

Návrh algoritmů komprese vědeckých obrazových dat v prostředí MATLAB

Petr Páta

Katedra radioelektroniky, K337, ČVUT FEL Praha, Technická 2, 166 27, Praha 6
E-mail: pata@fel.cvut.cz

Abstrakt

Vědecká obrazová data patří mezi naprosto speciální třídu dat, které vyžadují přizpůsobené zpracování. Na straně snímací, zpracovávající i vyhodnocující je zpravidla výpočetní stroj a člověk zde vykonává pouze dohled a provádí případnou optimalizaci navržených algoritmů. Je tedy nevhodné použít k archivaci dat algoritmy navržené z hlediska subjektivního zpracování lidským zrakem (jako jsou normy JPEG, MPEG atd.). V práci je popsán alternativní kódér navržený v programovém prostředí MATLAB k archivaci astronomických dat. Popsaná metoda vychází z vlastností Karhunenovy-Loeveho transformace.

1. Úvod

Komprese obrazových dat je moderní disciplínou a i v současné době vysokých výpočetních výkonů spojené se stále rostoucí kapacitou záznamových médií stále aktuální. Drtivá většina kompresních metod je orientovaná směrem k multimediálním aplikacím. Jejich účinnost je hodnocena s ohledem na subjektivní vjem. Tak jsou vytvářeny kvantizační tabulky např. v normách JPEG, JPEG a nebo třeba pro sekvence snímků MPEG. Tyto standardy jsou účinné a nabízejí nám mocný nástroj ve všech odvětvích, kde je zpracovatelem člověkem a hodnotitelem lidský zrak. Samozřejmě existují oblasti ve kterých zpracování provádí výpočetní stroj. Oblastí se širokou působností je lékařství. Zde navržené algoritmy musí vyhovovat důležitému kritériu: „Nepoškodit diagnostickou hodnotu zpracovávaných dat!“ Často zde počítač slouží pouze k archivaci, předzpracování a případnému zobrazení dosažených výsledků. Vždy je ovšem na konci celého řetězce lékař, který na základě předzpracování provede diagnostické vyhodnocení dat. Při formulaci vhodných kompresních algoritmů pro tuto oblast lidské činnosti je možné vycházet právě z výše uvedených standardů. Poněkud odlišná situace je třeba v astronomii, dálkovém průzkumu Země nebo v analýze radarových dat. Zde je na straně snímací, zpracovávající i analyzující zpravidla automatický výpočetní stroj. Pro takové aplikace je naprosto nevhodné vycházet ze standardů založených na vlastnostech lidského vnímání. Často bychom mohli dojít i k naprosto chybným závěrům.

Tato práce je zaměřena na formulaci vhodné kompresní metody k archivaci astronomických dat. Tyto data jsou charakteristická svými velkými rozměry, vysokou bitovou hloubkou a často nízkým odstupem signálu od šumu. Specifické je také následné zpracování a jejich vyhodnocení.

2. Systém BOOTES

Pro analýzu podanou v této práci byla vybrána obrazová data získaná automatickým systémem BOOTES (Burst Observer and Optical Transient Exploring System). Systém byl

vytvořen k systematickému sběru obrazových dat, jejich vyhodnocení a následné archivaci. Cílem je nalézt optické projevy záblesků v oblasti tvrdého záření gama, jevu který stále nemá spolehlivé vysvětlení. Doprovodným programem je hledání změny jasnosti aktivních galaktických jader, supernov nebo dlouhodobě proměnných hvězd. Jedny z prvních pozitivních výsledků jsou popsány v [5].

První část experimentu BOOTES byla plně zprovozněna v červenci 1998 [1]. Stanice BOOTES-1A je umístěna v EL Aeronosillo blízko města Huelva na jihu Španělska v Meteorologickém ústavu INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial). Stanice je koncipovaná jako pozemní část připravovaného satelitu INTEGRAL společnosti ESA. Je třeba také poznamenat, že je připravován a vlastněn třemi institucemi LAEFF INTA (Španělsko), Astronomickým ústavem ČAV (Česká Republika) a katedrou radioelektroniky FEL ČVUT v Praze (Česká Republika). Stanice BOOTES-1A je vybavena čtyřmi CCD kamery s vysokým rozlišením SBIG ST-8. Kamery pracují v netelevizním režimu a jsou umístěny na dalekohledu s průměrem 0.3 m typu Schmidt-Cassegrain. Navržená koncepce umožňuje dlouhodobý monitoring předem vybraného regionu. Kamery sledují stejnou část oblohy ve spektrálních oblastech I a V v plně automatickém módu. Obě širokoúhlé ($f = 50 \text{ mm}$) a ultraširokoúhlé ($f = 18 - 28 \text{ mm}$) kamery jsou ovládány programem OTM (Optical Transient Monitor) [2]. Mezní magnituda detekovatelná systémem samozřejmě závisí především na pozorovacích podmínkách. Typická hodnota se pohybuje okolo 11 mag v oblasti I pro integrační dobu rovnou 30 s a 13 mag pro 300 s .



obr 0 M7-300FF.dat. Snímek Mlečné dráhy a objektu M7 širokoúhlou kamerou systému BOOTES.

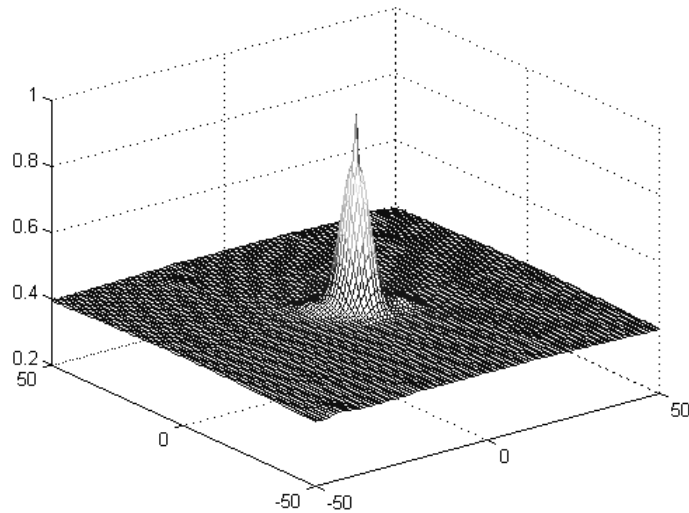


obr 0 M42-Sat.dat. Snímek mlhoviny M42 ze souhvězdí Orion se stopou družice. Snímek typu DEEP SKY pořízený systémem BOOTES.

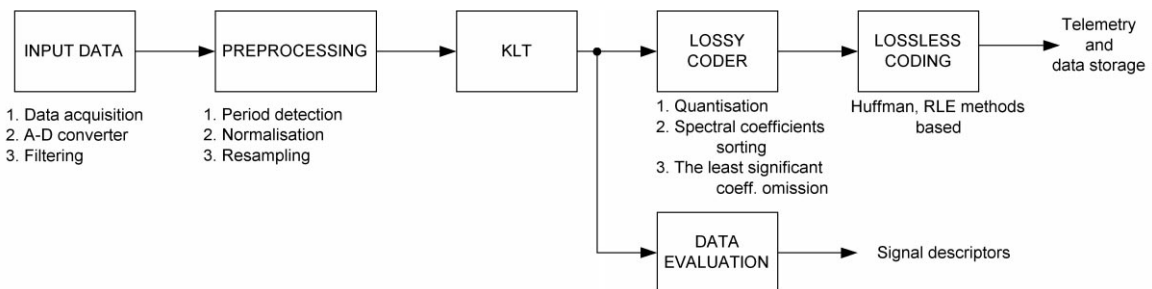
Každý zaznamenaný snímek v plném rozlišení obsahuje asi $1024 \times 1536 \times 16 = 3.15 \text{ MB}$ dat. Datový tok typické provozu stanice obsahuje asi 378 MB za hodinu pro expoziční dobu mezi $30 - 60 \text{ s}$ v plně automatickém provozu [2]. Celkové množství dat získaných během typického ročního provozu stanice je více než 1000 GB . Tento odhad je učiněn pro běžné pozorovací podmínky zahrnující více 300 jasných nocí charakteristický počet pro pozorovací lokalitu a průměrný 8 hodinový pozorovací cyklus. Vysoký objem získaných dat přímo předurčuje nutnost hledání vhodného kompresního algoritmu, který by objem dat vhodně snížil. Bezeztrátové kódovací algoritmy jsou často využívány pro redukci objemu vědeckých dat. Nepřinášejí žádné zkreslení do zpracovávaných dat, ale také nedosahují vysokých kompresních poměrů. Typický kompresní poměr se pohybuje mezi $1:2$ až $1:4$ pro optimalizované algoritmy [4]. Ztrátové metody dosahují vysokých kompresních poměrů za cenu nevratného poškození resp. zkreslení

rekonstruovaných dat. Je tedy velice důležité hledat optimální kompresní algoritmus, který bude minimalizovat zkreslení informace důležité pro další zpracování.

V této práci je prezentován rozbor kodéru a dekodéru vědeckých obrazových dat připraveného v programovém prostředí MATLAB. Nástroj je založený na integrální



obr 3 Autokorelační funkce snímku 3n7293.01.dat. Zástupce třídy typu DEEP SKY.



obr 4 Schéma kodéru vědeckých obrazových dat.

transformaci známé jako KLT (Karhunenově – Loeveho transformaci) nebo také PCA (Principal Component Analysis).

3. Vstupní obrazová data

Datový kodér je optimalizovaný pro čtyři odlišné druhy snímků. Do první kategorie spadá záznam tepelně generovaného náboje tzv. temný snímek, který se používá k aditivní kompenzaci šumu snímače. Druhá kategorie zahrnuje korekční snímky obrazových parametrů celé soustavy. Obsahuje snímky označované jako flat field. Ty jsou multiplikativním nástrojem k vyrovnání citlivosti soustavy. Zbylé dvě skupiny obsahují světlé snímky ze širokoúhlých (třetí kategorie) a dlouho ohniskových kamer (čtvrtá kategorie). Snímky z obou tříd se liší především stupněm pokrytí objekty, jejich rozměry a charakterem scény. Na obr. 1 je příklad typického širokoúhlého snímku a je na něm patrný vysoký počet objektů vyskytujících se na scéně. Na obr. 2 je vidět srovnání se snímkem získaným v primárním

ohnisku Schmidtova-Cassegrainova dalekohledu systému. Obrázek patří do poslední, čtvrté kategorie pospaných snímků.

4. Karhunenův-Loeveho rozklad a dimenze Hilbertova prostoru

Z důvodu zvýšení výpočetního výkonu byl každý snímek rozdělen do bloků o rozměrech $N_1 \times N_2$. Budeme ke každému bloku přistupovat jako k jedné realizaci náhodného jevu. Potom každou submatici (tj. blok) je možné považovat za element Hilbertova vektorového prostoru V s konečnou dimenzí. Normu prostoru V definujeme na základě skalárního násobení (podrobněji viz [3]). Ukazuje se, že optimální dimenze prostoru V se pohybuje mezi $N_1 = N_2 = 26 - 36$ obrazovými body pro obrazové matice s rozměry 1536×1024 a kamery pracující v nebinarovém režimu. Tento závěr byl učiněn na základě analýzy průběhu autokorelační funkce (viz obr. 3) a optimalizace měření výpočetní náročnosti, jak je zobrazeno.

5. Redukce objemu dat

Spektrální koeficienty KLT jsou seřazeny v závislosti na významu jednotlivých prvků. Jako váhovací koeficient byly zvoleny velikosti odpovídajících vlastních čísel kovarianční matice vstupních dat. Dosažení optimálního kompresního poměru probíhá v několika krocích (viz obr. 4)

1. Výběr vhodných bázevých vektorů prostoru V .
2. Dekorelace obrazových dat ve spektru KLT.
3. Redukce počtu spektrálních koeficientů.
4. Nelineární (optimalizovaná) kvantizace spektrálních koeficientů.
5. Příprava datového toku a jeho bezeztrátová komprese založená na Huffmanově kodéru.
6. Výpočet chybové matice.

6. Závěr

Kompresce vědeckých obrazových dat klade naprosto speciální požadavky na formulaci kompresních algoritmů. Hodnotitelem a zpracovatelem rekonstruovaných dat není v drtivé většině člověk a lidský zrak, ale nezávislý výpočetní stroj s jednoznačně definovaným algoritmem. Optimalizace návrhu kodéru je pak odlišná od postupů použitých při formulaci rozšířených multimediálních standardů JPEG, MPEG atd. Jednou z možností, je použít metodu, která vhodným způsobem dekoreluje obrazová data a respektuje jejich speciálnost. Takovou metodou by mohla být Karhunenova-Loeveho transformace, která plně dekoreluje vstupní data z hlediska střední kvadratické odchylky.

7. Poděkování

Tato práce byla podpořena výzkumným záměrem “**Research in the Area of Information Technologies and Communications**” ČVUT číslo J04/98:212300014. Část práce byla také částečně podpořena výzkumným grantem IGS 300109913 “**The Scientific Image Data Optical Processing**” ČVUT v Praze.

8. Literatura

[1] Castro Tirado A. J., Soldán J., Bernas M., Páta P., Hudec R., Sanguino T. M., de la Morena B., Berná J. A., de Ugarte A., Gorosabel J., Más-Hesse, J. M., Giménez A., **First Results from the Burst Observer and Optical Transient Exploring System Station 1 (BOOTES-1)**, AIP vol. CP 526, pp. 260, 2000.

[2] Páta P., Bernas M., **The Optical Transient Monitor – a Sky Monitoring System**, Workshop 2001 CTU, Praha, 294, 2001.

[3] Páta P., **Karhunen-Loeve Expansion of Scientific Images**, POSTER 2000 CTU, Praha, 2000.

[4] Castro Tirado A. J., Castro Cerón J. M., Gorosabel J., Páta P., Soldán J., Hudec R., Bernas M., Sanguino T. M., de Ugarte A., de la Morena B., Berná J. A., Más-Hesse, J. M., Giménez, A., Vrba F., Canzian B., Harris H., Delfosse X., Sánchez-Fernández C., Torres Riera J., Barthelmy S., **Detection of an Optical Transient 4-min aftes the Occurence of the 13 March Short Gamma-ray Burst**, submitted to Astronomy and Astrophysics 2001.