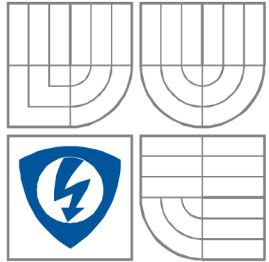


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

KOMPRIMACE A ANALÝZA DIGITÁLNÍCH VIDEO SIGNÁLŮ

COMPRESSION AND ANALYSIS OF DIGITAL VIDEO SIGNALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Michal Grúbel

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

BRNO, 2008

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Michal Grúbel
Bytem: Moyzesova 2810/17, Poprad, 058 01, Slovensko
Narozen/a (datum a místo): 5. februára 1985 v Poprade

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Komprimace a analýza digitálních video signálů

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 6. června 2008

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Abstrakt

Táto bakalárska práca pojednáva o technických parametroch vybraných komprimačných algoritmov pre komprimáciu videa, a to konkrétne MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 Part 14 a DivX. V rámci nej bol v programe Matlab vytvorený špeciálny softvér, ktorý porovnáva vzájomné rozdiely obrazov referenčnej a hodnotenej videosekvencie. Pre tento účel boli zachytené krátke testovacie videosekvencie s rôznymi vlastnosťami v časovej a frekvenčnej oblasti, ktorých zachytenie, komprimácia, dekomprimácia aj rozloženie na jednotlivé snímky je podrobne popísané a názorne ukázané. Výsledky hodnotení sú spracované graficky a napokon aj popísané slovne. V záverečnom celkovom zhodnotení je uvedené, ktorý komprimačný algoritmus je najvhodnejší pre aký typ videosekvencií, ktoré sa líšia vlastnosťami v časovej a frekvenčnej oblasti.

Kľúčové slová: štandard, kompresia, videosekvencia, snímok, metrika, objektívne hodnotenie, kvalita obrazu

Abstract

This bachelor's thesis deals with technical parameters of chosen algorithms for video compression, especially MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 Part 14 and DivX. Within it there was created a special software in Matlab that compares frames differences between reference and evaluated sequence. For this purpose there were recorded short test sequences with different properties in time and frequency domain, which recording, compressing, decompressing and decompiling to single frames are described and shown in detail. The results of evaluation are processed in graphs and then described in writing. In final overall evaluation is stated which algorithm for video compression is optimal for which type of sequences that differ in properties in time and frequency domain.

Key words: standard, compression, sequence, frame, metrics, objective evaluation, picture quality

Bibliografická citácia práce: GRÚBEL, M. *Komprimace a analýza digitálných video signálů: bakalárska práca*. Brno: FEKT VUT v Brně, 2008. 48 s.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Komprimace a analýza digitálních video signálů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 6. června 2008

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Kratochvílovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 6. června 2008

.....

podpis autora

Obsah

1	Úvod.....	4
2	Popis vybraných štandardov.....	5
2.1	MPEG-1	5
2.1.1	Kosinusová transformácia	5
2.1.2	Kvantovanie frekvenčných koeficientov.....	5
2.1.3	Entropické kódovanie.....	5
2.1.4	Diferenčná pulzná kódová modulácia	6
2.1.4.1	Vstupné obvody.....	6
2.1.4.2	Predpoveď snímkov a ich druhy	6
2.1.5	Vyrovňavacia pamäť	6
2.1.6	Multiplexer a vrstvy bitov v bitovom toku.....	6
2.2	MPEG-2	7
2.2.1	Obvody predikcie s vektormi pohybu	8
2.2.1.1	Celosnímkový mód	8
2.2.1.2	Polovnímkový mód.....	8
2.2.2	Transformačné a entropické kódovanie, čítanie koeficientov a regulácia bitovej rýchlosti u sústav MPEG-2	8
2.3	MPEG-4	8
2.3.1	MPEG-4 Part 14	10
2.4	DivX.....	11
3	Zachytenie videosekvencií a ich spracovanie	12
3.1	Zachytenie videosekvencií	12
3.2	Komprimácia a dekomprimácia	12
3.3	Rozloženie videosekvencií na snímky	13
4	Videosekvencie	15
5	Hodnotenie kvality prenosu a obrazu.....	17
5.1	Objektívne a subjektívne hodnotenie kvality prenosu a obrazovej informácie	17
5.1.1	Hodnotenie kvality prenosu obrazovej informácie	17
5.1.2	Objektívne metódy hodnotenia kvality	17
5.1.3	Subjektívne metódy hodnotenia kvality obrazu	20
5.1.4	Model ľudského videnia HVS.....	20
5.2	Kritéria pre výber obrazov vhodných pre hodnotenie kvality prenosu.....	21
6	Aplikácia v Matlabe	23
7	Výsledky hodnotenia.....	26
8	Zhrnutie výsledkov.....	45
	Záver.....	46
	Použitá literatúra	47
	Príloha	48

1 Úvod

Štandard MPEG-1 (*Moving Picture Experts Group*) sa používa pre Video CD (*Compact Disc*). Jeho nevýhodou je však nízka kvalita obrazu (v porovnaní s vyššími štandardmi) a to, že nepodporuje prekládané riadkovanie. MPEG-2 už podporuje prekládané riadkovanie, využíva sa pre SVCD (*Super Video Compact Disc*), DVD (*Digital Versatile Disc*) a DVB (*Digital Video Broadcasting*). Dosahuje vyššiu kvalitu obrazu ako MPEG-1 pri vyššom datovom toku. MPEG-4 je predurčený pre HDTV (*High Definition Television*) a DVB-H (*Digital Video Broadcasting Handheld*). Dosahuje ešte účinnejšiu kompresiu ako predchádzajúce štandardy. Pri kompenzácii pohybu môže byť využitých až 5 snímok (u MPEG-2 iba 2 snímky). Je veľmi variabilný, čo môže byť aj nevýhodou (prílišná voľnosť = nekompatibilita niektorých modifikácií). DivX je kompatibilný s MPEG-4. Používa modernejšie kompresné metódy. Dosahuje vysokú kvalitu obrazu pri relatívne nízkej bitovej rýchlosti.

Cieľom tejto bakalárskej práce je popísať technické parametre a vlastnosti vybraných komprimačných algoritmov, a to konkrétne: MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 Part 14 a DivX. Ďalej tu bude názorne ukázané akým spôsobom boli zachytené krátke testovacie videosekvencie s rôznymi vlastnosťami v časovej a frekvenčnej oblasti, ktoré následne podliehali komprimácii, dekomprimácii a rozloženiu na jednotlivé snímky. Bude tu uvedený a názorne ukázaný príklad nastavenia softvéru pre komprimáciu a dekomprimáciu (Pinnacle Studio 11) a rozloženie na jednotlivé snímky (BPS Video Converter&Decompiler). Budú tu vysvetlené metódy hodnotenia kvality prenosu a obrazu a to jak objektívneho hodnotenia, tak subjektívneho hodnotenia. V prehľadných tabuľkách sú uvedené dôležité technické parametre spomínaných testovacích videosekvencií. Pre objektívne hodnotenie rozdielov obrazov referenčnej a hodnotenej sekvencie bola v programe Matlab vytvorená aplikácia, ktorá umožňuje vypočítať hodnoty trinástich metrik a to jak aktuálne zobrazeného snímku, tak celej hodnotenej sekvencie. Výstupné hodnoty tejto aplikácie sú spracované do prehľadných grafov a následne sú popísané aj slovne. Z týchto všetkých poznatkov bude v záverečnom hodnotení uvedené, ktorý komprimačný algoritmus je optimálny pre aký typ videosekvencií, ktoré ako bolo spomenuté, sa líšia vlastnosťami v časovej a frekvenčnej oblasti.

2 Popis vybraných štandardov

2.1 MPEG-1

MPEG-1 (ISO/IEC 11172) definuje skupinu audio a video (AV) kódovacích a kompresných štandardov vyvinutých skupinou MPEG. Cieľom tejto skupiny bolo vytvorenie štandardu ekvivalentný štandardu VHS (*Video Home System*). MPEG-1 video bolo pôvodne navrhnuté na prijateľnú kvalitu 1.5 Mbit/s a v rozlíšení 352x240 (29.97 snímok za sekundu) / 352x288 (25 snímok za sekundu). V súčasnosti je jedným z najkompatibilnejších formátov rodiny MPEG; prehrateľný takmer vo všetkých VCD/DVD prehrávačoch. Popis jednotlivých blokov blokovej schémy (Obr. 1) nasleduje v podkapitolách.

2.1.1 Kosinusová transformácia

Diskrétnou kosinusovou transformáciou zmenšíme počet prenášaných dát (nuly a im blízke hodnoty koeficientov neprenášame), takže sa zmenší výsledná prenosová rýchlosť s využitím redukcie redundancie v signále. Keby sme neuvažovali chyby spôsobené zaokrúhľovaním frekvenčných koeficientov, bol by prenos bezstrátový, tj. po inverznej transformácii DCT^{-1} (*Discrete Cosine Transform*) by sme dostali pôvodný signál PCM (*Pulse Code Modulation*) [1].

2.1.2 Kvantovanie frekvenčných koeficientov

Ďalší blok blokovej schémy, ktorým ušetríme na bitovej rýchlosti. Spočíva v tom, že sa neberú na zreteľ nepodstatné časti signálu. Skúškami na veľkom počte ľudí sa zistilo, že nie všetky priestorové frekvencie f_x či f_y vyhodnocuje ľudský zrak s rovnakou citlivosťou pre ich amplitúdu. Preto sa zaviedla premenná kvantizačná matica, ktorá znižuje amplitudy väčšinou vysokých priestorových frekvencií. Z týchto dôvodov sa pôvodné koeficienty $c_{u,v}$ transformácie FDCT (*Forward Discrete Cosine Transform*) delia rôznymi celými číslami $q_{u,v}$ a tak vznikajú nové frekvenčné koeficienty. Táto úprava je už síce strátová, ale je založená na povolenej veľkosti strát. Podľa veľkosti týchto irrelevancií dochádza k rôznym kvalitám preneseného obrazu [1].

2.1.3 Entropické kódovanie

Ďalšie zmenšenie redundancie signálu entropickým kódovaním v podobe kódovania s premennou dĺžkou slova VLC (*Variable Length Coding*). Entropia udáva minimálny počet bitov pre vyjadrenie hodnoty jednej vzorky určenej k prenosu v závislosti na tom, s akou pravdepodobnosťou sa táto hodnota v prenose vyskytuje. Dĺžka slova prisúdená prenášanej vzorke sa tak mení a je u často sa vyskytujúcich hodnôt krátka a naopak málo sa vyskytujúce hodnoty sú kódované dlhými slovami. Tým sa v celkovom bitovom toku ušetrí počet bitov, signál sa komprimuje a znižuje sa bitová rýchlosť [1].

2.1.4 Diferenčná pulzná kódová modulácia

2.1.4.1 Vstupné obvody

Ak prichádza do kóderu číslicový signál PCM formátu 4:2:2 podľa doporučenia ITU-R 601, je treba ho upraviť na signál SIF (*Source Input Format*) s formátom vzorkovania 4:2:0. Pri diferenčnej pulznej kódovej modulácii sa signál spracováva v makroblokoch. Jeden makroblok spája 4 jasové bloky do jedného celku s 16x16 vzorkami a ten je doplnený jedným blokom od každého chrominančného rozdielového signálu [1].

2.1.4.2 Predpoveď snímok a ich druhy

Tu použitá modulácia DPCM (*Differential Pulse Code Modulation*) vytvára predpoveď medzi snímkami (*inter frame*), tj. vytvára rozdiel v hodnotách vzoriek medzi súčasným a predchádzajúcim snímkom. Rozdiel sa posudzuje v rozmedzí makroblokov. Stav predchádzajúceho snímku je predpoveďou pre súčasný snímok. Snímok kódovaný rozdielom od predchádzajúceho snímku označujeme ako snímok P (*Predict*) a predpoveď nazývame doprednou.

Predpovedať sa môže podoba súčasného snímku tiež z nasledujúceho snímku (spätná predikcia). Jednosmernou predikciou sa zníži bitová rýchlosť asi dvakrát. Obojsmernou až osemkrát. U nej je treba vytvoriť pre rozdiel súčasného snímku predpoveď ako priemer z minulého a nasledujúceho snímku. Takto kódovaný snímok sa označuje ako B (*Bidirectional*) snímok. GOP (*Group Of Pictures*) je skupina snímok, v ktorej sa po určitom intervale opakujú snímky bez predikcie. Tie sa spracúvajú DCT a nazývajú sa snímky I (*Intra Frame*). Predikčné kódovanie je bezstrátové a znižuje časovú redundanciu obrazovej informácie [1].

2.1.5 Vyrovnávacia pamäť

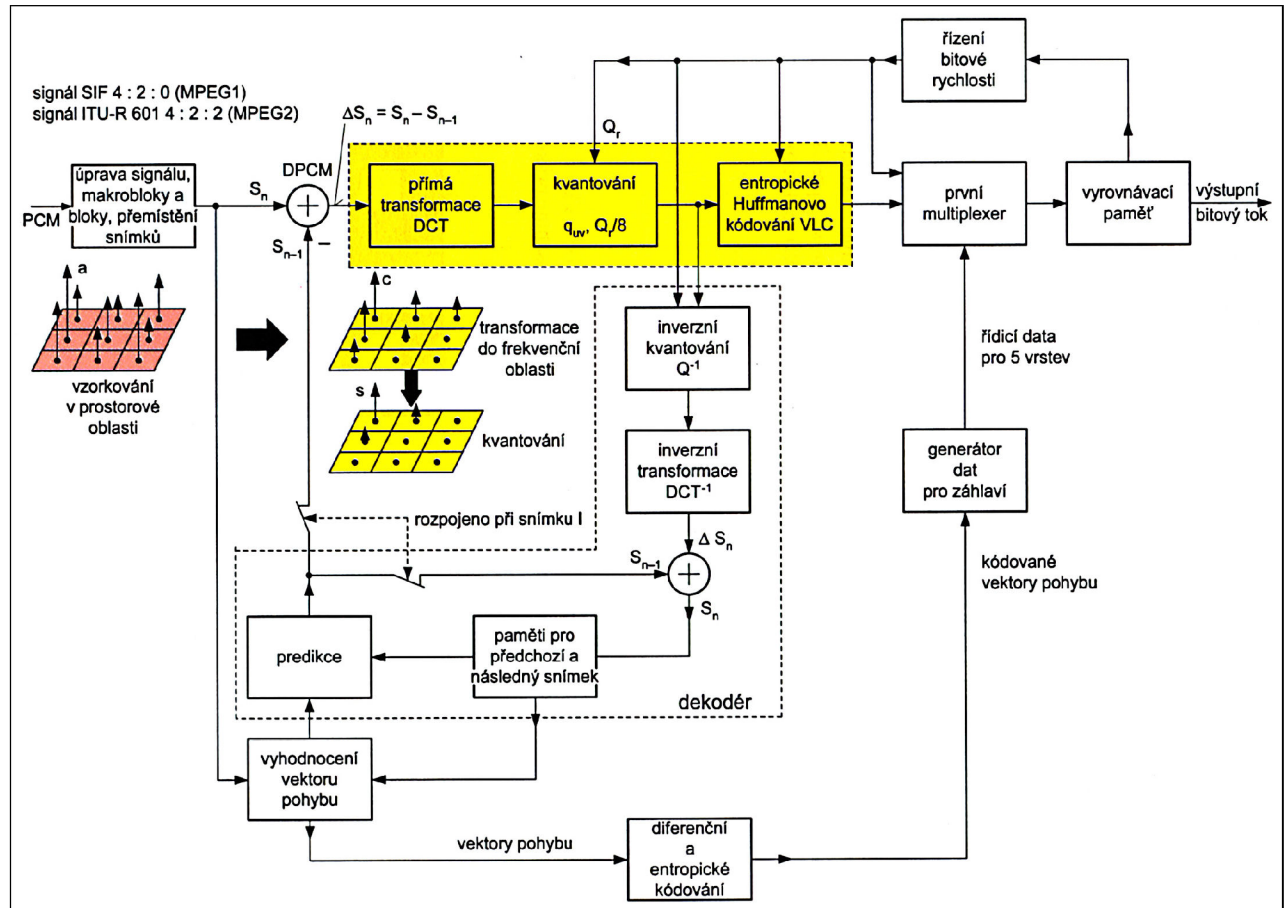
Na výstupe kóderu MPEG bitová rýchlosť kolíše vplyvom rôzneho obsahu obrazovej informácie (mení sa počet spektrálnych koeficientov DCT) alebo v dôsledku toho, že obvod časovej predikcie nenachádza takmer zhodné makrobloky a je treba kódovať viac makroblokov ako snímky typu I v jednej skupine GOP. Konštantnej rýchlosti výstupného bitového toku sa dosahuje pomocou vyrovnávacej pamäti na 1 snímok, ktorej rovnomerné plnenie zaisťuje riadené kvantovanie [2].

Prívod bitov, tj. vstupnú bitovú rýchlosť do vyrovnávacej pamäti je treba regulovať, aby bola pamäť takmer vždy úplne naplnená. Za určitých okolností by mohlo dôjsť ku preplneniu pamäti, ale takisto aj k malému naplneniu pamäti. Oba tieto stavy sú nežiaduce a musíme im zabrániť [1].

2.1.6 Multiplexer a vrstvy bitov v bitovom toku

Číslicový obrazový signál transformovaný do frekvenčnej oblasti, kvantovaný a entropicky kódovaný je treba opatriť nie len vektormi pohybu, ale aj pomocnými riadiacimi bitmi dôležitými pre správnu činnosť dekóderu. Spojenie týchto jednotlivých zložiek do

úhrnného obrazového toku obstaráva obvod pvého multiplexeru. Sled výstupného bitového toku s obrazovými informáciami nemožno ponechať náhode. Je treba ho riadiť podľa algoritmu kódera. Prídavné riadenie nie je sústredené do jedného miesta bitového toku, ale je rozložené do viacerých miest, hovoríme vrstiev signálov (*layers*) [1].



Obr.1 Bloková schéma kódera MPEG-1 a MPEG-2 [2]

2.2 MPEG-2

Bol vytvorený, aby bolo možné prenášať televízne obrazy a to nie len štandardnej televízie (SDTV – *Standard Definition Television*), ale aj televízie s veľkou rozlišovacíou schopnosťou (HDTV). Na to je potrebné zväčšiť bitovú rýchlosť u SDTV až do 15 Mbps a u HDTV až do 80 Mbps. MPEG-2 tj. štandard ISO/IEC CD 13818-1-2-3 je veľmi premyslený a rozdelený do mnoha skládateľných zoskupení pre rôznu použiteľnosť.

MPEG-2 používa na spracovanie televízneho obrazu prekládané riadkovanie. Z toho vyplýva aj väčšia dokonalosť všetkých troch základných pracovných postupov. Prvým je predikčné kódovanie s podporou, možno povedať s kopezáciou, pomocou vektorov pohybu. To odstraňuje zo signálu nadbytočné časovo nepremenné informácie. Ďalej je to dvojrozmerná DCT majúca spolu s kvantovaním hlavný podiel na odstraňovaní nepodstatných, pre ľudský zrak zbytočných, obrazových detajlov. Tretia časť je kódovanie s premennou dĺžkou slova, využívajúca statických četností v rozložení informácií pre minimalizáciu bitovej rýchlosti [1].

2.2.1 Obvody predikcie s vektormi pohybu

U sústavy MPEG-2 prekladané riadkovanie predikciu značne komplikuje, tj. rozširuje počet a spôsoby volby referenčných makroblokov a určenie vektorov pohybu. Predikciu je možné určovať v celosnímkovom alebo polsnímkovom móde.

2.2.1.1 Celosnímkový mód

Oba polsnímky, ktoré náležia tomu istému snímku, sú určené ako rovnaký typ I,P,B. Makroblok vzoriek je možné predpovedať na základe celého snímku ako u MPEG-1. Pretože oba snímky náležia rôznemu časovému údobiu, vytvárajú pre celosnímkovú predikciu jeden makroblok so súčasným prestriedaním párných a nepárných riadkov, zanáša tento spôsob predikcie chybu pri vodorovne sa pohybujúcich zvislých hranách obrazu tak, že nastáva ich vytrhávajúce. Preto sa tento spôsob predikcie hodí len na statické obrazy [1].

2.2.1.2 Polsnímkový mód

V polsnímkovom móde sú oba polsnímky, tj. obe časti rozdeleného makrobloku, považované za samostatné snímky a sú samostatne kódované ako snímky I,P,B. V každom polsnímku sa predikcia prevádza samostatne spôsobom známym z MPEG-1. Tento mód sa hodí pre pohyblivé obrazy [1].

2.2.2 Transformačné a entropické kódovanie, čítanie koeficientov a regulácia bitovej rýchlosti u sústav MPEG-2

Podstata oboch spôsobov kódovania je rovnaká ako u MPEG-1. Je tu ale niekoľko zmien zaručujúcich väčšiu účinnosť kódovania, takže pri rovnakej kvalite je možné dosiahnuť nižších hraníc bitovej rýchlosti.

Spôsob snímania u signálov s prekladaným riadkovaním je rozdielny od snímania u signálov s progresívnym riadkovaním. Je strnší a to ovplyvní dĺžku behu (počet nul v nepretržitom slede), takže je treba použiť modifikovaných tabuliek pre Huffmanovo kódovanie a VLC.

S upravenými kvantizačnými tabuľkami súvisí i regulácia takmer konštantnej bitovej rýchlosti toku vstupujúceho do vyrovnávecej tabuľky. Bitový tok z kvantizéru možno zoslabovať v pomere $1:2^{n/16}$ pre $n = 0$ (bez zoslabenia) až do $n = 175$, čo je zoslabenie 1961,17 krát [1].

2.3 MPEG-4

MPEG-4 je štandard primárne určený na kompresiu videa a audiovizuálnych (AV) digitálnych dát. Bol predstavený v roku 1998, zahŕňa skupinu audio a video kódovacích štandardov a príbuzných technológií v zhode s ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG) pod formálnym štandardom ISO/IEC 14496. MPEG-4 sa používa pre webové

(strímované médiá) a distribúciu na CD, na videokonverzáciu (videotelefónmi), a televízne vysielanie, kde sa prejavuje výhoda veľkej kompresie AV strímu [6].

MPEG-4 prebral mnohé vlastnosti z MPEG-1 a MPEG-2 a iných príbuzných štandardov, ale tiež pridal nové rozšírenia ako VRML (*Virtual Reality Modeling Language*), podporu pre 3D rendering, objektovo-orientované kompozitné súbory (ako audio, video a VRML objekty), podporu pre DRM (*Digital Rights Management*) a rôzne typy spolupráce. AAC (*Advanced Audio Codec*) (Pokročilý audio kodek) bol štandardizovaný ako doplnok MPEG-2 (ako Part 7), predtým než bol vydaný MPEG-4 [6].

MPEG-4 je stále sa vyvíjajúci štandard a je rozdelený na niekoľko častí. Nanešťastie, firmy propagujúce MPEG-4 nešpecifikujú jednotlivé úrovne kompatibility. Kľúčové časti sú: MPEG-4 part 2 (MPEG-4 SP/ASP, používaný kodekmi ako DivX, Xvid, Nero Digital a 3ivx a tiež Quicktime 6) a MPEG-4 part 10 (MPEG-4 AVC/H.264, využívaný kodekom x264, v Nero Digital AVC, v Quicktime 7, a tiež next-gen DVD formátmi ako HD DVD a Blu-ray).

Implementácia mnohých vlastností MPEG-4 je ponechaná na programátorov, aby sa rozhodli, či ich chcú implementovať. To znamená, že sa vyskytujú aj nekompletné implementácie MPEG-4 štandardu. Preto bol zavedený koncept "profilov" a "levelov" dovoľujúc, aby bola definovaná špecifická množina vlastností podľa potreby, pre určitú podmnožinu aplikácií [6].

MPEG-4 pozostáva z niekoľkých štandardov nazývaných "parts" zahrňujúc nasledovné:

- Part 1 (ISO/IEC 14496-1): Systémy: Popisuje synchronizáciu a multiplexing videa a audia. Napr. Transportný strím.
- Part 2 (ISO/IEC 14496-2): Vizuál: Kompresný kodek pre vizuálne dáta (video, nehybné textúry, syntetické obrázky, atď.). Známym "profilom" v Part 2 je (ASP).
- Part 3 (ISO/IEC 14496-3): Audio: Množina kompresných kodekov pre perceptuálne kódovanie audiosignálov, obsahujúc varianty AAC (AAC) ako aj ďalších kódovacích nástrojov.
- Part 4 (ISO/IEC 14496-4): Zhoda: Popisuje procedúry na testovanie zhody s inými časťami štandardu.
- Part 5 (ISO/IEC 14496-5): Referenčný softvér: Poskytuje softvér pre demonštráciu a objasnenie iných častí štandardu.
- Part 6 (ISO/IEC 14496-6): DMIF.
- Part 7 (ISO/IEC 14496-7): Optimalizovaný referenčný softvér: Poskytuje príklady ako vytvoriť zlepšenia. (napr. v Part 5).
- Part 8 (ISO/IEC 14496-8): Prenos cez IP siete: Špecifikuje metódy ako preniesť MPEG-4 obsah cez sieť.
- Part 9 (ISO/IEC 14496-9): Referenčný hardvér: Poskytuje návrh hardvéru na demonštráciu a implementáciu ďalších častí štandardu.
- Part 10 (ISO/IEC 14496-10): AVC: Kodek pre videosignály, ktoré sú identické so štandardom ITU-T H.264.
- Part 11 (ISO/IEC 14496-11): Popis scény a aplikačný engine nazývaný BIFS (*Binary Format for Scenes*); používaný pre bohatý interaktívny obsah s mnohými profilmi, zahŕňajúc 2D a 3D verzie.
- Part 12 (ISO/IEC 14496-12): ISO základný súborový systém: Na uchovávanie súborov.
- Part 13 (ISO/IEC 14496-13): Intellectual Property Management and Protection (IPMP) rozšírenia.
- Part 14 (ISO/IEC 14496-14): MPEG-4 formát súboru: Kontajner pre MPEG-4 založený na Part 12.

- Part 15 (ISO/IEC 14496-15): AVC formát súboru: Pre záznam Part 10 videa založeného na Part 12.
- Part 16 (ISO/IEC 14496-16): Animation Framework eXtension (AFX).
- Part 17 (ISO/IEC 14496-17): Časovaný formát titulkov.
- Part 18 (ISO/IEC 14496-18): Kompresia a stríming fontov (pre OpenType fonty).
- Part 19 (ISO/IEC 14496-19): Syntetizovaný strím textúr.
- Part 20 (ISO/IEC 14496-20): Lhká reprezentácia scény (LAsER).
- Part 21 (ISO/IEC 14496-21): MPEG-J Grafický rozširujúci rámec (GFX) (nedokončený - v "FCD" štádiu v júli 2005, FDIS január 2006).
- Part 22 (ISO/IEC 14496-22): Open Font špecifikácia formátu (OFFS) založený na OpenType (nedokončený - dosiahnuté "CD" štádium v júli 2005)
- Part 23 (ISO/IEC 14496-23): Symbolická reprezentácia pre hudbu (SMR) (nedokončený - dosiahnuté "FCD" štádium v októbri 2006) [6].

2.3.1 MPEG-4 Part 14

MPEG-4 Part 14 je multimedialny kontajner definovaný štandardom *ISO/IEC 14496-14:2003*. Ako jeho základ poslúžil kontajner *MOV* prehrávača *QuickTime* od spoločnosti Apple. Je to moderná a otvorená alternatíva k zastaralému AVI kontajneru. Oproti AVI môže MP4 obsahovať menu, viac titulkov a zvukových stôp a dokonca aj 3D objekty. Umožňuje tiež bezproblémové streamovanie videa [7].

Oproti AVI má MP4 trochu iné možnosti v použití kompresíí. Je to MPEG-1, MPEG-2 a MPEG-4 pre obraz a AAC pre zvuk, teda kompresné audiovizuálne formáty skupiny MPEG. Medzi užívateľmi PC je veľmi známa video kompresia *MPEG-4 Part 2* (MPEG-4 ASP), ktorej sa držia napríklad kodeky *DivX* a *Xvid*. Ďalšia známa video kompresia je *MPEG-4 Part 10* (MPEG-4 AVC, H.264), ktorú implementuje napríklad kodek *x264*. Zvuková kompresia AAC (Advanced Audio Coding) je potom definovaná štandardom *MPEG-4 Part 3*. Formát titulkových stop Timed Text (TTXT) je potom definovaný v *MPEG-4 part 17* [7].

O rozšírení MP4 do povedomia ľudí sa stará hlavne firma Nero, ktorá tento formát používa pre ukladanie videa s kompresiou MPEG-4. A potom tiež firma Apple, ktorá opúšťa svoje proprietárne formáty (Sorenson, MOV) a prechádza k štandardizovanému MPEG-4. Obe firmy si ale upravujú štandardy k svojmu obrazu. Nero používa pre titulky v rozpore s ISO formát VobSub, Apple začlenil do MP4 DRM systém FairPlay obmedzujúci práva užívateľa multimedialnych súborov. Existujú ešte ďalšie úpravy MP4, ktoré napríklad umožňujú použiť Vorbis alebo AC-3 (Dolby Digital) kompresiu zvuku v MP4 kontajnere. Samozrejme všetky tieto úpravy sú neoficiálne a nedá sa teda očakávať ich široká podpora [7].

Jedinou oficiálnou a rozšírenou modifikáciou MP4 je formát *3GPP* (3GP, 3GP2) používaný v mobilných telefónoch. Ten štandardizuje pre obraz kompresiu *H.263*, odvodenú od MPEG-4, a pre zvuk kompresiu *AMR* používanú štandardne pre prenos hovorov medzi telefónmi [7].

Pre prehrávanie MP4 na počítači so systémom Windows je možné použiť mnoho prehrávačov a filtrov. Prehrávače, ktoré nespolupracujú so systémom DirectShow a vedia

prehrávať MP4, sú napríklad *Mplayer* a *VLC media player* alebo *QuickTime Player*. Jeden z najpopulárnejších prehrávačov videa *Media Player Classic* má MP4 podporu tiež zabudovanú. Pre ostatné DirectShow prehrávače je nutné nainštalovať systémový MP4 splitter. Ponúkajú ho ako súčasť svojich balíkov napríklad firmy Nero alebo 3ivx. Ak chcete iba samotný MP4 splitter, je asi najlepšou voľbou *Haali Media Splitter*, ktorý okrem MP4 zvláda tiež AVI (*Audio Video Interleave*), OGM (*Ogg Media*) a MKV (*Matroska Multimedia Container*). Ako DirectShow splitter je možné tiež použiť MP4/MOV splitter obsiahnutý v *Media Player Classic*. Pre úspešné prehranie videa je ale nutné nainštalovať tiež dekódery videa a zvuku. DirectShow dekóder *ffdshow* obsahuje dekódery videa MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 ASP, MPEG-4 AVC, H.263 a dekódery zvuku MPEG-1 (MP3), MPEG-4 (AAC) i AMR, teda všetkého čoho môžete v MP4/3GPP kontajneru nájsť [7].

2.4 DivX

DivX je značka produktov vytvorených spoločnosťou DivX, Inc. (skôr DivXNetworks), vrátane obrazového kodeku kompatibilného so štandardom MPEG-4. Tento kodek sa vďaka svojej schopnosti kvalitnej kompresie filmov na výrazne menšiu veľkosť veľmi často používa pre nelegálne šírenie filmov chránených autorskými právami. Jeho popularita však viedla i k tomu, že veľká časť moderných DVD prehrávačov podporuje prehrávanie filmov kódovaných kodekom DivX.

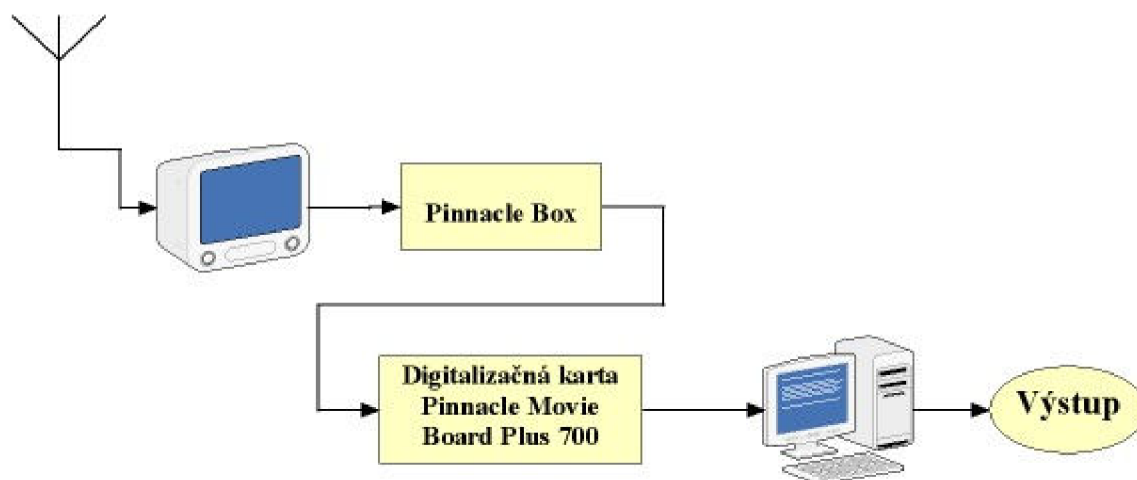
Typický celovečerný film zaberá na DVD asi 7 GB; DivX umožnil takýto film skomprimovať na cca 700 MB (takže sa vojde na jedno CD) pri relatívne akceptovateľnej strate kvality. To umožnilo ľahké (často ovšem nelegálne) šírenie takýchto filmov.

DivX nie je slobodný software ani open source, ale existuje open source verzia kodeku nazvaná OpenDivX, ktorú DivXNetworks vydali na začiatku roku 2001. Z tejto verzie sa vyvinul kodek Xvid, ktorý vyvíjajú nezávislá skupina vývojárov [4].

3 Zachytenie videosekvencií a ich spracovanie

3.1 Zachytenie videosekvencií

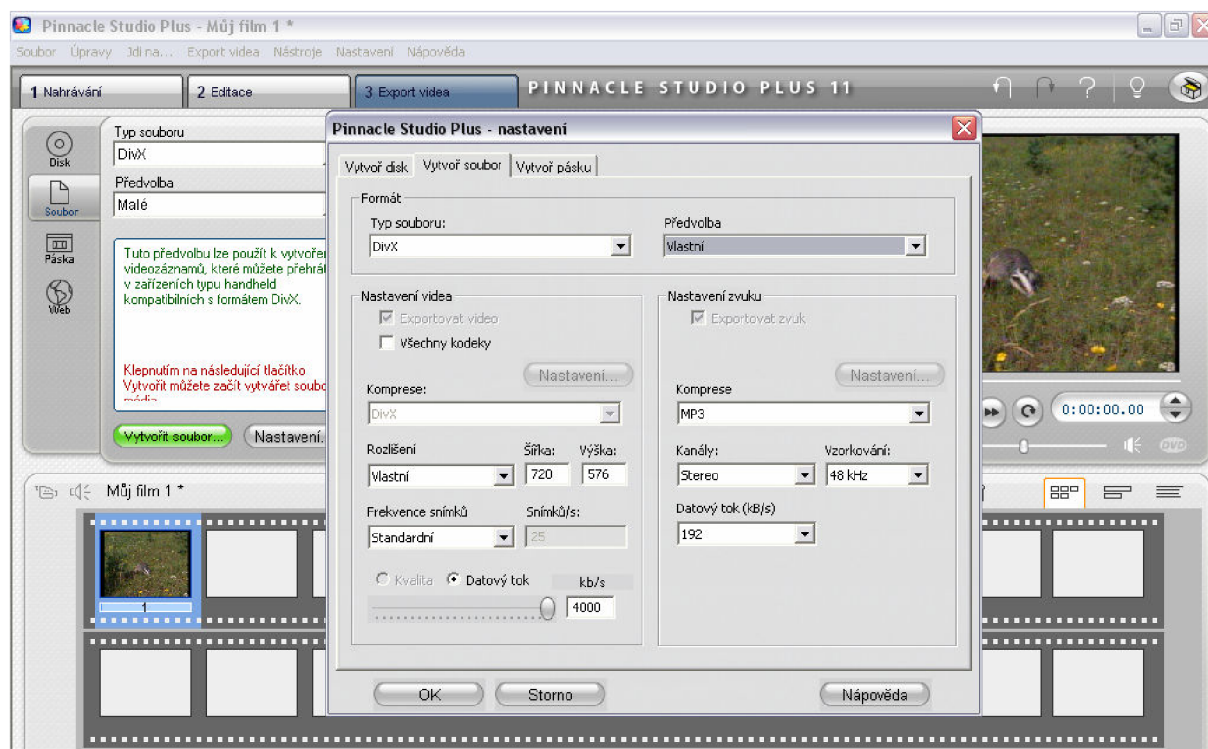
Na zachytenie videosekvencií, následnú kompresiu aj dekompresiu bola použitá digitalizačná karta *Pinnacle Movie Board Plus 700* a k nej dodavaný softvér *Pinnacle Studio 11*. Na RF vstup televízora bol pripojený signál z antény. Kompozitný výstup televízora bol pripojený cez *Pinnacle Box* na kompozitný vstup digitalizačnej karty, ktorá bola nainštalovaná v PC (obr.2). Pomocou spomenutého softvéru boli zachytené testovacie videosekvencie, ktoré boli následne skomprimované a dekomprimované.



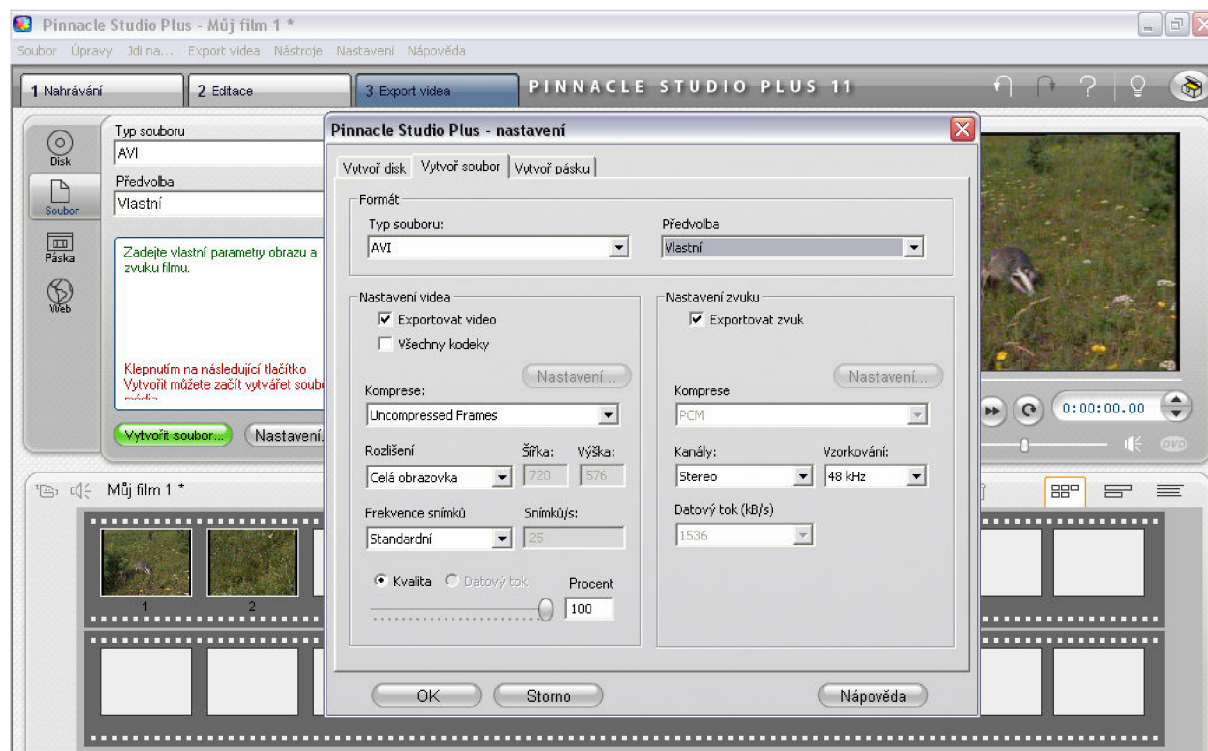
Obr. 2 Zachytenie videosekvencií

3.2 Komprimácia a dekomprimácia

Ako už bolo spomenuté, komprimácia aj dekomprimácia vybraných videosekvencií bola uskutočnená pomocou softvéru *Pinnacle Studio 11*, ktorý je dodávaný k digitalizačnej karte *Pinnacle Movie Board Plus 700*. Na obr. 3 je príklad nastavenia parametrov pre komprimáciu videa. Dekomprimácia bola vykonaná opačným procesom (obr. 4).



Obr. 3 Nastavenie parametrov pre komprimáciu videa v Pinnacle Studio 11

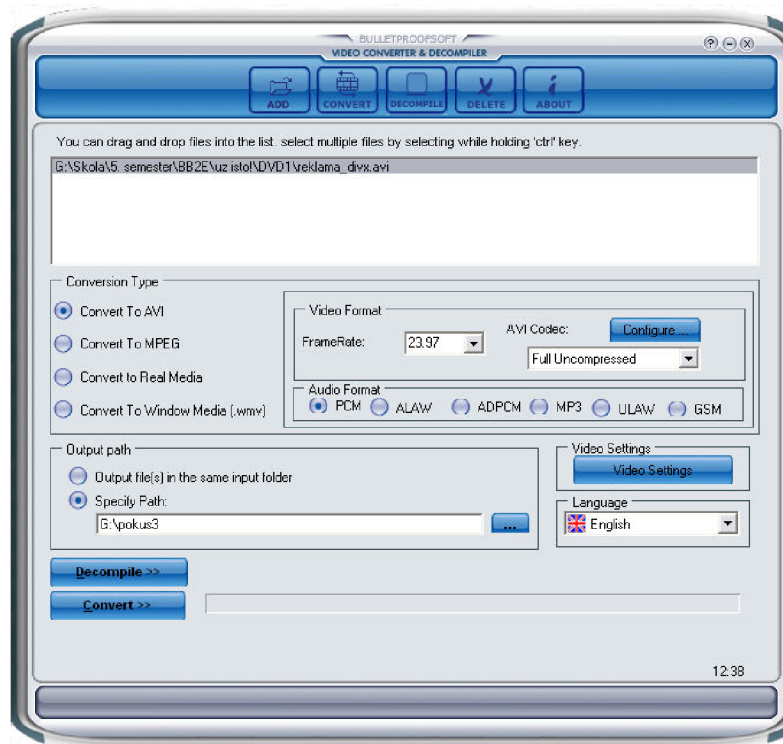


Obr. 4 Nastavenie parametrov pre dekomprimáciu videa v Pinnacle Studio 11

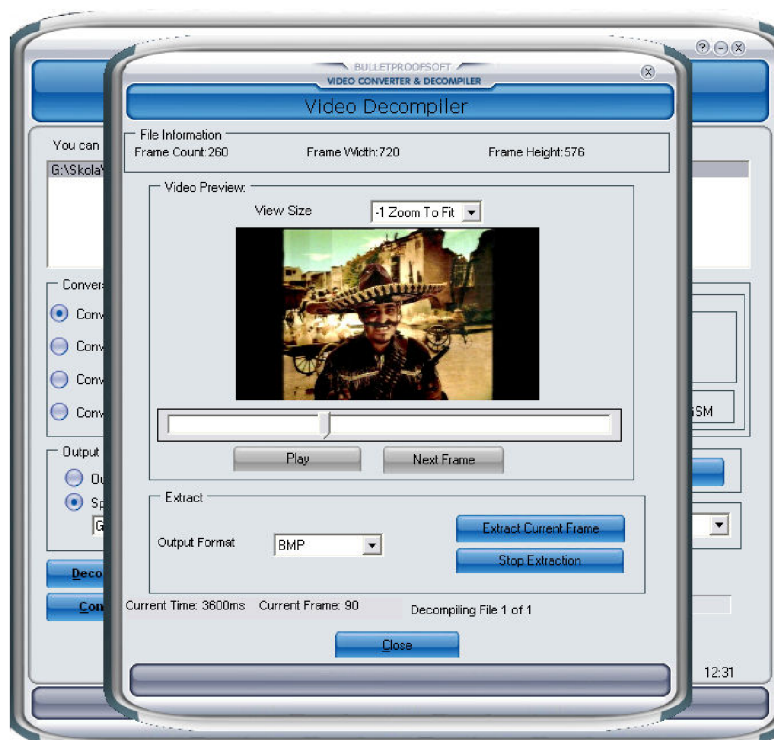
3.3 Rozloženie videosekvencií na snímky

Na túto operáciu bol použitý softvér s názvom *BPS Video Converter&Decompiler*. Po spustení softvéru si užívateľ zadá cestu spracovavaného súboru aj cieľový adresár pre

výsledok operácie (Obr. 5). Ďalej je potrebné nastaviť formát výstupných súborov. V tomto prípade bol nastavený formát BMP. A nakoniec po stlačení tlačítka „Play“ začne program rozkladať video na jeho jednotlivé snímky a ukladať ich do zvoleného adresára (Obr. 6).



Obr. 5 Nastavenie cesty spracovavaného súboru aj cieľového adresára v programe BPS Video Converter&Decompiler



Obr. 6 Nastavenie formátu výstupných súborov a spustenie dekompilácie v programe BPS Video Converter&Decompiler

4 Videosekvencie

V laboratóriu televíznej techniky bolo vyššie uvedeným spôsobom zachytených niekoľko videí o dĺžke cca 10 sekúnd, z ktorých bolo pre túto bakalársku prácu vybraných týchto reprezentatívnych 5 sekvencií, ktoré boli vyššie uvedeným spôsobom spracované. V nasledujúcich tabuľkách sú uvedené ich názvy a ich technické parametre.

Tab. 1 Parametre videosekvencie príroda

	Príroda			
	MPEG-1	MPEG-2	MPEG-4 Part 14	DivX
Veľkosť [MB]	5,27	5,64	4,96	6,15
Prenosová rýchlosť [Mbps]	3,90625	3,907	3,8154	4,69
Kompresný pomer [-]	62:1	62:1	64:1	52:1
Dĺžka trvania [s]	10,32			
Počet snímkov za sekundu [-]	25			
Celkovo snímkov [-]	258			
Rozlíšenie [pixelov]	720 x 576			
Slovný popis obsahu	Pohybujúci sa objekt po tiež pohyblivom, ale takmer konštantne vyzerajúcom pozadí, po prestrihu len málo pohyblivá scéna			

Tab. 2 Parametre videosekvencie reklama

	Reklama			
	MPEG-1	MPEG-2	MPEG-4 Part 14	DivX
Veľkosť [MB]	5,32	5,67	5,00	6,20
Prenosová rýchlosť [Mbps]	3,91	3,91	3,82	4,69
Kompresný pomer [-]	62:1	62:1	64:1	52:1
Dĺžka trvania [s]	10,40			
Počet snímkov za sekundu [-]	25			
Celkovo snímkov [-]	260			
Rozlíšenie [pixelov]	720 x 576			
Slovný popis obsahu	Rýchlo sa meniace obrazy, rýchle pohyby objektov, použité efekty, sýtejšie farby			

Tab. 3 Parametre videosekvencie rozprávka

	Rozprávka			
	MPEG-1	MPEG-2	MPEG-4 Part 14	DivX
Veľkosť [MB]	5,19	5,56	5,00	6,05
Prenosová rýchlosť [Mbps]	3,91	3,91	3,91	4,69
Kompresný pomer [-]	62:1	62:1	62:1	52:1
Dĺžka trvania [s]	10,16			
Počet snímkov za sekundu [-]	25			
Celkovo snímkov [-]	254			
Rozlíšenie [pixelov]	720 x 576			
Slovný popis obsahu	Scény sú kreslené, pohyby trhavé, neplynulé, obsahuje veľké plochy rovnakej farby, silnejšia jasová zložka			

Tab. 4 Parametre videosekvencie šport

	Šport			
	MPEG-1	MPEG-2	MPEG-4 Part 14	DivX
Veľkosť [MB]	5,17	5,52	4,91	6,02
Prenosová rýchlosť [Mbps]	3,91	3,91	3,85	4,68
Kompresný pomer [-]	62:1	62:1	63:1	52:1
Dĺžka trvania [s]	10,12			
Počet snímkov za sekundu [-]	25			
Celkovo snímkov [-]	253			
Rozlíšenie [pixelov]	720 x 576			
Slovný popis obsahu	Dynamické scény, rýchlo sa pohybujúce objekty, pozadie tiež v pohybe, použitá grafika, slabšia jasová zložka			

Tab. 5 Parametre videosekvencie súťaž

	Súťaž			
	MPEG-1	MPEG-2	MPEG-4 Part 14	DivX
Veľkosť [MB]	5,25	5,61	5,05	6,13
Prenosová rýchlosť [Mbps]	3,91	3,91	3,90	4,69
Kompresný pomer [-]	62:1	62:1	62:1	52:1
Dĺžka trvania [s]	10,28			
Počet snímkov za sekundu [-]	25			
Celkovo snímkov [-]	257			
Rozlíšenie [pixelov]	720 x 576			
Slovný popis obsahu	Veľmi slabý pohyb objektov, farby pestré a sýte, použitá grafika			

**Poznámka: parametre video súborov boli zistené pomocou programu „GSpot version 2.70a (freeware)“ dostupného na <http://gspot.headbands.com/>*

5 Hodnotenie kvality prenosu a obrazu

5.1 Objektívne a subjektívne hodnotenie kvality prenosu a obrazovej informácie

5.1.1 Hodnotenie kvality prenosu obrazovej informácie

Vyhodnotenie kvality prenosu statického obrazu predpokladá spracovanie dvojrozmerných obrazových dat v priestorovej oblasti. Hodnotenými obrazmi sú *vstupný nekomprimovaný RGB snímok* pred zdrojovým kóderom a *výstupný rekonštruovaný RGB snímok* za zdrojovým dekóderom [8].

Pre hodnotenie *kvality obrazu* PQE (Picture Quality Evaluation) sa používajú 2 základné prístupy – objektívny a subjektívny. *Objektívne hodnotenie* vychádza zo štatistického prístupu vyhodnotenia výsledkov a jednotlivých metrik priamo z obrazových matic (napr. strednej kvadratickej chyby, strednej absolutnej chyby, pomeru signálu k šumu). *Subjektívne hodnotenie* nie je možné kvantifikovať priamo. Je výsledkom priemerného hodnotenia skupiny pozorovateľou, ktorí posudzujú kvalitu obrazu pomocou definovanej stupnice (napr. 5 stupňovej škály *MOS* podľa doporučenia ITU-R BT.500). Pre oba typy hodnotenia sa používajú *testovacie obrazy*, ktoré zachytávajú premennú priestorovú a frekvenčnú distribúciu, detaily, jednofarebné plochy, textúry atď [8].

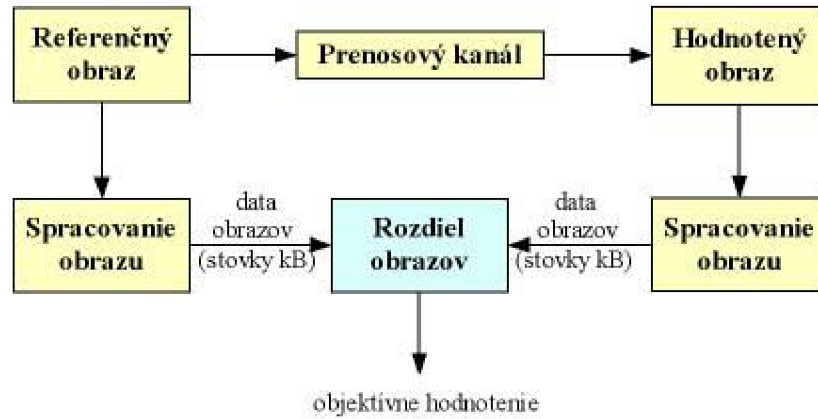
5.1.2 Objektívne metódy hodnotenia kvality

Objektívne hodnotenie kvality obrazu vychádza z dvoch základných prístupov. Oba prístupy sú založené na vzájomnom porovnaní originálneho (referenčného) obrazu s hodnoteným (degradovaným) obrazom a z neho prevedených matematických a štatistických výpočtov [8].

V prvom prístupe sa hodnotia *vlastnosti obrazov* získané výpočtom z obrazových matic jednotlivých hodnotených obrazov (feature extraction) [8].

V druhom prístupe sa hodnotia *vzájomné rozdiely* medzi originálnym a hodnoteným obrazom (picture differencing) (obr. 7) [8].

V tejto práci bola použitá objektívna metóda hodnotenia vzájomných rozdielov obrazov (Obr. 7) [8].



Obr. 7 Objektívna metóda hodnotenia vzájomných rozdielov obrazov

Predpokládajme, že originálny obraz $f(i, j)$ a hodnotený obraz $f'(i, j)$ majú rozmer $N \times M$ obrazových bodov. Objektívne kritéria hodnotenia kvality obrazu potom môžu byť vyjadrené niektorou z nasledujúcich veličín (obrazových metrik): *MSE* (Mean Square Error), *NRMSE* (Normalized Root Mean Square Error), *NMSE* (Normalized Mean Square Error), *MAE* (Mean Absolute Error), *SNR* (Signal to Noise Ratio), *PSNR* (Peak Signal to Noise Ratio), *NAE* (Normalized Absolute Error), *NC* (Normalized Correlation), *AD* (Average Difference), *MD* (Maximum Difference), *SC* (Structural Content) a ďalšie. Pre objektívne hodnotenie kvality obrazu sú z uvedených metrik i podľa doporučenia ITU-R používané najčastejšie *MSE* [-], *NMSE* [-], *SNR* [dB] a *PSNR* [dB] [8].

- stredná kvadratická chyba *MSE*

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i, j) - f'(i, j)]^2 \quad (5.3)$$

- normalizovaná stredná kvadratická chyba *NMSE*

$$NMSE = \frac{MSE}{\sigma^2} = \frac{1}{MN\sigma^2} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i, j) - f'(i, j)]^2 \quad (5.4)$$

- pomer signál šum *SNR*

$$SNR = 10 \log \frac{\sigma^2}{MSE} = -10 \log NMSE \quad (5.5)$$

- špičkový pomer signál šum *PSNR*

$$PSNR = 10 \log \frac{(2^n - 1)^2}{MSE} = 20 \log \frac{(2^n - 1)^2}{RMSE} \quad (5.6)$$

- normalizovaná stredná kvadratická chyba *NRMSE*

$$NRMSE = \frac{1}{MN\sigma} \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i, j) - f'(i, j)]^2} \quad (5.7)$$

- stredná absolútná chyba *MAE*

$$MAE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |f(i, j) - f'(i, j)| \quad (5.8)$$

- normalizovaná absolútná chyba *NAE*

$$NAE = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i, j) - f'(i, j)]}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i, j)]^2} \quad (5.9)$$

- normalizovaná korelácia *NC*

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i, j) \cdot f'(i, j)]}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i, j)]^2} \quad (5.10)$$

- priemerná odchýlka *AD*

$$AD = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i, j) - f'(i, j)] \quad (5.11)$$

- maximálna odchýlka *MD*

$$MD = \text{Max}(|f(i, j) - f'(i, j)|) \quad (5.12)$$

- štruktúrálly obsah *SC*

$$SC = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i, j)]^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f'(i, j)]^2} \quad (5.13)$$

5.1.3 Subjektívne metódy hodnotenia kvality obrazu

Subjektívne testy vychádzajú z doporučenia ITU-R BT.500. Základom subjektívneho hodnotenia je výber *skupiny pozorovateľou* testovaných podľa zrakových schopností, ktorí sú súčasne dotazovaní na *kvalitu obrazu* na základe porovnania hodnoteného (degradovaného) obrazu s originálnym obrazom alebo aj bez neho. Vyhodnotenie využíva definovanú stupnicu podľa vybraného typu testu a výsledkom je potom *priemerná hodnota hodnotení* [8].

Najpoužívanejšie metódy pre subjektívne hodnotenie kvality obrazu v DTV predstavujú:

- DSCQS (Double Stimulus Continuous Quality Scale) – metóda je vhodná pre *hodnotenie obrazov* alebo *krátkych sekvencií*
- DSIS (Double Stimulus Impairment Scale) – metóda je vhodná pre *hodnotenie komprimačných systémov* alebo *vplyvu prenosovej cesty* na poškodenie obrazu
- SS (Single Stimulus) – metóda je vhodná k hodnoteniu, pokiaľ *nie je k dispozícii referenčný obraz A*
- SSMR (Single Stimulus Multiple Repetition) – metóda je zhodná s SS, s tým rozdielom, že je možné viacnásobné opakovanie rovnakého obrazu B počas testu
- SC (Stimulus Comparison) – metóda je vhodná pre *priame porovnanie* obrazov A a B vedľa seba alebo za sebou a pozorovateľ hodnotí vzájomný rozdiel medzi nimi
- SSCQE (Single Stimulus Continuous Quality Evaluation) – metóda je vhodná pre *priebežné hodnotenie* obrazov behom dlhej periódy hodnotení v pravidelných intervaloch [8].

Subjektívne hodnotenie pomocou kritéria *MOS* (Mean Opinion Score) je založené na pravdepodobnosti rovnakého výsledku všetkých pozorovateľov a je definované rovnicou:

$$MOS = \sum_{i=1}^5 i \cdot P_i \quad (5.14)$$

kde i je stupeň bodového hodnotenia a $p(i)$ je jeho pravdepodobnosť. Príklad stupnice pre hodnotenie pomocou *MOS* (metóda DSCQS) uvádza tab. 2, vrátane zjednodušeného hodnotenia z pomeru signálu a šumu obrazu *SNR* [dB] [8].

Tab. 6 Bodové hodnotenie a odpovedajúce subjektívne hodnot. testu pomocou *MOS*

Bodové hodnotenie	Kvalita obrazu	Poškodenie obrazu	SNR [dB]
5	výborná	nevnímateľné	45,5
4	dobrá	vnímateľné, neruší	36,6
3	uspokojivá	vnímateľné, mierne ruší	29,9
2	nízka	rušivé	25,4
1	zlá	veľmi rušivé	23,1

5.1.4 Model ľudského videnia HVS

Na základe subjektívnych testov a výskumu vlastností modelu ľudského videnia HVS (Human Visual System) v Sarnoff Research Center bola stanovená objektívna metrika pre hodnotenie kvality obrazu *JND* (Just Noticeable Difference), ktorá je nezávislá na charaktere testovacích obrazov a druhu ich skreslenia. Definícia jednej jednotky *JND* spočíva vo vyhodnotení 75 % pravdepodobnosti, že pozorovateľ *nedokáže rozlíšiť rozdiel* medzi dvoma obrazmi, ktoré vidí niekoľkokrát a opakovane po sebe [8].

Výsledkom hodnotenia je porovnanie rozdielových metrík referenčného a hodnoteného obrazu. Vyhodnotenie prebieha zvlášť pre chrominančné a lumanančné vzorky s následným štatistickým združením výsledkov v celkovú *JND* metriku [8].

5.2 Kritéria pre výber obrazov vhodných pre hodnotenie kvality prenosu

Výsledky subjektívnych a objektívnych testov sú závislé nielen na kvalite, ale predovšetkým na obsahu testovacích obrazov. Pre dosiahnutie dobrej korelácie výsledkov je treba poznať informáciu o vlastnostiach obrazu v priestorovej a frekvenčnej oblasti [8].

Obsah obrazu môže byť matematicky vyhodnotený pomocou charakteristik *priestorovej frekvencie SFM* (Spatial Frequency Measure) indikujúci celkovú priestorovú aktivitu obrazu a *spektrálnej aktivity SAM* (Spectral Activity Measure) indikujúcej jeho frekvenčný obsah. Tie sú definované:

- priestorová frekvencia *SFM* je definovaná rovnicou

$$SFM = \sqrt{f_R^2 + f_C^2} \quad (5.15)$$

kde f_R je celková riadková frekvencia obrazu

$$f_R = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=2}^N [f(i, j) - f(i, j-1)]^2} \quad (5.16)$$

a f_C je celková stĺpcová frekvencia obrazu

$$f_C = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=2}^N [f(i, j) - f(i-1, j)]^2} \quad (5.17)$$

kde $M \times N$ je rozmer obrazu a $f(i, j)$ predstavuje jeho jednotlivé vzorky

- spektrálna aktivita *SAM* je definovaná rovnicou

$$SAM = \frac{\frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |F(i, j)|^2}{\left[\prod_{i=0}^{M-1} \prod_{j=0}^{N-1} |F(i, j)|^2 \right]^2} \quad (5.18)$$

kde $F(i, j)$ je spektrum (resp. spektrálne koeficienty) obrazu vypočítané pomocou DFT

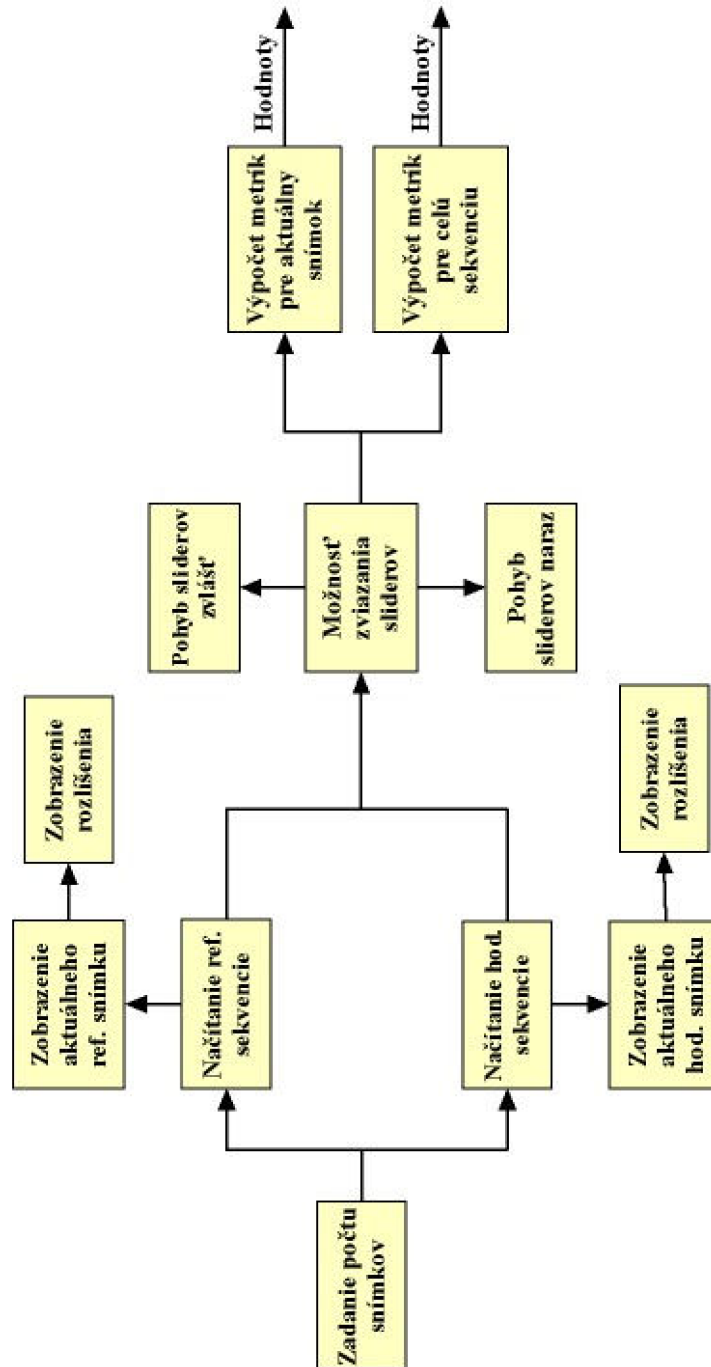
Spektrálna aktivita *SAM* má dynamický rozsah $<1, \infty)$ a vyššie hodnoty naznačujú nižšiu frekvenčnú dynamiku obrazu. Naopak obrazy s vyššou frekvenčnou dynamikou majú hodnotu *SAM* blízku 1 a sú náročnejšie na kódovanie a následný prenos. Je tiež zrejmé, že testovacie obrazy obsahujúce reálne scény s nižšou hodnotou *SAM* majú vyššiu hodnotu *SFM*

a naopak. Pre hodnotenie kvality prenosu a obrazu je treba použiť skúšobné obrazy s rozdielnými vlastnosťami a to napríklad:

- štrukturované reálne obrazy s detailmi a textúrami
- obrazy s väčšími jednofarebnými plochami a syntetické obrazy
- obrazy s detailnou scénou popredia alebo pozadia
- obrazy s premennou priestorovou a frekvenčnou aktivitou
- kombinované obrazy [8].

6 Aplikácia v Matlabe

Pre objektívne hodnotenie vzájomných rozdielov obrazov referenčnej a hodnotenej sekvencie bola v programe Matlab vytvorená aplikácia, ktorej bloková schéma je na obr.8. Spúšťa sa zadaním príkazu „main“ v príkazovom okne Matlabu.



Obr. 8 Aplikácia v Matlabe

Po spustení sa otvorí užívateľské prostredie, do ktorého je najprv potrebné do editačného poľa zadať počet snímok, ktoré budú načítané do pamäte. Po zadaní počtu snímok treba kliknúť na tlačítko „Načítaj“, ktoré otvorí klasické dialogové okno, v ktorom si užívateľ vyberie súbor, ktorý bude načítaný do pamäte. Aplikácia automaticky načíta ďalšie súbory (s rovnakým názvom akurát s pričítaním jednotky v číselnej časti názvu súboru), podľa toho, aké číslo bolo zadane do editačného poľa pre počet snímok. Toto načítanie je potrebné uskutočniť jak pre referenčnú sekvenciu tak pre hodnotenú sekvenciu. Po tomto kroku sú už v pamäti programu načítané snímky hodnotenej a referenčnej videosekvencie, ktoré je možné si prehliadať pomocou sliderov (snímky sú zobrazované v objektoch axes pre referenčnú aj pre hodnotenú sekvenciu). V prípade, že užívateľ zaškrtnie checkbox „Zviazanie sliderov“, tak sa jedným sliderom pohybujú oba slidery súčasne a v súlade s tým sa menia zobrazované snímky. Vytvorená aplikácia okrem iného obsahuje aj funkciu na zistenie a vypísanie rozlíšenia načítanej sekvencie. Je univerzálna pre akékoľvek rozlíšenie a pre akékoľvek názvy snímok, podmienka je akurát tá, že názov musí pozostávať z písmenovej časti a číselnej časti (napr. Frame01, Frame02, Frame03..., snimok6, snimok7, snimok8...). Napokon už len ostáva stlačiť tlačítko „Vypočítaj“ a to jak v časti „Hodnoty metrick pre aktuálny snímok“ tak v časti „Hodnoty metrick pre celú sekvenciu“. Aplikácia na tento povel vypočíta hodnoty chýb: MSE, MAE, NMSE, NRMSE, NAE, hodnoty pomerov: SNR a PSNR, hodnoty odchýlok AD a MD, korelácie NK a obsahu SC a napokon hodnoty priestorovej frekvencie SFM a aktivity SAM. Tieto hodnoty vypíše do pripravených editačných polí vo formáte string. Príklad použitia aplikácie pre videosekvenciu reklama je na obr. 9.

Hodnoty metrick pre aktuálny snímok:

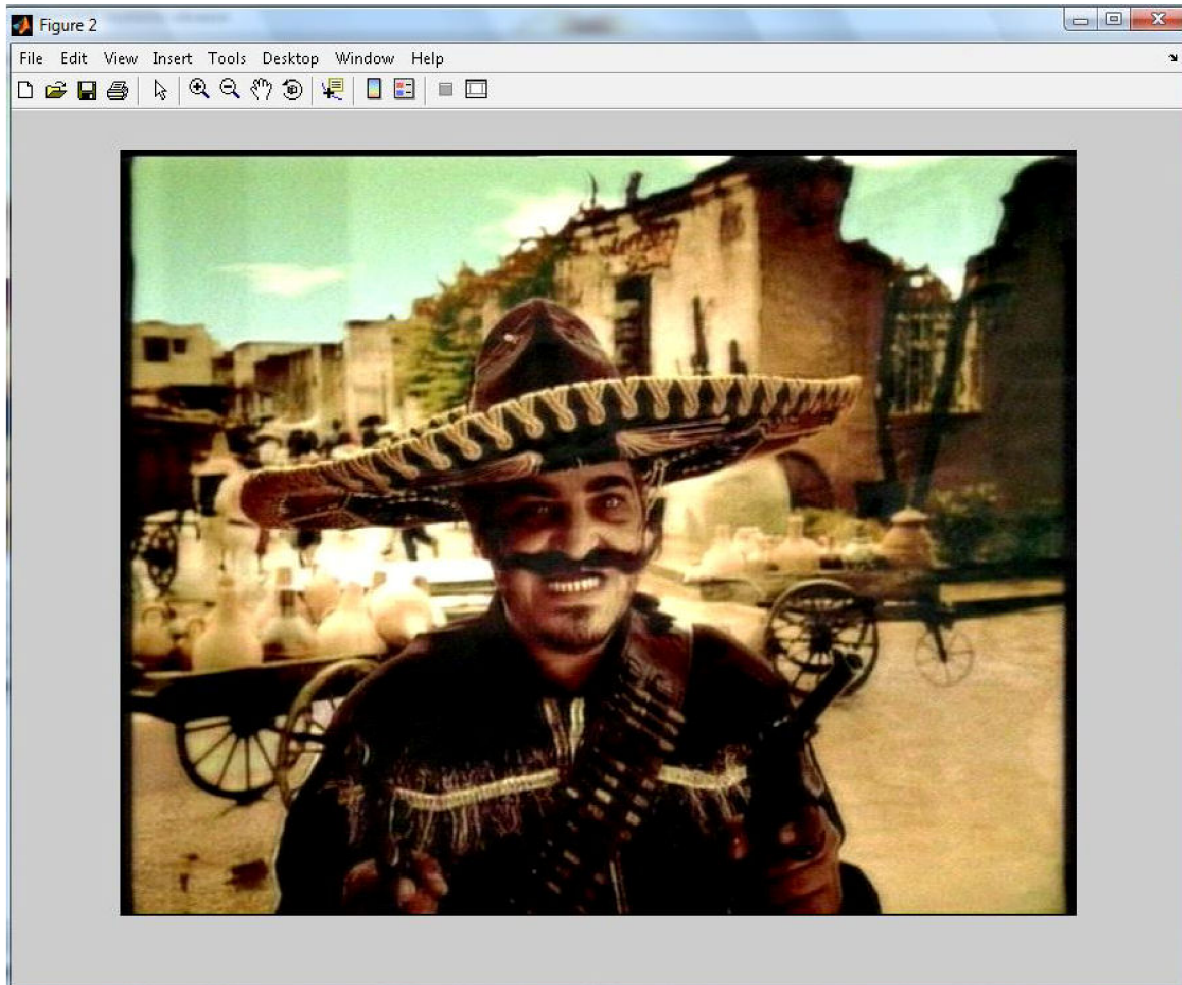
	CHYBY					POMERY		ODCHÝLYKY A KORELÁCIA A OBSAH				PRIEST. FREKV. A AKTIVITA	
	MSE:	MAE:	NMSE:	NRMSE:	NAE:	SNR:	PSNR:	AD:	MD:	NK:	SC:	SFM:	SAM:
V:	10.4263	2.4606	0.001912	0.025297	0.023633	27.185	37.9495	0.36391	20.031	0.99431	1.0109	22.351	1230.7299
Cb:	13.471	2.423	0.074294	0.032957	0.021918	11.2905	36.8369	-0.12248	48.769	1.0007	1.0109	4.6294	9822.964
Cr:	9.0528	2.1784	0.049495	0.020592	0.014958	13.0543	38.5628	0.30248	33.497	0.9976	1.0109	4.9305	9864.9794
VP1:	10.9835	2.3533	0.0419	0.026282	0.02017	17.1766	37.783	0.1813	34.099	0.99752	1.0109	10.837	5906.2245
VP2:	10.5935	2.4284	0.013909	0.025592	0.022594	24.1825	37.8998	0.30913	24.2514	0.99528	1.0109	18.8368	2833.3783

Hodnoty metrick pre celú sekvenciu:

	CHYBY					POMERY		ODCHÝLYKY A KORELÁCIA A OBSAH				PRIEST. FREKV. A AKTIVITA	
	MSE:	MAE:	NMSE:	NRMSE:	NAE:	SNR:	PSNR:	AD:	MD:	NK:	SC:	SFM:	SAM:
V:	11.7635	2.5928	0.0024808	0.025597	0.023405	26.5044	37.7101	0.47132	20.7825	0.99448	1.0105	19.2588	2041.7791
Cb:	13.6801	2.4691	0.087149	0.033437	0.022658	10.7808	36.9245	-0.12975	44.8406	1.0007	1.0105	4.2222	7968.2744
Cr:	9.7583	2.137	0.060047	0.019511	0.014296	12.428	38.8199	0.32705	29.7971	0.99753	1.0105	4.4324	3582.0086
VP1:	11.4005	2.3993	0.049886	0.026215	0.02012	16.5711	37.8182	0.22287	31.8067	0.99755	1.0105	9.3038	7964.0181
VP2:	11.6547	2.5347	0.016888	0.025782	0.022419	23.5244	37.7425	0.39679	24.0896	0.9954	1.0105	16.2709	3788.4508

Obr. 9 Príklad použitia aplikácie v Matlabe

Obr. 10 potom ukazuje, čo sa stane po stlačení tlačítka „Zobraz“. Práve zobrazený snímok danej sekvencie je zobrazený v jeho originálnej veľkosti.



Obr. 10 Zobrazenie snímku v originálnej veľkosti

7 Výsledky hodnotenia

Všetky moje testovacie sekvencie boli podrobené výpočtu metrík pre objektívne hodnotenie vzájomných rozdielov obrazov referenčnej a hodnotenej sekvencie pomocou mnou vytvorenej aplikácie v Matlabe. Výsledné hodnoty boli v programe MS Excell spracované graficky a grafy boli podrobne popísané slovne.

Prvá sada grafov popisuje závislosť hodnôt metrík po poradí pre jednotlivé videosekvencie cez jednotlivé komprimačné algoritmi a to jak pre vážený priemer 1 (VP1) tak pre vážený priemer 2 (VP2). Táto sada pozostáva z 5x12 grafov plus rovnaký počet slovných popisov grafov.

- Vážený priemer 1

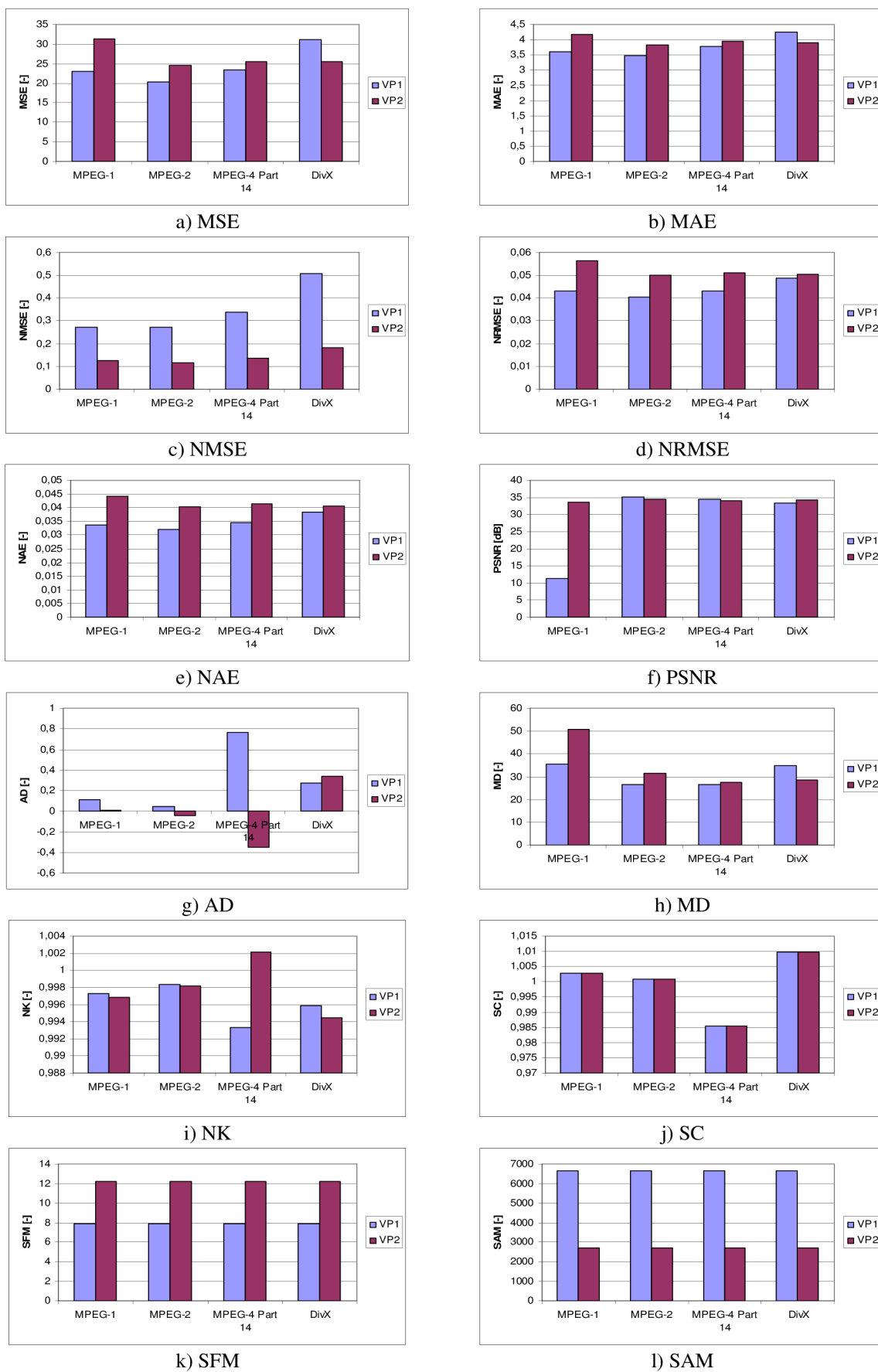
$$VP1 = \frac{Y + C_b + C_r}{3} \quad (7.1)$$

pričom Y je jasový signál, C_b je chrominančný signál modrý a C_r je chrominančný signál červený

- Vážený priemer 2

$$VP2 = 0,8 \cdot Y + 0,1 \cdot C_b + 0,1 \cdot C_r \quad (7.2)$$

Druhá sada grafov popisuje závislosť hodnôt metrík po poradí pre jednotlivé komprimačné algoritmi cez jednotlivé videosekvencie (pre VP2). To znamená, že obsahuje 4x12 grafov a rovnaký počet ich slovných popisov.



Graf 1 Metriky pre sekvenciu „príroda“ cez jednotlivé komprimačné algoritmi

Videosekvencia príroda

Chyba MSE je pre VP1 najväčšia u štandardu DivX (cca 31), pre VP2 u MPEG-1 (cca 32), najmenšia je u MPEG-2 (VP1 cca 21, VP2 cca 24,5).

Chyba MAE je takmer rovnaká u všetkých štandardov, ale predsa len je najmenšia u MPEG-2 (VP1 cca 3,5, VP2 cca 3,8) a najväčšia u DivX (VP1 cca 4,25) a MPEG-1 (VP2 cca 4,2).

Chyba NMSE je rovnaká u MPEG-1 a MPEG-2 a je u nich najnižšia (VP1 cca 0,28, VP2 cca 0,12), najvyššia je u DivX (VP1 cca 0,51, VP2 0,18).

Chyba NRMSE je najhoršia u MPEG-1 (VP2 cca 0,057) a DivX (VP1 cca 0,049) a najlepšia je u MPEG-2 (VP1 cca 0,041, VP2 cca 0,05).

Chyba NAE je podobne ako NRMSE najhoršia u MPEG-1 (VP2 cca 0,044) a DivX (VP1 0,0357) a najlepšia je u MPEG-2 (VP1 cca 0,032, VP2 cca 0,04).

Pomer PSNR je veľmi podobný u MPEG-2, MPEG-4 Part 14 a DivX, ale predsa len najlepší je u MPEG-2 (VP1 cca 35,5 dB, VP 2 35 dB) a jednoznačne najhorší je u MPEG-1 (VP1 cca 11 dB).

Odchýlka AD je najlepšia u MPEG-2 (VP1 cca 0,05) a MPEG-1 (VP2 cca 0,01) a najhoršia u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 0,78, VP2 cca -0,38).

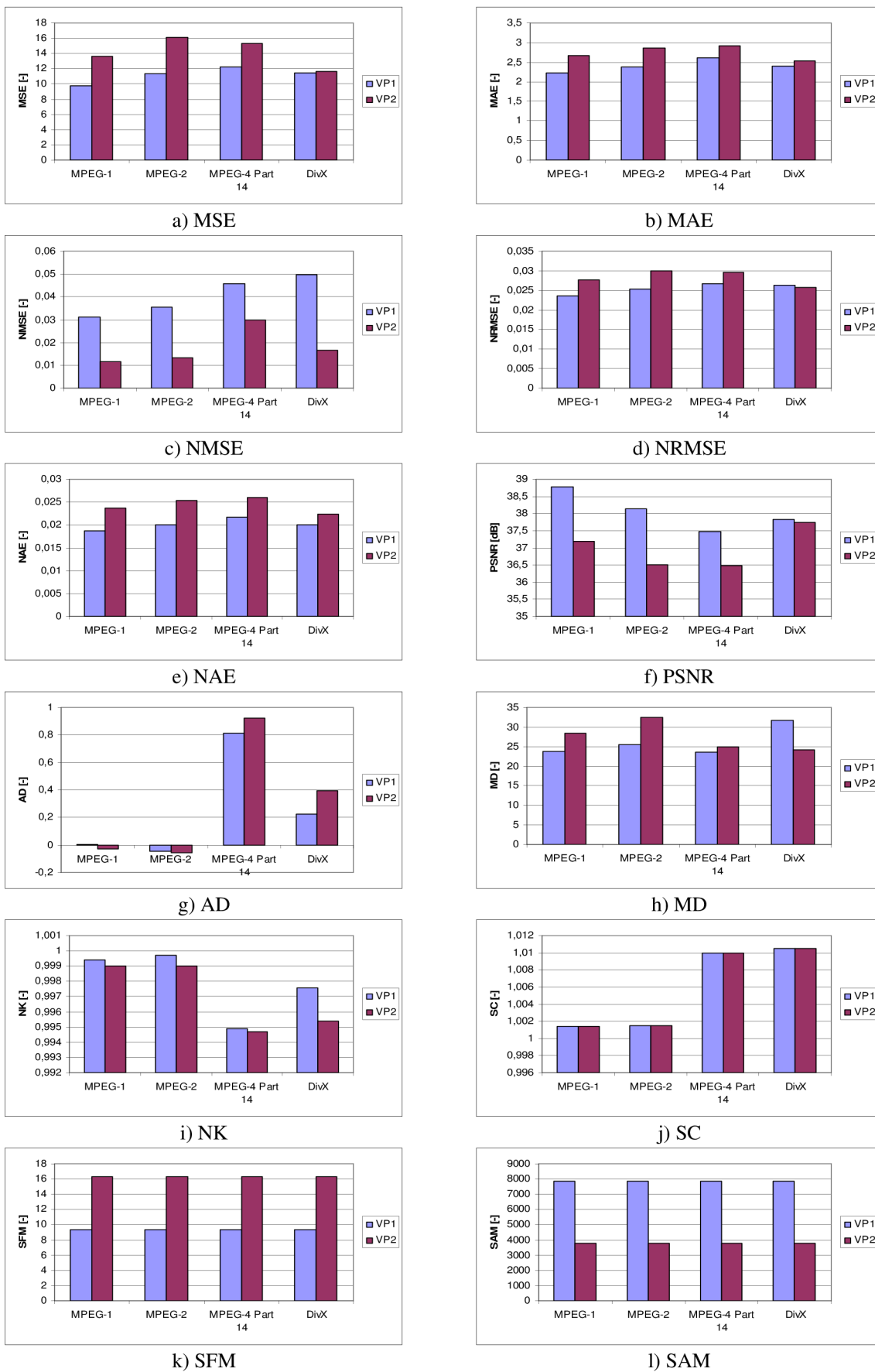
Odchýlka MD je najlepšia u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 27, VP2 cca 28) a jednoznačne najhoršia u MPEG-1 (VP1 cca 35, VP2 cca 51).

Korelácia NK dosahuje najnižších hodnôt u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 0,993) a štandardu DivX (VP2 cca 0,9942) a najvyšších u MPEG-4 Part 14 (VP2 cca 1,0022) a MPEG-2 (VP1 cca 0,9982).

Obsah SC je jednoznačne najnižší u MPEG-4 Part 14 (VP1 aj VP2 cca 0,985) a jednoznačne najvyšší u DivX (VP1 aj VP2 1,01).

Priestorová frekvencia SFM je rovnaká pre všetky komprimačné algoritmi (VP1 8, VP2 cca 12,2).

Priestorová aktivita SAM je tiež rovnaká pre všetky komprimačné algoritmi (VP1 cca 6600, VP2 cca 2800).



Graf 2 Metriky pre sekvenciu „reklama“ cez jednotlivé komprimačné algoritmi

Videosekvencia reklama

Chyba MSE je najlepšia u MPEG-1 (VP1 cca 9,9) a DivX (VP2 cca 11,3) a najhoršia je u MPEG-4 Part 14 (VP1 12,2) a MPEG-2 (VP2 cca 16,2).

Chyba MAE je znova najlepšia u MPEG-1 (VP1 cca 2,2) a DivX (VP2 cca 2,55), ale najhoršia je u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 2,6 a VP2 cca 2,9).

Chyba NMSE je najlepšia u MPEG-1 (VP1 cca 0,031, VP2 cca 0,011) a najhoršia u MPEG-4 Part 14 (VP2 0,03) a DivX (VP1 0,05).

Chyba NRMSE je najlepšia u MPEG-1 (VP1 cca 0,024) a DivX (VP2 cca 0,026) a najhoršia u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 0,027, VP2 0,03).

Chyba NAE je najlepšia u MPEG-1 (VP1 cca 0,018) a DivX (VP2 cca 0,022) a najhoršia u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 0,022, VP2 cca 0,026).

Pomer PSNR je najvyšší u MPEG-1 (VP1 cca 38,7 dB) a DivX (VP2 cca 37,7 dB) a najnižší u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 37,5 dB a VP2 cca 36,5 dB).

Odchýlka AD je jednoznačne najlepšia u MPEG-1 (VP1 cca 0,01, VP2 -0,02) a jednoznačne najhoršia u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 0,81, VP2 cca 0,9).

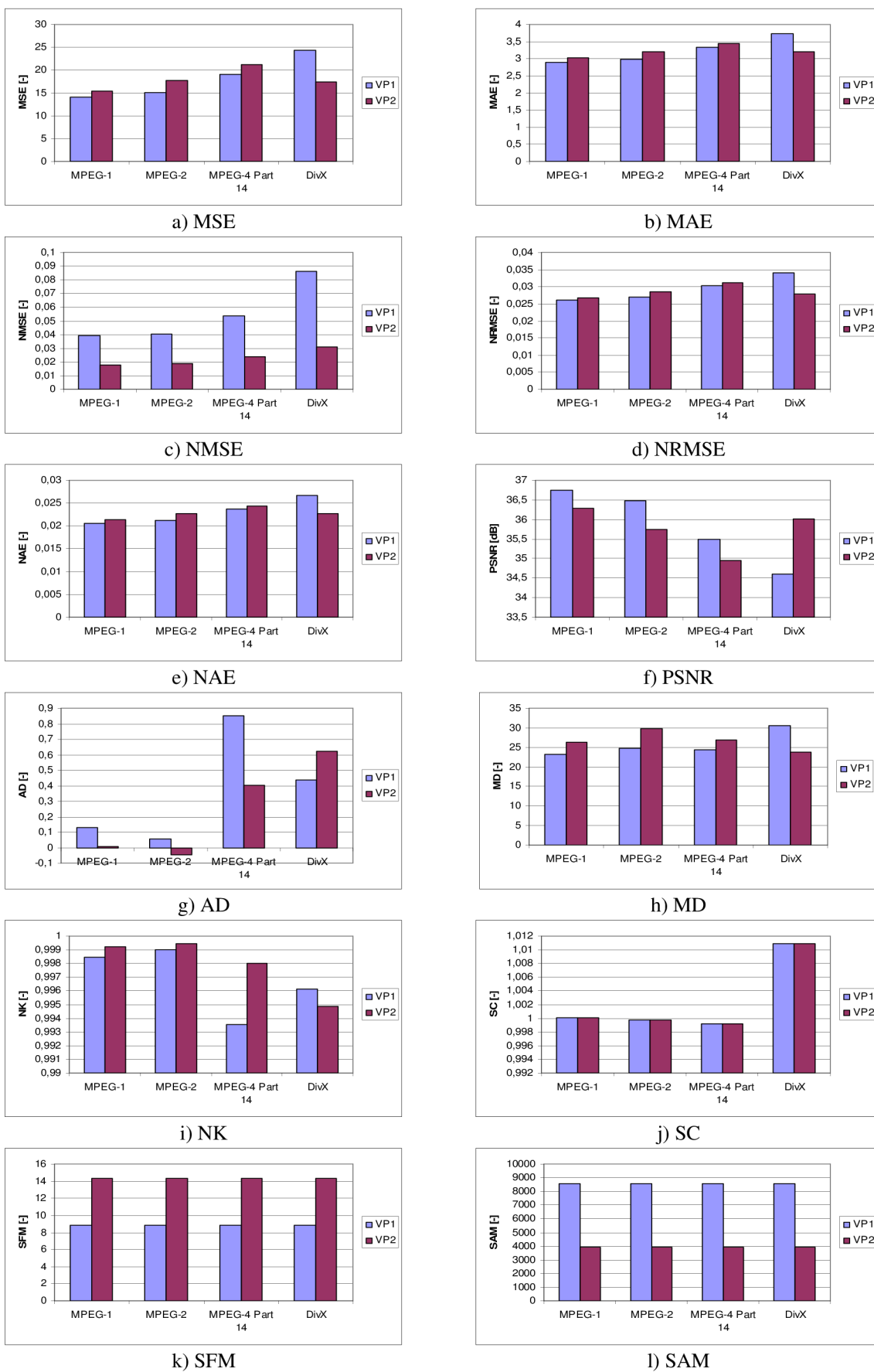
Odchýlka MD je naopak u MPEG-4 Part 14 najlepšia (VP1 cca 24, VP2 cca 25) a najhoršia je u DivX (VP1 cca 32) a MPEG-2 (VP2 cca 33).

Korelácia NK dosahuje najvyššie hodnoty u MPEG-2 (VP1 cca 1, VP2 cca 0,999) a jednoznačne najnižšie hodnoty u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 0,995, VP2 cca 0,9948).

Obsah SC má najvyššie hodnoty u DivX (VP1 aj VP2 cca 1,0105) a najnižšie u MPEG-1 a MPEG-2 (VP1 aj VP2 cca 1,001).

Priestorová frekvencia SFM je rovnaká pre všetky komprimačné algoritmi (VP1 cca 9,3 a VP2 cca 16,3).

Priestorová aktivita SAM je tiež rovnaká pre všetky komprimačné algoritmi (VP1 cca 7900 a VP2 cca 3800).



Graf 3 Metriky pre sekvenciu „rozprávka“ cez jednotlivé komprimačné algoritmi

Videosekvencia rozprávka

Chyba MSE je najlepšia u MPEG-1 (VP1 cca 14, VP2 cca 16) a najhoršia u MPEG-4 Part 14 (VP2 cca 21) a DivX (VP1 cca 24).

Chyba MAE je podobne ako MSE najlepšia u MPEG-1 (VP1 cca 2,59, VP2 cca 3) a najhoršia u MPEG-4 Part 14 (VP2 cca 3,5) a DivX (VP1 cca 3,7).

Chyba NMSE je najlepšia u MPEG-1 (VP1 cca 0,04, VP2 cca 0,018) a jednoznačne najhoršia u štandardu DivX (VP1 cca 0,087, VP2 cca 0,031).

Chyba NRMSE je opäť najlepšia u MPEG-1 (VP1 cca 0,0255, VP2 cca 0,026) a najhoršia u MPEG-4 Part 14 (VP2 cca 0,031) a DivX (VP1 cca 0,034).

Chyba NAE je podobne ako NRMSE najlepšia u MPEG-1 (VP1 cca 0,021, VP2 cca 0,022) a najhoršia u MPEG-4 Part 14 (VP2 cca 0,024) a DivX (VP1 0,027).

Pomer PSNR je znova najlepší u MPEG-1 (VP1 cca 36,7 dB, VP2 cca 36,3 dB) a najhorší u MPEG-4 Part 14 (VP2 cca 34,9 dB) a DivX (VP1 34,6 dB).

Odchýlka AD je najmenšia u MPEG-2 (VP1 cca 0,06) a MPEG-1 (VP2 cca 0,01) a najväčšia u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 0,85) a DivX (VP2 cca 0,62).

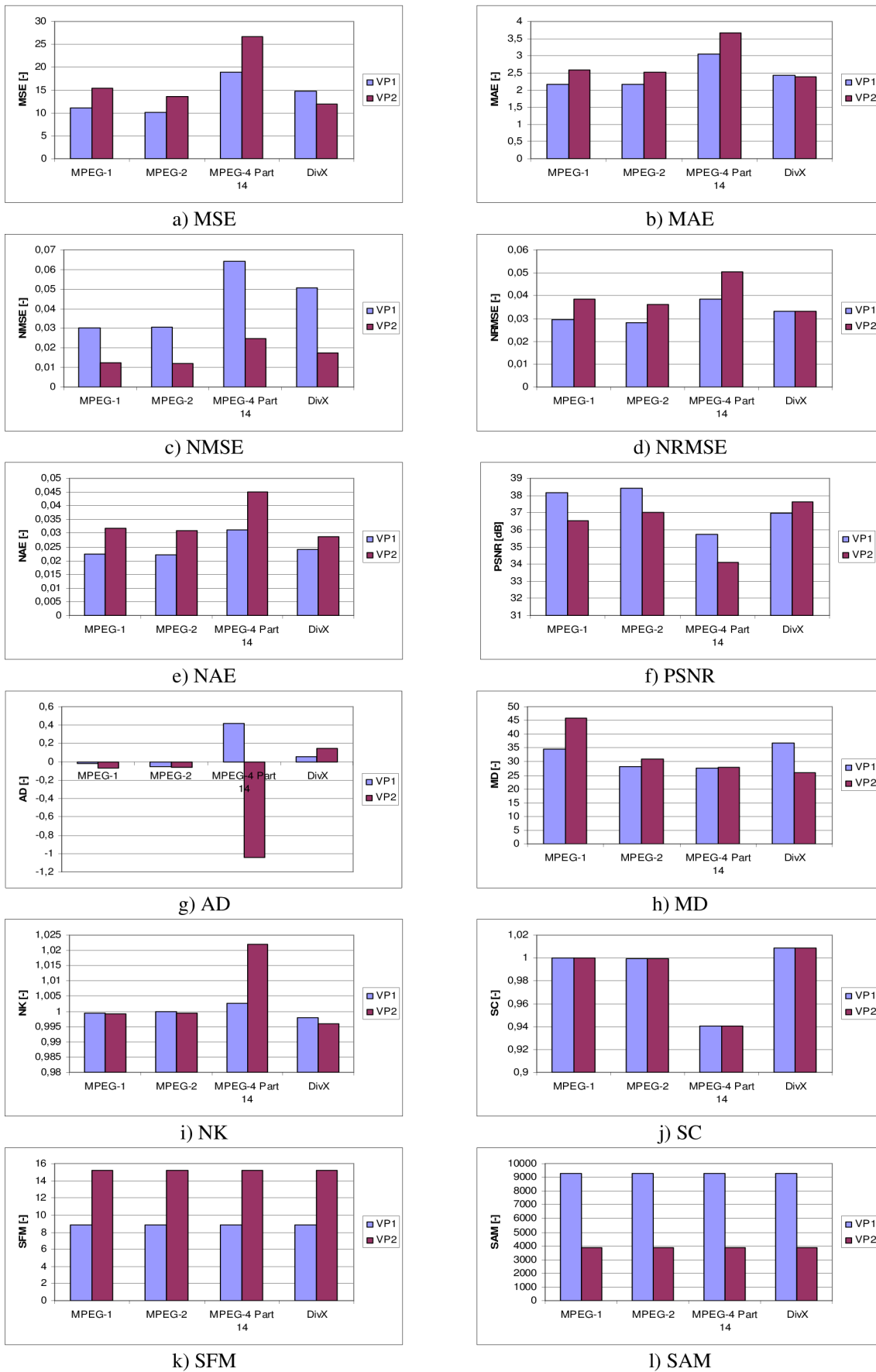
Odchýlka MD je najlepšia u MPEG-1 (VP1 cca 23) a DivX (VP2 cca 24) a na najhoršia je u MPEG-2 (VP1 25, VP2 30).

Korelácia NK nadobúda najnižších hodnôt u MPEG-4 Part 14 (VP1 0,9935) a DivX (VP2 0,9949) a najvyšších hodnôt u MPEG-2 (VP1 0,999 a VP2 cca 0,9995).

Obsah SC je najnižší u MPEG-4 Part 14 (VP1 aj VP2 0,999) a jednoznačne najvyšší u štandardu DivX (VP1 aj VP2 1,011).

Priestorová frekvencia SFM je rovnaká pre všetky komprimačné algoritmi (VP1 cca 8,8, VP2 cca 14,2).

Priestorová aktivita SAM je tiež rovnaká pre všetky komprimačné algoritmi (VP1 cca 8600, VP2 4000).



Graf 4 Metriky pre sekvenciu „šport“ cez jednotlivé komprimačné algoritmi

Videosekvencia šport

Chyba MSE je najnižšia u MPEG-2 (VP1 cca 10) a DivX (VP2 cca 12) a jednoznačne najvyššia u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 19, VP2 cca 26,5).

Chyba MAE je znova najnižšia u MPEG-2 (VP1 cca 2,2) a DivX (VP2 cca 2,4) a jednoznačne najvyššia u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 3,1, VP2 cca 3,65).

Chyba NMSE je najnižšia u MPEG-1 a MPEG-2 (VP1 cca 0,03, VP2 cca 0,012) a najvyššia u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 0,064, VP2 cca 0,025).

Chyba NRMSE je najnižšia u MPEG-2 (VP1 cca 0,029) a DivX (VP2 cca 0,032) a najvyššia u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 0,039 a VP2 cca 0,051).

Chyba NAE je najnižšia u MPEG-2 (VP1 cca 0,022) a DivX (VP2 cca 0,028) a jednoznačne najvyššia u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 0,031 a VP2 0,045).

Pomer PSNR je najlepší u MPEG-2 (VP1 cca 38,5 dB) a DivX (VP2 cca 37,7 dB) a najhorší u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 35,8 dB a VP2 cca 34,1 dB).

Odchýlka AD je najmenšia u MPEG-1 (VP1 cca -0,02) a MPEG-2 (VP2 cca -0,06) a jednoznačne najväčšia u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 0,41 a VP2 cca -1,3).

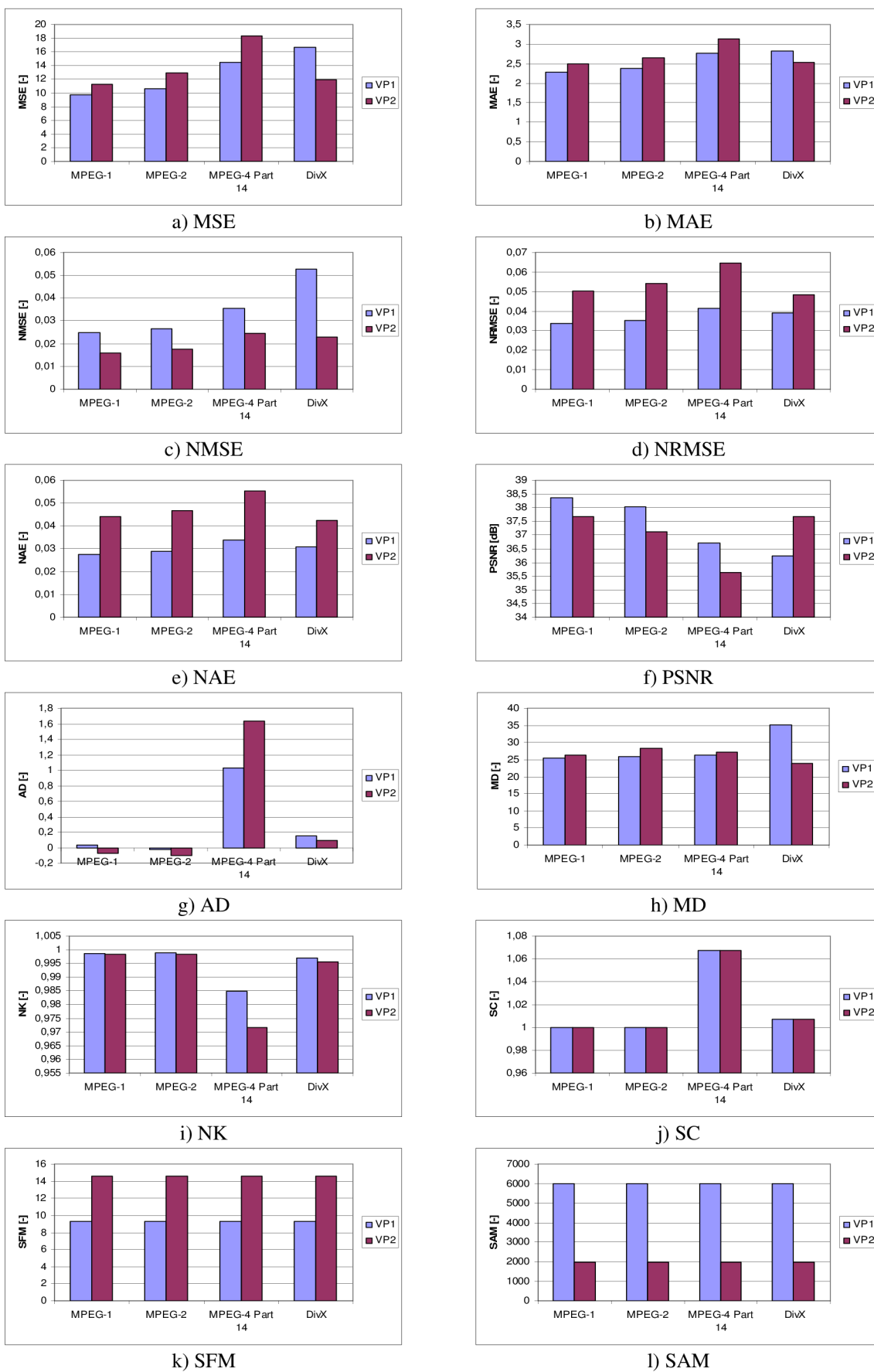
Odchýlka MD je najlepšia u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 25,5) a DivX (VP2 cca 25,2) a najhoršia u MPEG-1 (VP1 cca 34,5 a VP2 ca 46).

Korelácia NK je najnižšia u štandardu DivX (VP1 cca 0,998 a VP2 cca 0,996) a jednoznačne najvyššia u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 1,002 a VP2 cca 1,022).

Obsah SC je jednoznačne najnižší u MPEG-4 Part 14 (VP1 aj VP2 cca 0,941) a najvyšší u DivX (VP1 aj VP2 cca 1,01).

Priestorová frekvencia SFM je rovnaká pre všetky komprimačné algoritmi (VP1 cca 8,8 a VP2 cca 15,1).

Priestorová aktivita SAM je tiež rovnaká pre všetky komprimačné algoritmi (VP1 cca 9200 a VP2 cca 3900).



Graf 5 Metriky pre sekvenciu „súťaž“ cez jednotlivé komprimačné algoritmi

Videosekvencia súťaž

Chyba MSE je najnižšia u MPEG-1 (VP1 cca 9,9 a VP2 cca 11) a najvyššia u MPEG-4 Part 14 (VP2 cca 18,2) a DivX (VP1 cca 16,6).

Chyba MAE je rovnako najnižšia u MPEG-1 (VP1 cca 2,3 a VP2 2,5) a najvyššia u MPEG-4 Part 14 (VP2 cca 3,2) a DivX (VP1 cca 2,8).

Chyba NMSE je najnižšia u MPEG-1 (VP1 cca 0,025 a VP2 cca 0,025) a najvyššia u štandardu DivX (VP1 cca 0,052) a MPEG-4 Part 14 (VP2 cca 0,024).

Chyba NRMSE je najnižšia u MPEG-1 (VP1 cca 0,033) a DivX (VP2 cca 0,049) a najvyššia u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 0,041 a VP2 cca 0,065).

Chyba NAE je tiež najnižšia u MPEG-1 (VP1 cca 0,028) a DivX (VP2 cca 0,042) a najvyššia u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 0,033 a VP2 cca 0,055).

Pomer PSNR je najlepší u MPEG-1 (VP1 cca 38,4 dB a VP2 cca 37,7 dB) a najhorší u MPEG-4 Part 14 (VP2 cca 35,6 dB) a DivX (VP1 cca 36,3 dB).

Odchýlka AD je najmenšia u MPEG-1 (VP2 cca -0,07) a MPEG-2 (VP1 cca -0,01) a jednoznačne naväčšia u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 1,02 a VP2 cca 1,64).

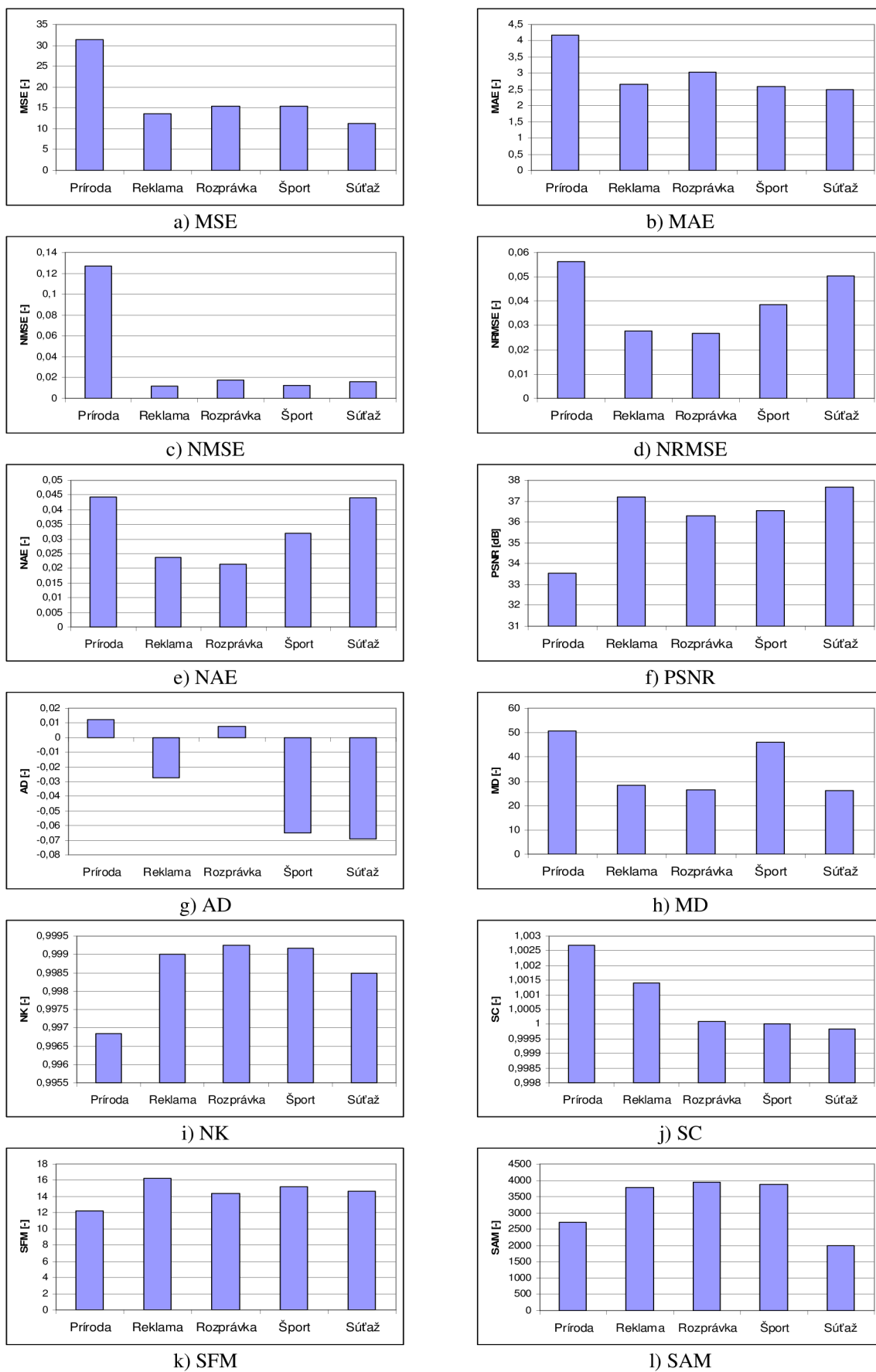
Odchýlka MD je najmenšia u MPEG-1 (VP1 cca 25,5) a DivX (VP2 cca 24) a najvyššia u štandardu DivX (VP1 cca 35) a MPEG-2 (VP2 cca 28).

Korelácia NK je najväčšia u MPEG-1 a MPEG-2 (VP1 cca 0,998 a VP2 cca 0,998) jednoznačne najmenšia u MPEG-4 Part 14 (VP1 cca 0,985 a VP2 cca 0,972).

Obsah SC je rovnako najmenší u MPEG-1 a MPEG-2 (VP1 aj VP2 1) a najväčší u MPEG-4 Part 14 (VP1 aj VP2 cca 1,068).

Priestorová frekvencia SFM je rovnaká pre všetky komprimačné algoritmi (VP1 cca 9,4 a VP2 cca 14,5).

Priestorová aktivita SAM je tiež rovnaká pre všetky komprimačné algoritmi (VP1 2000 a VP2 6000).



Graf 6 Hodnoty metrick pre MPEG-1 cez jednotlivé videosekvencie (pre VP2)

MPEG-1

Chyba MSE je jednoznačne najväčšia u sekvencie príroda (cca 31), najmenšia u sekvencie súťaž (cca 11).

Chyba MAE je znova najväčšia u sekvencii príroda (cca 4,2), najmenšia u sekvencie súťaž (cca 2,5).

Chyba NMSE je jednoznačne najväčšia u sekvencie príroda (cca 0,127), u ostatných je to veľmi podobné, ale predsa len najmenšia je u sekvencie reklama (cca 0,01).

Chyba NRMSE je najväčšia u sekvencie príroda (cca 0,056), najmenšia a u sekvencie rozprávka (cca 0,028).

Chyba NAE je opäť najväčšia u sekvencie príroda (cca 0,044), najmenšia je u sekvencie rozprávka (cca 0,021).

Pomer PSNR je najvyšší u sekvencie súťaž (cca 37,7 dB) a jednoznačne najnižší u sekvencie príroda (cca 33,5 dB).

Odchýlka AD je najnižšia u sekvencie rozprávka a najvyššia u sekvencie súťaž.

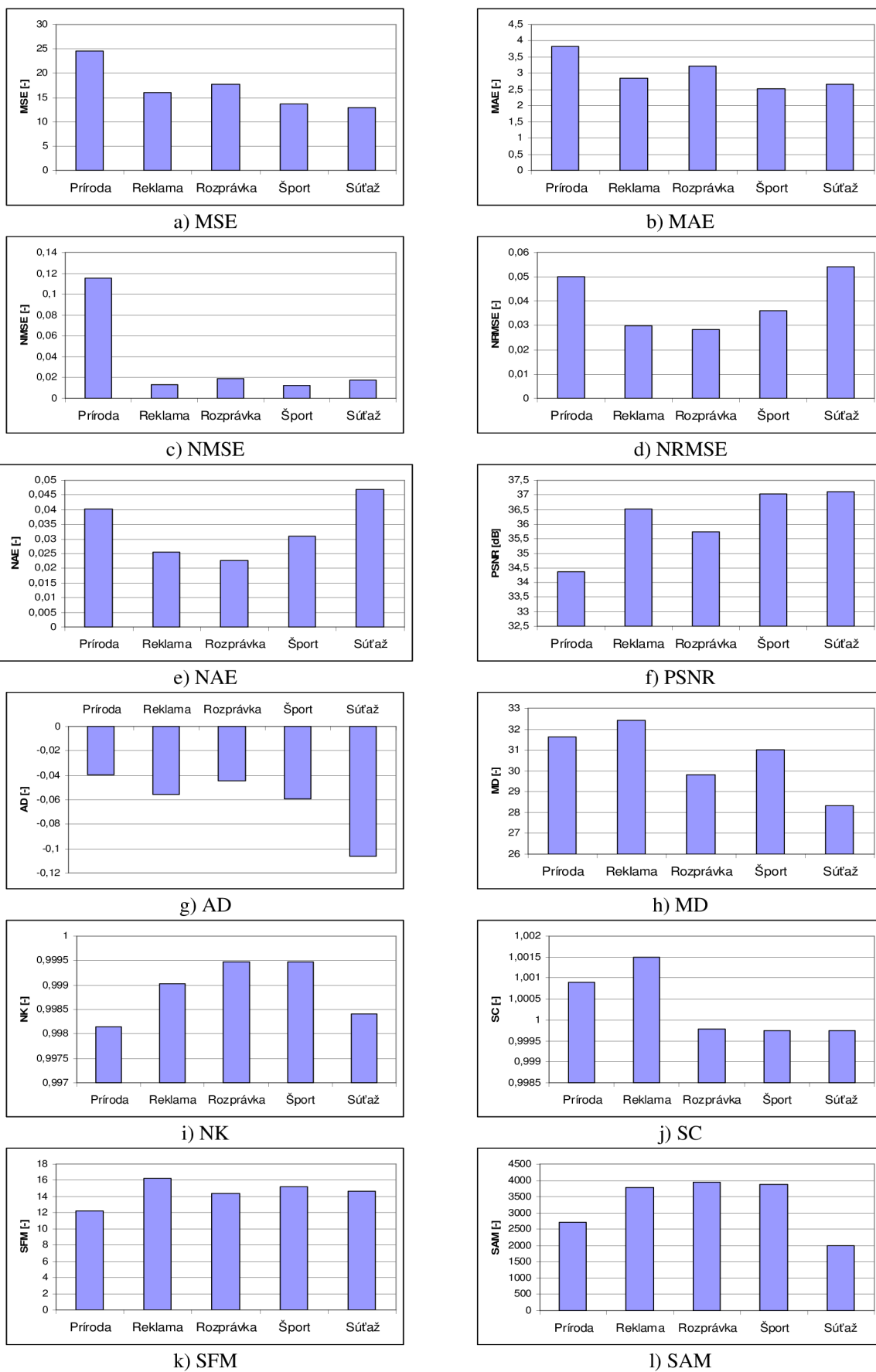
Odchýlka MD je najnižšia u sekvencie rozprávka (cca 27) a najvyššia u sekvencie príroda (cca 50).

Korelácia NK dosahuje najvyššie hodnoty u sekvencie rozprávka (cca 0,9992) a jednoznačne najnižšie u sekvencie príroda (cca 0,9968).

Obsah SC je najnižší u sekvencie súťaž (cca 0,9998) a najvyšší u sekvencie príroda (cca 1,0026).

Priestorová frekvencia SFM je najnižšia u sekvencie príroda (cca 12) a najvyššia u sekvencie reklama (cca 16).

Priestorová aktivita SAM je najnižšia u sekvencie súťaž (cca 2000) a najvyššia u sekvencie rozprávka (cca 4000).



Graf 7 Hodnoty metrick pre MPEG-2 cez jednotlivé videosekvencie (pre VP2)

MPEG-2

Chyba MSE je najväčšia u sekvencie príroda (cca 24), najmenšia u sekvencie súťaž (cca 13).

Chyba MAE je znova najväčšia u sekvencii príroda (cca 3,8), najmenšia je u sekvencie šport (cca 2,5).

Chyba NMSE je jednoznačne najväčšia u sekvencie príroda (cca 0,18), u ostatných je to veľmi podobné, ale predsa len najmenšia je u sekvencie reklama a šport (cca 0,01).

Chyba NRMSE je najväčšia u sekvencie súťaž (cca 0,053), najmenšia a u sekvencie rozprávka (cca 0,028).

Chyba NAE je opäť najväčšia u sekvencie súťaž (cca 0,046), najmenšia je u sekvencie rozprávka (cca 0,023).

Pomer PSNR je najvyšší u sekvencie súťaž (cca 37,1 dB) a jednoznačne najnižší u sekvencie príroda (cca 34,4 dB).

Odchýlka AD je najnižšia u sekvencie príroda (cca -0,04) a najvyššia u sekvencie súťaž (cca -0,12).

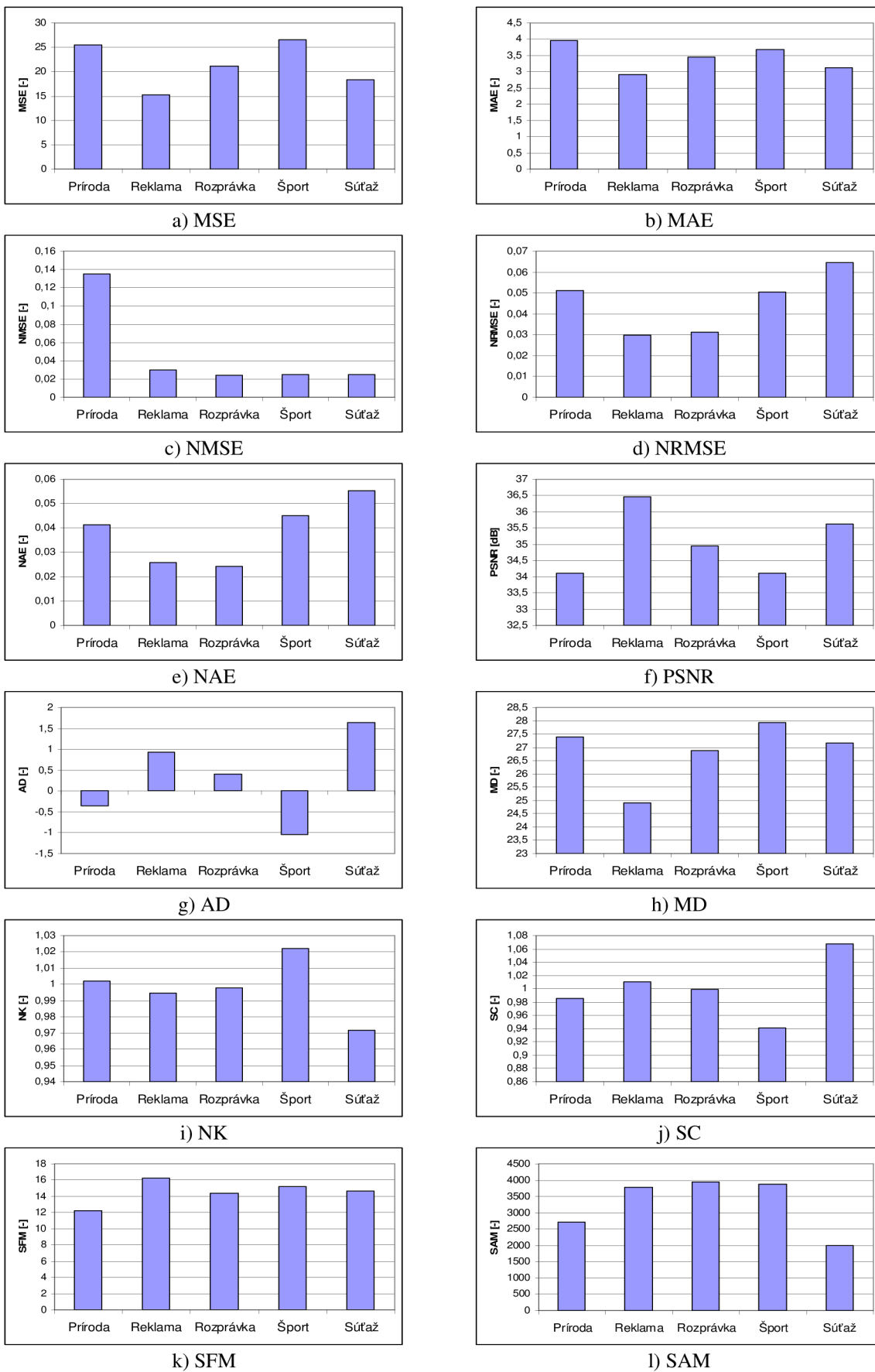
Odchýlka MD je najnižšia u sekvencie súťaž (cca 28,3) a najvyššia u sekvencie reklama (cca 32,4).

Korelácia NK dosahuje najvyššie hodnoty u sekvencií rozprávka a šport (cca 0,9994) a najnižšie u sekvencie príroda (cca 0,9982).

Obsah SC je najnižší u sekvencie súťaž (cca 0,9997) a najvyšší u sekvencie reklama (cca 1,0015).

Priestorová frekvencia SFM je najnižšia u sekvencie príroda (cca 12) a najvyššia u sekvencie reklama (cca 16).

Priestorová aktivita SAM je najnižšia u sekvencie súťaž (cca 2000) a najvyššia u sekvencie rozprávka (cca 4000).



Graf 8 Hodnoty metrik pre MPEG-4 Part 14 cez jednotlivé videosekvencie (pre VP2)

MPEG-4 Part 14

Chyba MSE je najväčšia u sekvencie šport (cca 26), najmenšia u sekvencie reklama (cca 15).

Chyba MAE je najväčšia u sekvencii príroda (cca 3,9), najmenšia je u sekvencie reklama (cca 2,9).

Chyba NMSE je jednoznačne najväčšia u sekvencie príroda (cca 0,135), u ostatných je to veľmi podobné, ale predsa len najmenšia je u sekvencie rozprávka (cca 0,022).

Chyba NRMSE je najväčšia u sekvencie súťaž (cca 0,064), najmenšia a u sekvencie reklama (cca 0,03).

Chyba NAE je opäť najväčšia u sekvencie súťaž (cca 0,055), najmenšia je u sekvencie rozprávka (cca 0,024).

Pomer PSNR je najvyšší u sekvencie reklama (cca 36,4 dB) a najnižší u sekvencie príroda (cca 34,1 dB).

Odchýlka AD je najnižšia u sekvencie príroda (cca -0,04) a najvyššia u sekvencie súťaž (cca 1,6).

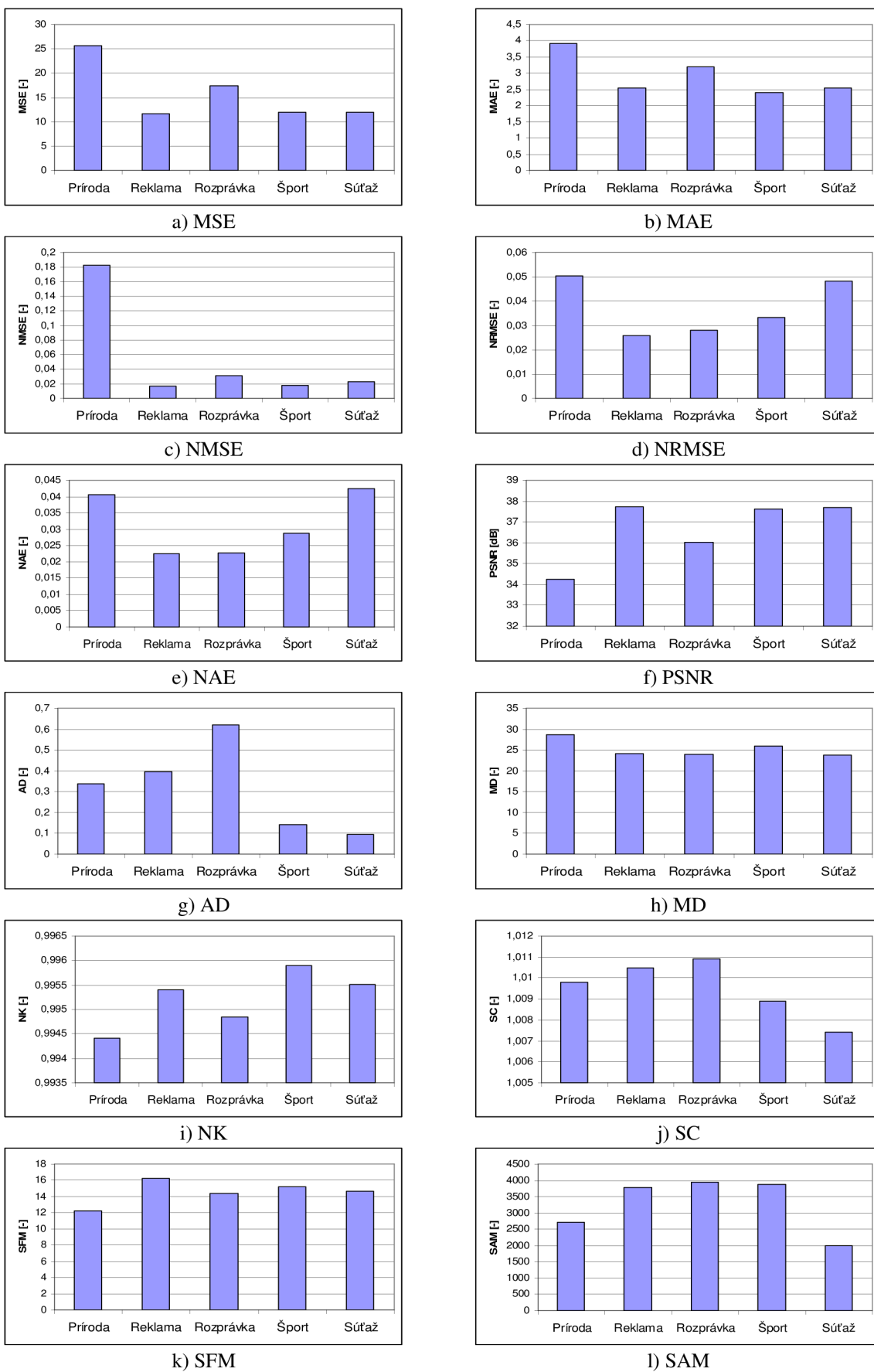
Odchýlka MD je najnižšia u sekvencie reklama (cca 24,9) a najvyššia u sekvencie šport (cca 27,9).

Korelácia NK dosahuje najvyššie hodnoty u sekvencie šport (cca 1,022) a najnižšie u sekvencie súťaž (cca 0,971).

Obsah SC je najnižší u sekvencie šport (cca 0,94) a najvyšší u sekvencie súťaž (cca 1,07).

Priestorová frekvencia SFM je najnižšia u sekvencie príroda (cca 12) a najvyššia u sekvencie reklama (cca 16).

Priestorová aktivita SAM je najnižšia u sekvencie súťaž (cca 2000) a najvyššia u sekvencie rozprávka (cca 4000).



Graf 9 Hodnoty metrick pre DivX cez jednotlivé videosekvencie (pre VP2)

DivX

Chyba MSE je najväčšia u sekvencie príroda (cca 26), najmenšia u sekvencie reklama (cca 12).

Chyba MAE je najväčšia u sekvencii príroda (cca 3,9), najmenšia je u sekvencie šport (cca 2,4).

Chyba NMSE je jednoznačne najväčšia u sekvencie príroda (cca 0,182), u ostatných je to veľmi podobné, ale predsa len najmenšia je u sekvencie reklama (cca 0,018).

Chyba NRMSE je najväčšia u sekvencie príroda (cca 0,5), najmenšia a u sekvencie reklama (cca 0,027).

Chyba NAE je najväčšia u sekvencie súťaž (cca 0,043), najmenšia je u sekvencie reklama (cca 0,022).

Pomer PSNR je najvyšší u sekvencie reklama (cca 37,8 dB) a najnižší u sekvencie príroda (cca 34,2 dB).

Odchýlka AD je najnižšia u sekvencie súťaž (cca 0,09) a najvyššia u sekvencie rozprávka (cca 0,61).

Odchýlka MD je najnižšia u sekvencie súťaž (cca 24) a najvyššia u sekvencie príroda (cca 28).

Korelácia NK dosahuje najvyššie hodnoty u sekvencie šport (cca 0,9958) a najnižšie u sekvencie príroda (cca 0,9944).

Obsah SC je najnižší u sekvencie súťaž (cca 1,073) a najvyšší u sekvencie rozprávka (cca 1,011).

Priestorová frekvencia SFM je najnižšia u sekvencie príroda (cca 12) a najvyššia u sekvencie reklama (cca 16).

Priestorová aktivita SAM je najnižšia u sekvencie súťaž (cca 2000) a najvyššia u sekvencie rozprávka (cca 4000).

8 Zhrnutie výsledkov

Z výsledkov hodnotenia vyplýva, že pre videosekvenciu **príroda** bol najvhodnejší kompresný algoritmus MPEG-2, pretože pri ňom boli dosiahnuté najnižšie hodnoty chýb (MSE: VP1 cca 21, VP2 cca 24,5; MAE: VP1 cca 3,5, VP2 cca 3,8; NMSE: VP1 cca 0,28, VP2 cca 0,12; NRMSE: VP1 cca 0,041, VP2 cca 0,05; NAE: VP1 cca 0,032, VP2 cca 0,04) a najväčší pomer PSNR: VP1 cca 35,5 dB, VP 2 35 dB. Naopak najhoršie tu dopadli štandardy MPEG-1 a DivX. MPEG-1 dosahoval lepšie hodnoty chýb oproti štandardu DivX, ale mal jednoznačne najhorší pomer PSNR, DivX ho mal len o niečo málo horší ako MPEG-2.

Pre videosekvenciu **reklama** vyplýva, že pre ňu je najvhodnejší komprimačný algoritmus MPEG-1 a DivX. Chyby aj špičkový pomer signálu k šumu tu dosahovali najlepších hodnôt (**pre MPEG-1** - MSE: VP1 cca 9,9; MAE: VP1 cca 2,2; NMSE: VP1 cca 0,031, VP2 cca 0,011; NRMSE: VP1 cca 0,024; NAE: VP1 cca 0,018; PSNR: VP1 cca 38,7 dB ; **pre DivX** – MSE: VP2 cca 11,3; MAE: VP2 cca 2,55; NRMSE: VP2 cca 0,026; NAE: VP2 cca 0,022; PSNR: VP2 cca 37,7 dB). Najhoršie tu obstál jednoznačne algoritmus MPEG-4 Part 14 čo sa týka chýb aj pomeru PSNR.

Videosekvencia **rozprávka** dosiahla nasledovné výsledky: najlepší bol pre ňu jednoznačne štandard MPEG-1 (MSE: VP1 cca 14, VP2 cca 16; MAE: VP1 cca 2,59, VP2 cca 3; NMSE: VP1 cca 0,04, VP2 cca 0,018; NRMSE: VP1 cca 0,0255, VP2 cca 0,026; NAE: VP1 cca 0,021, VP2 cca 0,022; PSNR: VP1 cca 36,7 dB, VP2 cca 36,3 dB), najhoršie boli MPEG-4 Part 14 a DivX, čo sa týka jak chýb tak pomeru PSNR.

Výsledky videosekvencie **šport**: najlepšie obstáli MPEG-2 a DivX (**pre MPEG-2** - MSE: VP1 cca 10; MAE: VP1 cca 2,2; NMSE: VP1 cca 0,03, VP2 cca 0,012; NRMSE: VP1 cca 0,029; NAE: VP1 cca 0,022; PSNR: VP1 cca 38,5 dB ; **pre DivX** – MSE: VP2 cca 12; MAE: VP2 cca 2,4; NRMSE: VP2 cca 0,032; NAE: VP2 cca 0,028; PSNR: VP2 cca 37,7 dB), najhoršie jednoznačne MPEG-4 Part 14.

A nakoniec videosekvencia **súťaž**. Najlepšie hodnoty dosahuje jednoznačne štandard MPEG-1 (MSE: VP1 cca 9,9 a VP2 cca 11; MAE: VP1 cca 2,3 a VP2 2,5; NMSE: VP1 cca 0,025 a VP2 cca 0,025; NRMSE: VP1 cca 0,033; NAE: VP1 cca 0,028; PSNR: VP1 cca 38,4 dB a VP2 cca 37,7 dB). Najhoršie sú tu na tom štandardy MPEG-4 Part 14 a DivX.

Čo sa týka hodnotenia pre jednotlivé komprimačné algoritmi cez jednotlivé videosekvencie (pre VP2), tak možno povedať, že u **MPEG-1** dosahovala najvyšších chýb sekvencia príroda (MSE: cca 31; MAE: cca 4,2; NMSE: cca 0,127; NRMSE: cca 0,056; NAE: cca 0,044), najnižších väčšinou reklama. Pomer PSNR bol najväčší u sekvencie súťaž (cca 37,7 dB) a najmenší u sekvencie príroda (cca 33,5 dB).

U štandardu **MPEG-2** to bolo podobné. Najväčšie chyby dosahovali sekvencie príroda (MSE: cca 24; MAE: cca 3,8; NMSE: cca 0,18) a súťaž (NRMSE: cca 0,053; NAE cca 0,046). Pomer PSNR bol znova najväčší u sekvencie súťaž (cca 37,1 dB) a znova najmenší u sekvencie príroda (cca 34,4 dB).

Výsledky pre štandard **MPEG-4 Part 14**: najväčšie chyby dosahovali sekvencie šport (MSE: cca 26), príroda (MAE: cca 3,9; NMSE: cca 0,135) a súťaž (NRMSE: cca 0,064; NAE: cca 0,055), najnižšie prevažne reklama. Pomer PSNR je najvyšší u sekvencie reklama (cca 36,4 dB) a najnižší u sekvencie príroda (cca 34,1 dB).

A nakoniec štandard **DivX**. Najväčšie chyby boli u sekvencie príroda (MSE: cca 26; MAE: cca 3,9; NMSE: cca 0,182; NRMSE: cca 0,5), najmenšie prevažne u reklamami. Pomer PSNR je najvyšší u sekvencie reklama (cca 37,8 dB) a najnižší u sekvencie príroda (cca 34,2 dB).

Záver

V tejto bakalárskej práci boli najprv podrobne popísané komprimačné algoritmi MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 Part 14 a DivX (kapitola 2). Ďalej bolo vysvetlené zachytenie testovacích videosekvencií a ich následné spracovanie, samozrejme spolu s použitým softvérom a krátkym a názorným návodom na jeho obsluhu (kapitola 3). Zachytené videosekvencie boli podrobené analýze ich technických parametrov za pomoci programu GSpot. Tieto parametre boli zapísané do prehľadných tabuliek (kapitola 4). V ďalšej kapitole bola objasnená teória hodnotenia kvality prenosu a obrazu, z ktorej bola pre túto prácu prioritná metóda objektívneho hodnotenia vzájomných rozdielov obrazov medzi referenčnou a hodnotenou sekvenciou (kapitola 5). Ďalšia kapitola sa venuje vývoju aplikácie v Matlabe, pomocou ktorej boli moje merania a výpočty uskutočnené. Obsahuje blokovú schému aplikácie, slovný popis jej funkcie a podrobný návod na jej použitie (kapitola 6). Pomocou spomenutej aplikácie boli teda uskutočnené merania na testovacích videosekvenciách a ich výsledky sú graficky spracované v kapitole 7. Okrem toho sú grafy aj slovne popísané. Všetky výsledky sú zhrnuté v kapitole 8, z ktorých vyplýva, že pre sekvenciu príroda je najvhodnejší komprimačný algoritmus MPEG-2, naopak najmenej vhodný je MPEG-1 a DivX. Pre sekvenciu reklama je najvhodnejší štandard MPEG-1 a DivX, najmenej sa hodí MPEG-4 Part 14. U sekvencie rozprávka sa najlepšie ukázal štandard MPEG-1 a najhoršie opäť MPEG-4 Part 14 a ešte aj DivX. Pre sekvenciu šport je optimálny MPEG-2 a DivX, naopak nehodí sa MPEG-4 Part 14. A nakoniec pre sekvenciu súťaž je najlepší MPEG-1 a najhorší MPEG-4 Part 14 a DivX.

Je zaujímavé, že takmer pre všetky sekvencie vyšiel ako najmenej vhodný štandard MPEG-4 Part 14. On síce dosahuje u väčšiny sekvencií najlepší kompresný pomer, ale za cenu horšej kvality obrazu. Bude teda najvhodnejší pre čo najefektívnejšie uskladňovanie videosekvencií, pri ktorých nie sú kladené tie najvyššie požiadavky na kvalitu obrazu.

Prekvapujúce bolo, že sa často ako najvhodnejší komprimačný algoritmus ukázal algoritmus MPEG-1. Myslím si, že pri komprimácii videosekvencií bol zvolený vysoký datový tok (4000 kbps) a preto je tomu tak. Ak by bol zvolený nižší datový tok, zrejme by sa prejavili rozdieli starších a novších technológií a teda by sa ukázalo, že vhodnejšie by boli štandardy MPEG-2 a DivX.

Použitá literatura

- [1] VÍT, V. Televizní technika – přenosové barevné soustavy. BEN – technická literatura, Praha, 1997. 720 s. ISBN 80-86056-04-X.
- [2] ŘÍČNÝ, V., KRATOCHVÍL, T. Základy televizní techniky. Skriptum. Brno: FEKT VUT v Brne, 2004. 178 s.
- [3] RICHARDSON, I. E. G. H264 and MPEG-4 Video Compression. Video Coding for Next-generation Multimedia. John Willey & Sons, 2002. 281 s. ISBN 0-470-84837-5.
- [4] MIKE. Kodeky tajemství zbavené. *TV Freak* [online]. 13.10.2005 [cit. dňa 10.5.2007]. Dostupné na WWW: <http://www.tvfreak.cz/art_doc-373A9DA2913B7BD3C125727C00592A37.html>. ISSN 1213-0818.
- [5] KUSNYÉR, Ladislav. *Začína éra MPEG-4 AVC / H.264* [online]. Praha. 7.1.2005 [cit. dňa 10.5.2007]. Dostupné na WWW:< <http://www.isdn.cz/clanek.php?cid=6266>>. ISSN 1213-077X.
- [6] KOMUNITA WIKIPEDIE. *MPEG-4* [online]. 18.5.2008 [cit. dňa 19.5.2008]. Dostupné na WWW:< <http://sk.wikipedia.org/wiki/MPEG-4>>.
- [7] KOMUNITA WIKIPEDIE. *MP4* [online]. 18.4.2008 [cit. dňa 19.5.2008]. Dostupné na WWW:< http://cs.wikipedia.org/wiki/MPEG-4_Part_14>.
- [8] KRATOCHVÍL, T. Analýza přenosových zkreslení číslicových obrazových signálů. PhD Thesis. Brno: Nakladatelství VUTIUM Brno, 2007. 32 s. ISBN: 978-80-214-3412-7.

Príloha

Na priložených DVD diskoch (celkom 2) sa nachádzajú všetky moje videosekvencie (originálne, komprimované aj rozkomprimované), funkčná aplikácia vytvorená v Matlabe pre objektívne hodnotenie vzájomných rozdielov obrazov (slovenská aj anglická verzia), všetky grafy, na základe ktorých vyplynuli výsledky mojej práce, testovacie snímky zo sekvencie „reklama“ (celkom 5 referenčných a 5 hodnotených) na predvedenie funkčnosti aplikácie a napokon samotný text bakalárskej práce vo formáte DOC (*Document*) aj PDF (*Portable Document Format*) a metadata.

Uvedené data sú umiestnené v nasledujúcich adresároch:

- Aplikácia v Matlabe pre objektívne hodnotenie vzájomných rozdielov obrazov (SK aj EN verzia) – [DVD ROM]:\aplikacia\
- Všetky vyhodnotené grafy – [DVD ROM]:\grafy\
- Všetky zachytené, skomprimované aj rozkomprimované videosekvencie – [DVD ROM]:\sekvencie\
- Testovacie snímky – [DVD ROM]:\testovacie_snimky\
- Text bakalárskej práce – [DVD ROM]:\text_prace\