

# KLT kodér v Matlabu

Petr Páta

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

## Abstrakt

*V práci budou popsány nejdůležitější části kodéru vědeckých obrazových dat. Bloky kodéru byly realizovány v programovém prostředí MATLAB. Redukce irelevance probíhá ve spektrální rovině Karhunenovy-Loeveho transformace. Vlastnosti kodéru byly měřeny pro snímky získané z experimentu BOOTES (Burst Observer and Optical Transients Exploring System), který je provozován v jižním Španělsku.*

## 1. Úvod

Moderní pozorovací metody spolu s dokonalejšími detekčními senzory s sebou nevyhnutelně přináší nejen vyšší přesnost získaných dat, ale také radikální zvýšení jejich objemu. V současné době probíhá digitalizace archivních skleněných desek z přehlídek oblohy za posledních sto let. Po digitalizaci desek se získávají obrazové matice s velkými rozměry a vysokou bitovou hloubkou. Dobrým příkladem může být archiv STSI (Space Telescope Institute), který obsahuje soubor 1500 digitalizovaných skleněných desek zahrnujících přehlídku oblohy. Každá deska je zpracovaná s rozlišením 14000 x 14000 16-ti bitových obrazových bodů [10]. V astronomii se v drtivé většině aplikací používají šedotónové CCD kamery s velkým prostorovým rozlišením pohybujícím se v řádech milionů obrazových bodů s 12-16 bitovou hloubkou. Moderní projekty automatických (robotických) systémů jako jsou BOOTES [2], BART [3] nebo DENIS [6] produkují velké objemy dat. V případě experimentu BOOTES je možné pro plně automatický režim tento objem odhadnout [8] jako:

1. Počet kamer na jedné stanici experimentu 3. V současné době jsou v provozu 3 stanice.
2. Rozlišení použitých CCD kamer ST-8 1536 x 1024 v 16-ti bitové hloubce.
3. Typická expoziční doba  $T = 2$  minuty.
4. Střední doba pozorování během roku 8 hodin.
5. Objem dat 2,1 GB za noc a 632,8 GB za každý pozorovací rok.

Z uvedených odhadů jednoznačně vyplývá nutnost hledání optimálního kompresního algoritmu, který vhodným způsobem výše uvedený objem dat sníží.

## 2. Experiment **BOOTES (Burst Observer Optical Transient Exploring System)**

První pozorovací stanice označovaná jako BOOTES - 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. Podrobněji o umístění stanic, jejich vazbách na oficiální španělské instituce a celém řešitelském týmu je pojednáno v [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 (méně než 1 milion km), 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 komerčních dalekohledů MEADE, které jsou ovládány v modifikaci pro experiment BART (Burst Alert Robotic

Telescope), který je provozován v České republice. Na základě informací o pozici GRB (Gamma Ray Burst), získané prostřednictvím internetu, je BOOTES v krátké době schopen změnit polohu a začít pozorovat událost. V současné době takto reaguje na podněty z družic BeppoSAX, RossXTE, HETE-2 a v budoucnosti také INTEGRAL a SWIFT. Ve zbytku pozorovací doby je prováděn průběžné sledování vybraných objektů. Především jsou vybírány proměnné hvězdy, jádra aktivních galaxií, jasné kvasary a průběžné přehlídky celé oblohy. Systém by měl být schopen sám rozpoznat zda se v dané oblasti vyskytl objekt s podezřelou (tj. nenadálou) změnou jasnosti. CCD kamery vybavené těmito objektivy jsou osazeny na dalekohledu LX 200 Meade umožňující dlouhé expoziční doby vybraného regionu. Čtyři kamery monitorují stejnou oblast oblohy v I resp. V fotometrické oblasti [4], [5]. Ve vybraných oblastech je typická limitní hvězdná velikost  $V = 12$  mag pro  $T = 30$  s  $V = 14$  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 atmosferické jevy. Velice užitečným krokem by také bylo zapojení experimentu do GCN (the GRB Coordinates Network) a sladění s pozorováním v Ondřejově experimentem BART.



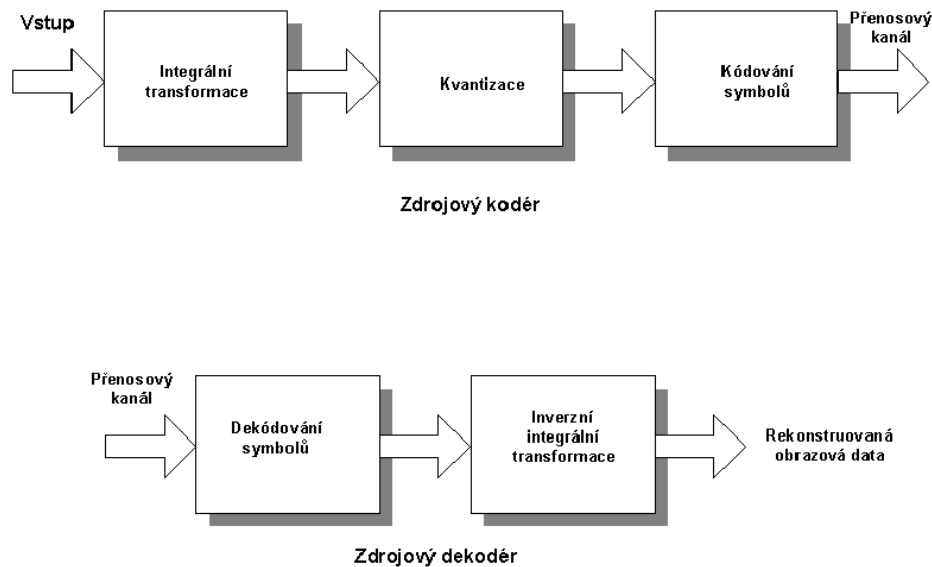
*obr. 1 Stanice BOOTES-1 obsahuje dva domečky označované A a B. Střechy systému jsou automaticky ovládány meteorologickou stanicí. Její sonda je vpravo vpředu.*

### **3. KLT kodér v programovém prostředí MATLAB**

Návrh kompresního kodéru založeného na Karhunenově - Loeveho transformaci byl proveden a optimalizován pro programové prostředí MATLAB verze 5.1 v prostředí Microsoft Windows. Použití Matlabu s sebou přináší dostatečnou robustnost a výhodnou reprezentaci obrazových dat ve formě matic s možnou vysokou výpočetní přesností. Na navrhovaný kodér je nezbytné klást několik důležitých požadavků a charakteristik:

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

4. Volitelně i schopnost bezztrátového kompresního postupu. Ovšem za cenou snížení dosaženého kompresního poměru.



obr. 2 Blokové schéma zdrojového KLT kodéru a dekodéru.

Na obr. 2 je zakresleno základní blokové schéma kodéru a dekodéru obrazových dat založeného na Karhunenově – Loeveho transformaci. Blok integrální transformace zahrnuje rozklad vstupního snímku do sady obrazových submatic (viz obr. 3), které považujeme za realizace vícerozměrného náhodného jevu. Podle definice Karhunenovy – Loeveho transformace [9] je možné určit prvky kovarianční matice a vyřešit charakteristickou rovnici. Vlastní vektory kovarianční matice seřadíme podle vlastních čísel, které ve smyslu Karhunenovy – Loeveho transformace odpovídají významu příslušné spektrální složky vyjádřeným střední kvadratickou chybou. Význam vlastních čísel a jejich velikostí pro kompresi vědeckých obrazových dat je uveden např. v práci [7]. Ve smyslu analýzy provedené v [7], jsme použili pro kódování báze 16 bitů a pro spektrální koeficienty přesnost 12 bitů. Na základě analýzy autokorelační analýzy rozsáhlé sady vstupních obrazových dat a výpočetní náročnosti jednotlivých částí kodéru byla zvolena velikost submatice rovné  $N_1 = N_2 = 32$  obrazových bodů.

#### 4. Organizace datového toku

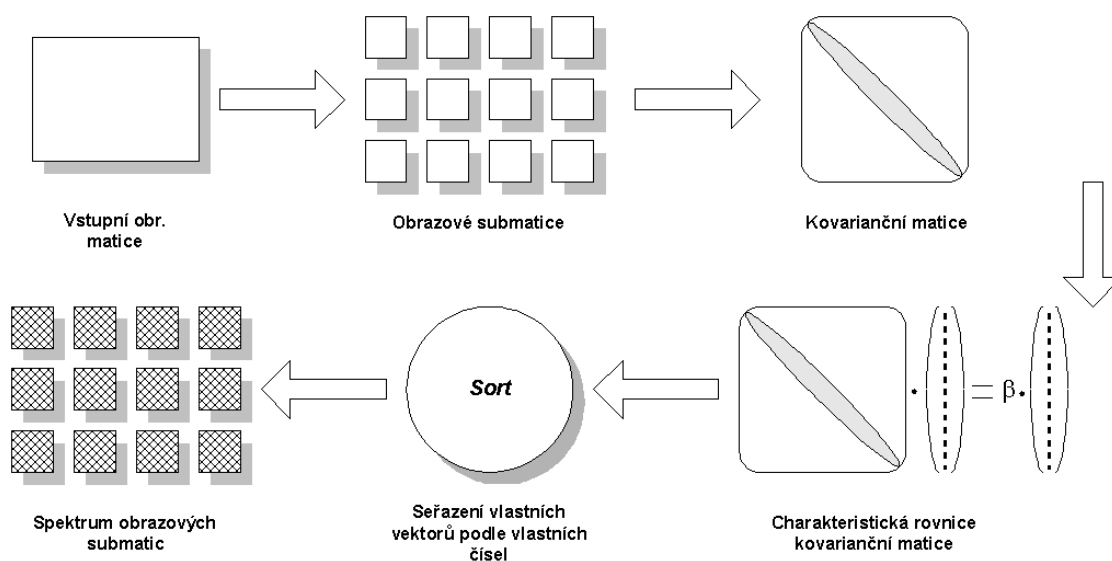
Vzhledem k tomu, že většinu měření prováděných na vědeckých (astronomických) obrazových datech je možné výborně charakterizovat střední kvadratickou odchylkou, očekáváme, že při vhodném seřazení transformovaných koeficientů dosáhneme volitelného použití rekonstruovaných dat. Postup vyhodnocování dat při přístupu do obrazové databáze je možné charakterizovat tímto postupem:

1. Náhled snímku, vhodný pro výběr snímku.
2. Aproximace průběhu pozadí snímku, aproximace 2D polynomem.
3. Lokalizace nejjasnějších objektů (typicky 10 objektů) pro nalezení transformačních koeficientů vzhledem k archivním obrazovým datům (již vyhodnoceným – pro odhad změny jasnosti objektů) nebo s katalogovými údaji navázání na standardní astrometrické soustavy.
4. Přesné fotometrické a astrometrické měření zahrnující aproximaci jasového profilu a zjištění pozice objektu s přesností vyšší než na jeden obrazový bod.

Po aplikaci bezeztrátového Huffmanovo kódování se tato skutečnost zapíše do nejvyššího bitu třetího šestnáctibitového slova věnovaného bitové hloubce formátu DAT [9]. Obrazová data, pokud nebude řečeno jinak, se budou kódovat s těmito parametry:

1. Použití lineárního kvantizéru.
2.  $N_B = 16$  počet bitů k vyjádření báze.
3.  $N_B = 12$  počet bitů k vyjádření spektrálních koeficientů.
4.  $N_1 = N_2 = 32$  velikost submatice.
5. Bude prováděno případné sudé prodloužení vstupní obrazové matice.

Koeficienty báze budou zapsány do dvou nezávislých souborů s nezbytnými údaji pro jejich opětovnou rekonstrukci.



obr.3 Detail bloku *integrální transformace* kodéru z obr. 2.

Pro rychlejší přístup k obrazovým datům je vhodné rozdělit kódovaná data do balíčků (paketů). Na straně dekodéru by si uživatel mohl vybrat vhodnou přesnost a provádět zvolenou operaci pouze na vhodně velkém balíku:

1. 2% dat, kompresní poměr větší jak 60:1, náhled, výpočet průběhu pozadí.
2. 8 % dat, kompresní poměr větší jak 15:1, detekce nejjasnějších objektů. Vhodné pro výpočet transformace souřadného systému.
3. 12 – 20 % dat, kompresní poměr asi 8 - 12:1, nalezení objektů.
4. 20 % dat, kompresní poměr asi 8:1, fotometrické měření.
5. chybová delta matice obsahující rozdíl mezi původním a rekonstruovaným snímkem. Její zaslání umožní bezeztrátové kódování. Dosažený kompresní poměr, včetně předchozích dat, asi 2:1.

## 5. Závěr

Měření na navrženém kodéru v prostředí MATALAB prokázalo, že lze navrhnout datový tok, tak aby bylo možné na základě postupně přichozích dat provádět následné zpracování - aproximace pozadí snímku, hledání objektů (od nejjasnějších po slabé), astrometrické měření a na závěr fotometrické měření založené na profilu objektů. Vhodnou modifikací popsaného postupu se jeví tzv. suboptimální rozklad. Ten využívá již známé „natrénované“ KLT báze společně pro kódovací i dekodovací stranu. S ním bylo dosaženo těchto závěrů:

Kódování flat fieldů je možné až do kompresních poměrů 100:1 podle typu snímků. Světlé širokoúhlé a DEEP SKY jsou kódovatelné pro kompresní poměry 30 - 60:1. Temné snímky jsou tvořené tepelně generovanými náboji v CCD struktuře. Šumový charakter tohoto signálu už předurčuje obtížnost jeho kódování. Aplikace navrženého kodéru ukazuje rozporuplné výsledky. Nejvyšší použitelný kompresní poměr se pohybuje okolo 5:1. Bylo by vhodné využít bezztrátovou modifikaci navrženého Karhunenova – Loeveho kodéru.

## 6. Poděkování

Tato práce byla vytvořena v rámci výzkumného záměru *Research in the Area of Information Technologies and Communications* číslo J04-98:-212300014 ČVUT v Praze. Partie práce zabývající se vyhodnocením kvality rekonstruovaných obrazových dat byla podpořena grantem *Qualitative Aspects of Image Compression Methods in Multimedia Systems* číslo GA102/02/0133. Část práce bylo podpořeno interním grantem ČVUT v Praze s názvem *Scientific Image Data Optical Processing*.

## 7. Literatura

- [1] BOOTES tým, <http://sagan.laeff.esa.es>, (2001).
- [2] Castro-Tirado A. J., Bernas M., Páta P., Soldán J., Hudec R., de Ugarte A., Sanguino T. M., de la Morena, Benito, Berna J. A., *First Results from the Burst Observer and Optical Transient Exploring System Station 1 (BOOTES-1)*, American Institute of Physics, pp. 260-264, Woodbury, (2000).
- [3] Hudec R., Soldán J., Hudcová V., Bernas M., Páta P., Hroch F., Castro-Tirado A. J., Mas-Hesse J. M., Gimenez A., *BART, BOOTES and OMC: monitoring of AGNs-blazars*, eds. C.M. Raiteri, M. Villata, and L.O. Takalo, Osservatorio Astronomico di Torino, Pino Torinese, p. 131-133 *Blazar Monitoring towards the Third Millennium*, Proceedings of the OJ-94 Annual Meeting, Torino, (1999).
- [4] Johnson H. L., Morgan W. W., *ApJ* 86 , 522, (1951).
- [5] Johnson H. L., Morgan W. W., *ApJ* 117, 313, (1953).
- [6] Louys M., Starck J. L., Mei S., Bonnarel, Murtagh F., *Astronomical Image Compression*, Astronomy and Astrophysics Supplement Serie, 136, 579-590, (1999).
- [7] Páta P., Bernas M., In: *Gamma Ray Bursts, Properties of Karhunen-Loeve Expansion of Astronomical Images in Comparison with Other Integral Transforms*, AIP onference Proceedings Woodbury: American Institute of Physics, 882-886, (2000).
- [8] Páta P., *KLE or DCT (JPEG) Based Coder?*, Poster 2001, IC 34,FEL ČVUT Praha, (2001).
- [9] Páta P. *Karhunenova - Loeveho transformace a její modifikace pro účely zpracování obrazové informace*, disertační práce, FEL ČVUT, Praha, (2002).
- [10] White R., Postman M., Lattanzi M., *Digitized Optical Sky Survey*, eds. H. MacGillivray, E. Thompson, 167 - 175, Kluwer, (1992).