznamů. Robotické dalekohledy patří mezi systémy poskytující velké množství dat, které je třeba dále zpracovávat. Takovými projekty jsou například BOOTES [2], BART [7] nebo například televizní sledování slabých meteorů [19]. Při zpracování obrazových dat poskytovaných těmito systémy je třeba řešit úlohy spojené s prostorovou závislostí impulsové odezvy detekčního systému, výskytu šumu a velkého objemu obrazových dat, které je třeba ukládat a dále přenášet. Specifika astronomických snímků je natolik významná, že je možné je označit za samostatnou kategorii obrazových dat. Hodnotitelem je zpravidla algoritmus a není možné aplikovat postupy známé z oblasti multimediální techniky.

2. Vybrané systémy pro snímání vědeckotechnických obrazových dat

Systém BOOTES (**B**urst **O**bserver **O**ptical **T**ransient **E**xploring **S**ystem) je koncipován jako doprovodný experiment připravovaného satelitu INTEGRAL Evropské kosmické agentury (ESA). Od července roku 1998 je provozována první stanice BOOTES - 1 celého systému.



Obr. 1 Stanice experimentu BOOTES - 1A (Mazagón, Huelva, Španělsko - vlevo) a infračervená extenze experimentu BOOTES (Sierra Nevada, Granada, Španělsko - vpravo).

První pozorovací stanice označovaná jako BOOTES - 1 (viz obr. 1) je umístěna v El Aeronosillo, v blízkosti města Mazagón u Huelvy na pozemku ústavu zabývajícího se výzkumem zemské ionosféry instituce INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial). Druhá stanice (kopie části první) tohoto experimentu je 240 km západně v Estación Experimental de la Mayora [1]. Je možné tedy konstatovat, že BOOTES využívá širokoúhlé kamery, 30 cm dalekohled a spektrograf se základnou o rozměrech 240 km. Současně získané snímky z obou stanic mají mimo jiné velký význam při výzkumu blízkozemních objektů, odrazů světla od povrchu družic, meteorů a jiných aplikacích. Širokoúhlé kamery pokrývají velké zorné pole ($16 \times 11^\circ$) až na 14 mag. Základní myšlenkou je pro provoz stanice BOOTES využít zrcadlových dalekohledů MEADE, které jsou ovládané v modifikaci pro experiment BART (Burst Alert Robotic Telescope), který je provozován v České republice [7]. Na základě informací o pozici GRB (Gamma Ray Burst), získané prostřednictvím pozorovací sítě, je BOOTES v krátké době schopen změnit polohu a začít pozorovat událost. Takto reaguje na podněty ze speciálních družic např. INTEGRAL nebo dříve BeppoSAX apod. Ve zbytku pozorovací doby je prováděn průběžně sledování vybraných objektů. Především jsou vybírány proměnné hvězdy, jádra aktivních galaxií, jasné kvasary a průběžné přehledky celé oblohy. Systém by měl být schopen sám rozpoznat, zda se v dané oblasti vyskytl objekt s podezřelou (tj. nenadálou) změnou jasnosti. Širokoúhlé kamery mohou být ovládané programem OTM (Optical Transient Monitor). CCD kamery vybavené těmito objektivy jsou osazeny na dalekohledu LX 200 Meade umožňující dlouhé expoziční doby vybraného regionu. Tři kamery monitorují stejnou oblast

oblohy v I resp. V fotometrické oblasti [9]. Ve vybraných oblastech je typická limitní hvězdná velikost $V=12$ mag pro $T=30$ s a $V=14$ mag pro expoziční dobu $T=300$ s. Paralelní sledování stejné oblasti dvěma experimenty vzdálenými od sebe 240 km umožňuje snadnější eliminaci falešných objektů, jako jsou odrazy od družic, působení kosmického záření a další atmosférické jevy. Velice užitečným krokem bylo zapojení experimentu do GCN (the GRB Coordinates Network) a sladění s pozorováním v Ondřejově experimentem BART.

V současné době je BOOTES vybaven meteorologickou stanicí, která je obsluhována programem vyhodnocující optimálnost meteorologických podmínek pro astronomické pozorování. Velice důležitým prvkem je použití TV kamery PICTOR, která umožňuje vysoké časové rozlišení rychlých jevů. Ve spolupráci se španělskými kolegy byla realizována extenze experimentu do blízké IR oblasti. Infračervený dalekohled má průměr 0,6 m a je umístěn na observatoři IAA – CSIC v Siera Nevadě (Granada, Španělsko) (viz [3]). V současné době je na Novém Zélandu připravován souběžný experiment, který bude startovat v roce 2010.

2.1 Celoblohový monitor v Karlových Varech

Monitorování nenadálých a rychlých jevů na obloze ve viditelné oblasti spektra je nesmírně důležité. Sledovaným jevem mohou být výše jmenované optické protějšky (OT - Optical Transient) gama záblesků nebo jiné rychlé děje. Po detekci jevu je vždy důležité provést jeho ověření nezávislým pozorováním. Současná digitální obrazová technika nabízí levnou alternativu k profesionálním snímacím soustavám. Uvedené řešení ovšem nedosahuje tak vysoké přesnosti měření, ale nízká cena naopak umožní provádět vícenásobný monitoring a tím efektivní ověření událostí.

V této práci zmiňovaný celoblohový monitor byl připraven na hvězdárně v Karlových Varech [8]. Je založen na digitální zrcadlovce Nikon D90 a Canon EOS 350D s příznivou spektrální citlivostí. Kamera je osazena širokoúhlým objektivem (typ rybí oko) Peleng 8 mm (1:3,5-1:16), který poskytuje v obrazové rovině kruh o průměru 24 mm pokrývající 180° zorného pole.



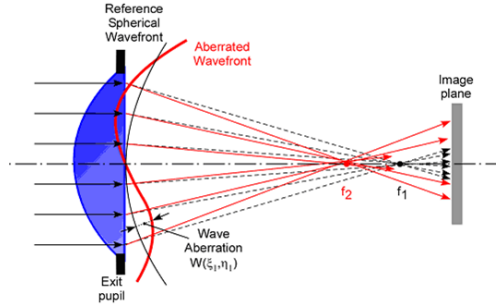
Obr. 2 Kamera s optickým zesilovačem obrazu Mullard pro televizní sledování meteorů.

Tento systém umožňuje pro 30 s expoziční dobu zachytit objekty s limitní jasností odpovídající 8 mag.

2.2 Systém pro televizní sledování slabých meteorů

Sledování meteorů pomocí fotografického snímání má v ASÚ ČAV v oddělení zabývající se výzkumem meziplanetární hmoty dlouholetou tradici. Před několika lety byl tento výzkum rozšířen o dvojstaniční televizní pozorování slabých meteorů. Tento přístup přináší možnost získání informace o časovém průběhu jevu a poloze stopy meteoru v atmosféře Země. Tedy i potenciál pro kvalitní rekonstrukci dráhy (tj. heliocentrickou) ve Sluneční soustavě pro slabé meteory. Průběh jasnosti v jednotlivých fázích letu meteoru umožňuje získat představu o hmotnosti původní částičky meteoroidu. Vzhledem k televiznímu rozlišení a omezené citlivosti systému je ovšem tento přístup zatížen většími nepřesnostmi oproti klasickému fotografickému snímání.

Dvojstaniční pozorování je vybaveno jednou stanicí umístěnou v Ondřejově ($14^{\circ} 46' 48.8'' E$, $49^{\circ} 54' 36.8'' N$, $524 m$) a druhou v Kunžaku ($15^{\circ} 12' 2.8'' E$, $49^{\circ} 6' 27.2'' N$, $652 m$). Obě stanice jsou od sebe vzdáleny 92,5 km s azimutem druhé stanice 340° (jih odpovídá 0°). Zaznamenané sekvence jsou nahrávány na S-VHS pásky (PAL), posléze digitalizovány a dále zpracovávány. V současné době probíhá digitalizace celého systému. V optické a snímací části jsou obě stanice vybaveny kamerami Panasonic se zesilovačem obrazu druhé generace Mullard XX1332 a objektivy Arsat



Obr. 3 Vlnoplocha deformované vlny po průchodu vstupní pupilou.

1,4/50 mm nebo Jupiter 2/85 mm (viz Obr.). Velikost zorného pole (FOV - Field of View) je okolo 25° pro Arsat a 32° pro objektiv Jupiter.

3. Reálné optické systémy

Reálné optické systémy jsou zatíženy optickými aberacemi, které jsou zvláště patrné u extrémně širokoúhlých soustav. Toto zkresení oslabuje předpoklad o prostorové invariančnosti na kterých jsou obvykle postaveny modely obrazového systému. V této kapitole budou uvedeny nejdůležitější závěry vyplývající ze snahy o reálný popis systémů s prostorově proměnné (tj. variantní) impulsovou odezvou [15]. Funkce rozptylu bodu (PSF), tj. prostorová impulsová odezva (h), lineárního prostorově variantního systému se mění v rovině vstupní pupilu optického systému a tedy konvoluční integrál je třeba zapsat jako

$$g(x, y) = f(x, y) * h(x, y, \alpha, \beta),$$

kde α, β jsou parametry závislosti funkce rozptylu bodu na poloze. Pro prostorově variantní systémy ovšem již není možné použít Fourierovy transformaci a obvyklá definice optické přenosové funkce (OTF) ztrácí svůj fyzikální význam. Lineární prostorově variantní optické systémy bývají zatíženy komplikovanou kombinací aberací. Pro dosažení vyšších přesností vědeckotechnických měření je nutné provést modelování vedoucí k věrné-

mu popisu vlastností systému. K popisu se používá vyjádření odchylky deformované vlny od ideální kulové vlny po průchodu optickou soustavou (viz obr. 3). Funkce aberace vlnoplochy, $W(\xi_1, \eta_1)$, je definována jako optická délka (OPD - Optical Path Length) mezi vlnoplochou referenční kulové vlny a vlnoplochy v rovině výstupní pupily optického systému. (ξ_1, η_1) jsou souřadnice v rovině výstupní pupily. K vyjádření deformované vlnoplochy se v současné době používají dva přístupy. Využívají se Seidelovy polynomy, které jsou použitelné do třetího řádu aberací. Druhým přístupem, který umožňuje vyjádření do vyšších stupňů optických aberací, je využití Zernikových polynomů. Optický systém a jeho jednotlivé části je vhodné popsat zobecněným modelem, který zahrnuje rovinu vstupní a výstupní pupily a souřadnice v předmětovém a obrazovém prostoru.

Zernikovy a Seidelovy polynomy mohou být vyjádřeny jako funkce závislé na polárních souřadnicích (ρ, θ) v rovině výstupní pupily ($0 \leq \rho \leq 1, 0 \leq \theta \leq 2\pi$). Vyjádření pomocí Seidelových polynomů je velice efektivní. Jednotlivé koeficienty rozvoje popisující deformaci vlnoplochy mají přímý význam jako jednotlivé aberace. S ohledem na omezený stupeň aberací, které je možné Seidelovým přístupem možné modelovat, je výhodnější využít Zernikovy polynomy. Ty nabízejí obecnější přístup k popisu prostorově variantních optických systémů.

Zernikovy polynomy jsou generovány kompletní množinou bázevých funkcí ortonormálních na jednotkovém kruhu. Každý člen rozvoje je vyjádřen dvěma parametry. Prvním je normalizační faktor N_n^m a druhým radiální člen $R_n^{|m|}(\rho)$. Zernikovy polynomy jsou definovány vztahy

$$\begin{aligned} Z_n^m(\rho, \theta) &= N_n^m R_n^{|m|} \cos(m\theta) & m \geq 0, 0 \leq \rho \leq 1, 0 \leq \theta \leq 2\pi \\ &= -N_n^m R_n^{|m|} \sin(m\theta) & m < 0, 0 \leq \rho \leq 1, 0 \leq \theta \leq 2\pi \end{aligned}$$

kde pro dané n (stupeň Zernikova polynomu) nabývá proměnná m hodnot $-n, -n+2, -n+4, \dots, n$. Normalizační faktor je pak vyjádřen jako

$$N_n^m = \sqrt{\frac{2(n+1)}{1 + \delta_{m0}}}$$

kde δ_{m0} je známé Kroneckerovo delta. Radiální členy je možné určit pomocí

$$R_n^{|m|} = \sum_{s=0}^{\frac{n-|m|}{2}} \frac{(-1)^s (n-s)!}{s! \left[\frac{1}{2}(n+|m|-s) \right]! \left[\frac{1}{2}(n-|m|-s) \right]!} \rho^{n-2s}.$$

Deformace vlnoplochy způsobená optickými aberacemi soustavy je pak pomocí Zernikových polynomů vyjádřena vztahem

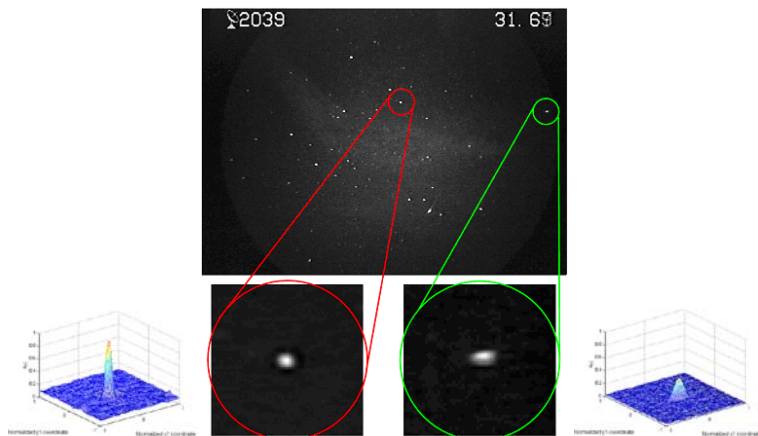
$$W(\rho, \theta) = \sum_{n=0}^k \sum_{m=-n}^n W_n^m Z_n^m(\rho, \theta).$$

V případě prostorově variantní optické soustavy ovšem průběh funkce rozptylu bodu závisí na poloze ve výstupní pupile soustavy. Navíc reálná soustava samozřejmě není zatížena pouze jedním typem aberace vlnoplochy, ale je nutné nalézt vhodnou kompozici jednotlivých módů. Aberační funkce pak může být zapsána jako

$$W(\rho, \theta, \delta, \varphi) = \sum_{n=0}^k \sum_{m=-n}^n W_n^m(\delta, \varphi) Z_n^m(\rho, \varphi - \theta),$$

kde $W_n^m(\delta, \varphi)$ je odmocnina střední kvadratické odchylky vlnoplochy pro mód m, n a bodový objekt, který leží na polárních souřadnicích (δ, φ) . K popisu reálné soustavy je možné použít model po částech invariantní soustavy [16]. Výstupní pupila optické soustavy se rozdělí na sít' n oblastí, ve kterých se předpokládá konstantní hodnota funkce rozptylu bodu. Je třeba ovšem ošetřit spojitost funkce rozptylu bodu na hranicích oblastí. Toho je možné dosáhnout např. vhodným překryvem oblastí nebo omezujícími podmínkami na změnu funkce rozptylu bodu ve výstupní pupile soustavy. Pro lineární po částech invariantní soustavy je pak možné využít Fourierovy transformace k nalezení vztahu mezi deformací vlnoplochy a funkcí rozptylu bodu vyplývající ze známého difrakčního integrálu

$$PSF(u, v, \delta, \varphi) = \left| \mathcal{F} \left(p(x, y) \exp \left(-i \frac{2\pi}{\lambda} W(\rho, \theta, \delta, \varphi) \right) \right) \right|,$$

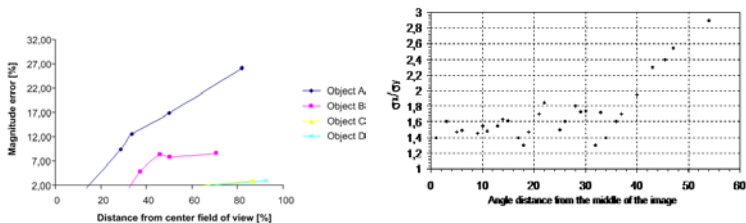


Obr. 4 Funkce rozptylu bodu optické soustavy televizního systému pro sledování slabých meteorů.

Ke kompenzaci zkreslení obrazu je pak možné použít vhodné dekonvoluční algoritmy [15,16].

Obrazová data získaná televizním systémem pro sledování meteorů nebo ultraširokoúhlé kamery pro monitoring oblohy v Karlových Varech je možné považovat za dobrá přiblížení prostorově variantní optické soustavy. Výsledky je možné nalézt v [13,14]. Na obr. 4 je znázorněn průběh rozptylu bodu televizního systému meteorů. Pro vybrané objekty bylo provedeno měření chyby měření jasnosti objektů. Výsledek je zobrazen na obr. 5. Je na první pohled patrné, že se vzrůstající vzdáleností roste chyba fotometrického měření, které pro velké vzdálenosti od optické osy již není možné provádět. Tyto oblasti jsou bez další úpravy prakticky nezpracovatelné.

Na obr. 6 je znázorněn průběh odchylky reálných objektů od ideální, tj. difrakčně omezené, funkce rozptylu bodu. Odchylka je vyjádřena jako poměr $\frac{\sigma_x}{\sigma_y}$ Gaussova modelu [5]. Pro hodnoty $\frac{\sigma_x}{\sigma_y} \rightarrow 1$ se objekty blíží symetrické Gaussově funkci. Dále je zajímavé vyjádřit průběh pozičního měření, tj. astrometrie, v závislosti na velikosti deformace vlnoplochy. Astrometrie ukazuje na přesnost detekce objektů, která je důležité pro přesnou identifikaci objektů [10].



Obr. 5 Chyba měření jasnosti (vlevo) a deformace (vpravo) objektu v závislosti na vzdálenosti od optické osy.

4. Problematika použití CFA při pořizování vědeckotechnických obrazových dat

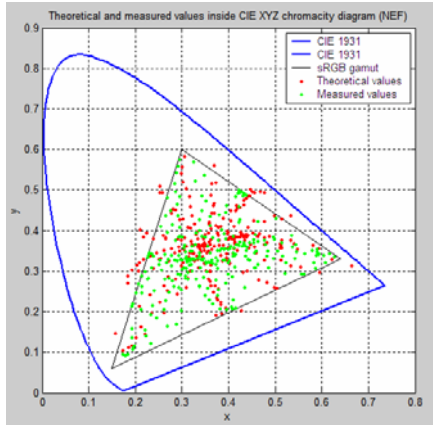
Zobrazení reálné scény je charakteristické závislostí spektrální hustoty vyzařování $F_e(x, y, \lambda)$ na vlnové délce λ . Během snímání a reprodukci je třeba řešit význam této závislosti a způsob dalšího zpracování. Odezva jednočipového barevného snímače je potom daná soustavou rovnic

$$R(x, y, t) = \int_0^{\infty} F_e(x, y, \lambda) \rho(\lambda) d\lambda$$

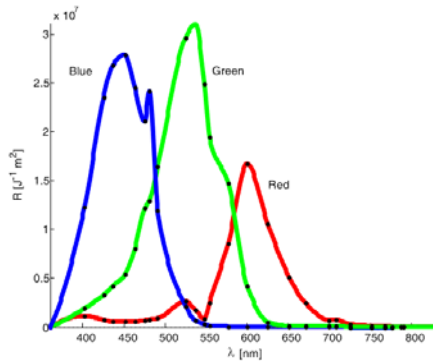
$$G(x, y, t) = \int_0^{\infty} F_e(x, y, \lambda) \gamma(\lambda) d\lambda$$

$$B(x, y, t) = \int_0^{\infty} F_e(x, y, \lambda) \beta(\lambda) d\lambda,$$

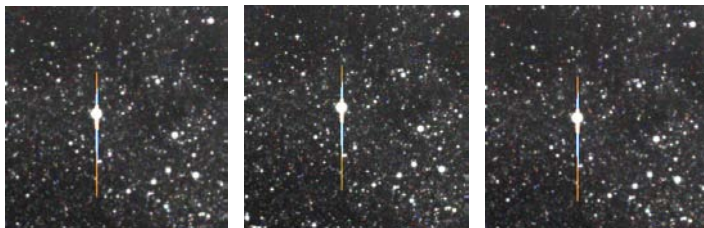
kde $\rho(\lambda)$, $\gamma(\lambda)$ a $\beta(\lambda)$ jsou průběhy spektrální citlivosti jednotlivých barevných kanálů. Průběhy těchto spektrálních odezev použitého Nikonu D70 jsou na obr. 7. Srovnání barevného gamutu Nikonu D70 reálného snímače s teoretickými hodnotami je množné nalézt na obr. 6. V případě použití jednočipového digitálního fotoaparátu dochází v obraze k vytvoření specifických artefaktů. Tyto jevy poškozují naměřené hodnoty a prakticky znemožňují provádět měření pro systémy velice krátkou ohniskovou délkou (viz kap. 2.2). Na obr. 8 jsou demonstrovány vlivy interpolačních metod použitých u snímací techniky s CFA.



Obr. 6 Gamut digitálního fotoaparátu Nikon D70 a jeho srovnání s teoretickými hodnotami [4].



Obr. 7 Spektrální odezva v barevných kanálech CFA digitálního fotoaparátu Nikon D70 [6].



Obr. 8 Srovnání vlivu interpolačních metod na objekt s přetečeným nábojem pro CFA CCD snímače.

5. Specifické otázky komprese vědeckotechnických snímků

Vědeckotechnická data a zejména astronomické snímky jsou charakteristické průběhem obrazové funkce, silným zastoupením šumu v obraze a vysokou bitovou hloubkou. Důležitou roli také hraje specifický způsob zpracování obrazových dat, které s sebou přináší nutnost zachovat důležité vlastnosti objektů na snímcích a zachování přesnosti měření. Předem je tak možné za nevýhodné použití ztrátových kompresních postupů optimalizovaných z hlediska lidského zraku. V mnoha aplikacích zpracování vědeckých obrazových dat se klade velký důraz na eliminování ztráty vzniklé při přenosu a především jejich archivaci (kódování). V současné době se používá několik standardních metod používaných ke kódování dat. Pochopitelnou nevýhodou je ovšem zhruba o řád nižší dosažitelný kompresní poměr oproti vhodně voleným ztrátovým algoritům. Odstraněním informace, která je z hlediska dalšího zpracování nevýznamná (irelevantní), je možné dosáhnout vyšších kompresních poměrů než v případě aplikace bezztrátového kódování. K zjištění nevýznamné informace v signálu se používají různé metody. Obvykle jsou založené na integrálních transformacích s vhodně volenými jádry (diskrétní kosinová, Hadamardova, Karhunenova-Loèveho a jiné transformace), na vlnkové transformaci, vektorové kvantizaci nebo fraktálovém rozkladu. Pro účely této práce byly vybrány přístupy ke kompresi obrazu založené na Karhunenově-Loèveho (KLT) a vlnkové transformaci.

Na navrhovaný kodér je nezbytné klást několik důležitých požadavků a charakteristik [11]:

- Možnost volby kompresního poměru a tím i přesnosti aproximace rekonstruovaného snímku.
- Nutnost připojit koeficienty báze transformace z důvodu signálové závislosti KLT.
- Na straně dekodéru možnost rychlé dekomprese dat. V případě kodéru není tato podmínka nezbytná.
- Volitelně i schopnost bezeztrátového kompresního postupu.

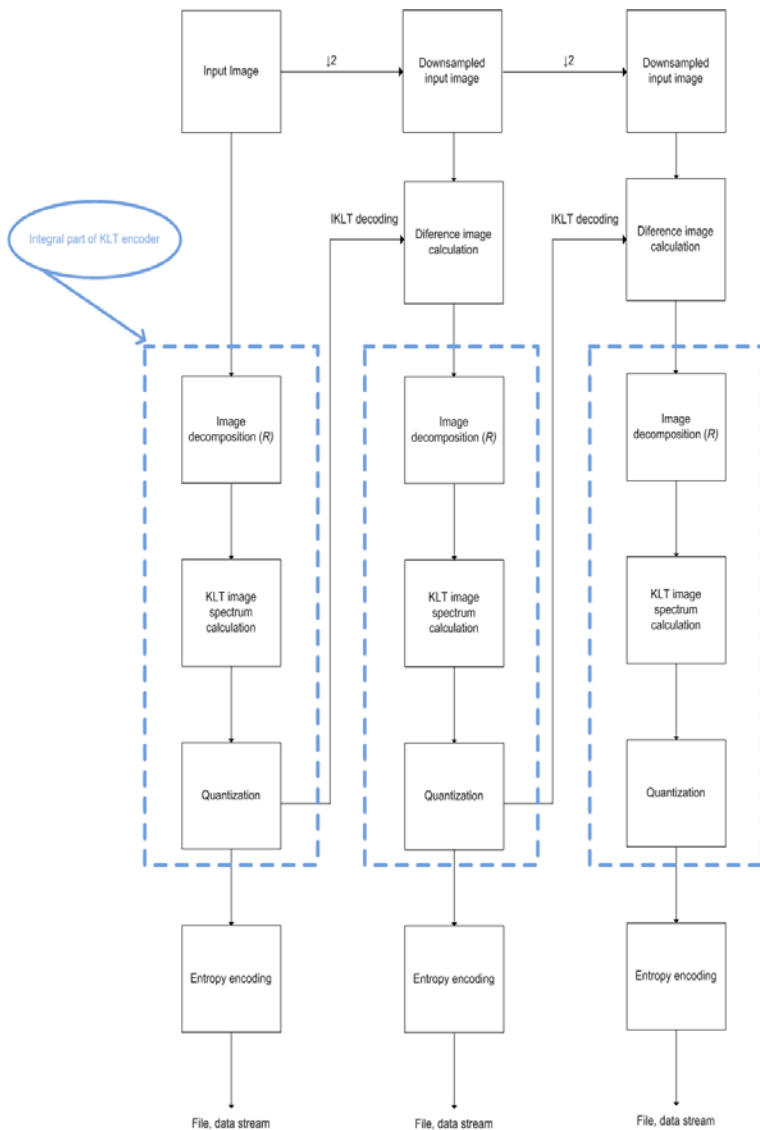
Na obr. 9 je zakresleno blokové schéma nejdůležitější části kodéru obrazových dat založeného na Karhunenově-Loèveho transformaci. Blok integrální transformace zahrnuje rozklad vstupního snímku do sady obrazových submatic, které považujeme za realizace vícerozměrného náhodného jevu. V tomto případě je možné kovarianční matici zapsat vztahem

$$\Xi_{jq}^{ip} = E \left\{ \left(\left([x_i^j] - E \{ [x_i^j] \}_{\alpha=1}^M \right) \left([x_q^p] - E \{ [x_q^p] \}_{\alpha=1}^M \right) \right) \right\}_{\rho=1}^M.$$

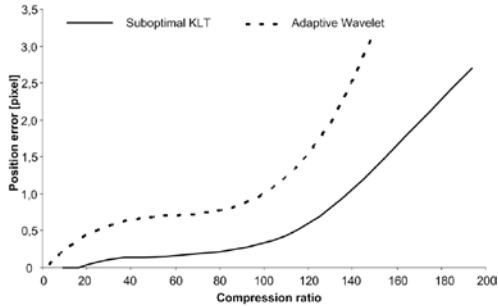
Zde symboly i, p jsou vyhrazeny pro řádkový a j, q pro sloupcový index matice $[X]$. Písmena řecké abecedy slouží k vyjádření realizace náhodného vícerozměrného jevu. Prvky $[X]$ patří do duálního prostoru obrazových matic, které jsou s původním prostorem definovány pomocí skalárního součinu. Bázové matice kovarianční matice $|\Phi\rangle_{jq}^{ip}$ jsou pak určeny

$$\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} \Xi_{jq}^{ip} |\Phi\rangle_{jq}^{ip} = \beta \begin{matrix} p & mp \\ q & nq \end{matrix} |\Phi\rangle_{nq}^{mp} \quad \begin{matrix} m, p = 1, \dots, N_1 \\ n, q = 1, \dots, N_2 \end{matrix},$$

kde N_1, N_2 jsou dimenze obrazových submatic. Vlastní matice kovarianční matice seřadíme podle velikosti vlastních čísel, které ve smyslu Karhunenovy-Loèveho transformace odpovídají významu příslušné spektrální složky ve smyslu střední kvadratické chyby. Ukazuje se, že pro specifické snímky s charakteristickou velikostí objektů je možné považovat popsáný KLT kodér za efektivní. Na obr. 10 je provedeno srovnání vlivu ztrátové komprese suboptimální KLT a adaptivní vlnkové transformace (JPEG 2000) [17].



Obr. 9 Multiškálová verze KLT kodéru.



Obr. 10 Srovnání vlivu suboptimální KLT a adaptivní vlnkové transformace (JPEG2000) na poziční měření v astronomickém snímku.

6. Závěr

Snímání a zpracování vědeckotechnických obrazových dat patří mezi oblasti, které mají v posledních několika letech nesmírnou dynamiku vývoje. Na ní se podílí především technologický rozvoj nových snímacích technologií, které umožní získávání obrazu s vysokou prostorovou rozlišovací schopností a dynamikou obrazové funkce. Dále je možné provádět extenzi do více pásem spektrálního snímání (tzv. multi- a hyperspektrální snímání). Ukazuje se, že je nezbytné provádět analýzu přesnosti používaných metod, které kladou vysoké nároky na použité postupy. Tyto nároky jsou navíc nesmírně odlišné od v současné době známých multimediálních přístupů. Ty jsou především optimalizovány z hlediska vnímání lidského pozorovatele a pro další objektivní zpracování jsou nevhodné. Je třeba tedy zvolit specifický přístup přinášející efektivní postup snímání a rekonstrukce obrazových dat.

7. Literatura

- [1] BOOTES: *BOOTES experiment*. Technická zpráva, <http://www.laeff.inta.es/BOOTES/ing/>, 2008.
- [2] Castro-Tirado, A. J. – Soldán, J. - Bernas, M. - aj.: *A & AS*, **138**, str. 583C, 1999.
- [3] Castro-Tirado, A. J. - Cunne, R. - de Ugarte Postigo, A. - aj.: *BOOTES-IR: a robotic nIR astronomical observatory devoted to follow-up of*

- transient phenomena*. In Ground-based and Airborne Telescopes. Edited by Stepp, Larry M. Proceedings of the SPIE, **6267**, 2006.
- [4] Fernández, P. A.: *Quality Measurement of Digital Camera*. Diplomov práce, Department of Radio Engineering, FEE, CTU in Prague, 2006.
- [5] Hanzlík, P. - Páta, P. - Schindler, J. - aj.: *Inuence of Lossy Compression Techniques on Processing Precision of Astronomical Images*. In Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology, Piscataway: IEEE, 346 – 351, 2005.
- [6] Hruška, A.: *Digitální fotoaparát jako optický měřicí nástroj*. Diplomová práce, k13137, FEL, ČVUT v Praze, 2008.
- [7] Hudec, R. – Soldán, J. - Hudcová, V. - aj.: *BART, BOOTES and OMC: monitoring of AGNs-blazars*. In Blazar Monitoring towards the Third Millennium, Proceedings of the OJ-94 Annual Meeting, Torino, editace M. V. C.M. Raiteri - L. Takalo, 1999.
- [8] Hudec, R. - Spurný, M. - Křížek, P. - Páta, P. - Řeřábek, M.: *Low-Cost Optical All-Sky Monitor For Detection of Bright OTs of GRBs*, American Institute of Physics Conference Series, **1133**, 215-217, 2009.
- [9] Johnson, H. L. - Morgan, W. W.: *Fundamental stellar photometry for standards of spectral type on the revised system of the Yerkes spectral atlas*, The Astrophysical Journal, **117**, str. 313-352, 1953.
- [10] Páta, P. - Bernas, M. - Castro-Tirado, A. - aj.: *Effect of BOOTES Image Data Compression using Karhunen-Loeve Decomposition upon Astrometry Measurement Accuracy*. In Proceedings Symposium New Visions of the X-ray Universe in the XMM-Newton and Chandra Era, Noordwijk: European Space Agency, 2003.
- [11] Páta, P.: *Suboptimal Karhunen-Loeve Transform for Compression of Astronomical Images*. In *2006 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology* [CD-ROM]. Madison: Omnipress, str. 332-337, 2006,.
- [12] Páta, P. - Řeřábek, M.: *The Lossy Compression Technique Based on KLT*. In *Proceedings of SPIE - 7019 - Advanced Software and Control for Astronomy II*. Washington: SPIE, str. 701933-1-701933-11, 2008.
- [13] Řeřábek, M. - Páta, P. - Koten, P.: *High Order Optical Aberrations Inuence to Precision of Astronomical Image Data Processing*. In Adap-

- tive Optics for Laser Systems and Other Applications, **1**, Bellingham: SPIE, str. 658409.01 - 12, 2007.
- [14] Řeřábek, M. - Páta, P. - Koten, P.: *Image data processing of astronomical UWFC systems*. In Third EOS Topical Meeting on Advanced Imaging Techniques, **1**, str. 70 – 71, Hannover: European Optical Society Coherence for Europe, 2007.
- [15] Řeřábek, M. - Páta, P.: *Modeling of the wide field space variant security systems*, In Proceedings of 42nd Annual 2008 IEEE International Carnahan Conference on Security Technology, Piscataway: IEEE, s. 121 – 125, 2008.
- [16] Řeřábek, M. - Páta, P.: *PSF model of wide-field optical system for restoration of space (in)variant astronomical image data*, The 6th International Conference on Photonics, Devices and Systems, str. 87, 2008.
- [17] Schindler, J. – Páta, P.: *Spatially Adaptive DWT for Image Compression*. In Photonics, Devices, and Systems III, Bellingham: SPIE, s. 21.1 - 21.6, 2006.
- [18] Simcoe, R. J. – Grindlay, J. E. – Los, E. J. - Doane, A. – Laycock, S. G. - Mink, D. J. - Champine, G. – Sliski, A., *An ultrahigh-speed digitizer for the Harvard College Observatory astronomical plates*, PROCEEDINGS OF SPIE, **6312**, s. 17, 2006.
- [19] Spurný, P. - Borovička, J. - Koten, P.: *Multi-instrument observations of bright meteors in the Czech Republic*. Earth, Moon & Planets, **95**, str. 569, 2005.
- [20] White, R. – Postman, M. – Lattanzi, M.: *Digitized Sky Survey*, Kluwer, s. 167 – 175, 1992.

Mgr. Petr Páta, Ph.D.

Datum a místo narození: 16. května 1973, Praha, Česká republika

Národnost: česká

Stav: ženatý, 1 dítě

Adresa: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická,
Katedra radioelektroniky, Technická 2, Praha 6

E-mail: pata@fel.cvut.cz

Aktivní znalost jazyků: angličtina, ruština, čeština

Průběh dosaženého vzdělání:

1996 (Mgr.) Univerzita Karlova, MFF UK, obor fyzika

2002 (Ph.D.) České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, doktorský obor Radioelektronika

Průběh dosavadní praxe a zaměstnání:

1998 – dosud odborný asistent kat. radioelektroniky FEL ČVUT

2003 – 2006 tajemník katedry radioelektroniky FEL ČVUT

2006 – dosud zástupce vedoucího katedry radioelektroniky FEL ČVUT

Pedagogická praxe:

FEL ČVUT 1998-2009 přednášky a cvičení 9 odborných předmětů z oblasti obrazové fotoniky včetně výuky v angličtině

FBMI ČVUT 2009 přednášky a cvičení odborného předmětu

1. LF, UK 2004 – 2009 přednášky a cvičení odborného předmětu

1998-2009 vedení cca 50 úspěšně obhájených studentských prací.

Vedení dvou zahraničních studentů (1994, 1996) s obhájenou závěrečnou prací. Školitel dvou úspěšných doktorandů (2008, 2009).

Účast na vybraných vědeckých projektech:

2002-2004 GA ČR - Kvalitativní aspekty obrazových kompresních metod v multimediálních systémech, 102/02/0133

2002 – 2006 Španělský grant – BOOTES - IR.

2009 – dosud GA ČR Digitalizace televizního systému pro sledování slabých meteorů, 205/09/1302.

Zaměření ve výzkumu:

Obrazová fotonika se zvláštním zřetelem k aplikaci na vědeckotechnická obrazová data. Dále technika snímání obrazových dat se zvláštním zřetelem k použití za specifických podmínek. Metody komprese, rekonstrukce a analýzy vlastností obrazových dat.