

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice PhD Thesis, sv. 447

ISSN 1213-4198

thesis IS

Ing. Kamil Bodeček

**Kompresa obrazu
v interaktivních aplikacích
digitálního televizního vysílání**

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

Ing. Kamil Bodeček

**KOMPRESSE OBRAZU V INTERAKTIVNÍCH
APLIKACÍCH DIGITÁLNÍHO TELEVIZNÍHO VYSÍLÁNÍ**

Image compression in interactive applications
in digital video broadcasting

Zkrácená verze Ph.D. Thesis

Obor: Teleinformatika
Školitel: Prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.
Oponenti: Prof. Ing. Ivan Baroňák, CSc.
Doc. Ing. Boris Šimák, CSc.
Datum obhajoby: 11. 1. 2008

Klíčová slova

komprese obrazu, digitální televizní vysílání, JPEG, JPEG2000, H.264, filtrace obrazu

Key words

image compression, digital television broadcasting, JPEG, JPEG2000, H.264, image post-processing

Práce je k dispozici na Vědeckém oddělení děkanátu FEKT VUT v Brně, Údolní 53, Brno, 602 00.

OBSAH

1 ÚVOD.....	5
2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY	5
2.1 MPEG-2 transportní datový tok.....	5
2.2 Přenos ostatních dat pomocí DSM-CC	6
2.3 Interaktivní aplikace v sítích DVB	6
3 CÍLE PRÁCE	6
4 VYHODNOCENÍ STANDARDIZOVANÝCH OBRAZOVÝCH KOMPRESÍ V MHP APLIKACÍCH	7
5 MHP NESTANDARDIZOVANÉ KOMPRESSE OBRAZU	10
5.1 Vlnková transformace a komprese v MHP	10
5.2 Komprese H.264	11
6 METODY ZLEPŠENÍ JPEG OBRAZU POMOCÍ POST- PROCESSINGU	13
6.1 Metody pro obnovení obrazu	13
6.2 Metody zlepšující obraz.....	13
7 MOŽNOSTI OPTIMALIZACE PŘENOSU OBRAZU V OBJEKTIVÉM KARUSELU.....	19
7.1 Přenos více komprimovaných obrazů a jejich následný post- processing na set-top boxu.....	20
7.2 Problematika současného vysílání ve standardním a vysokém rozlišení	21
7.2.1 Navržený kodér kombinované metody.....	21
7.2.2 Navržený dekodér kombinované metody.....	22
7.2.3 Dosažené výsledky.....	22
8 ZÁVĚR.....	23
LITERATURA.....	26
CURRICULUM VITAE	27

1 ÚVOD

Přechod z analogového na digitální televizní vysílání (Digital Video Broadcasting – DVB) přináší možnost vyšší obrazové a zvukové kvality vysílaného videa a audia současně se zvýšením počtu televizních programů vysílaných v jednom televizním kanálu. DVB rovněž nabízí zvýšení interaktivity programu televizního vysílání zapojením diváka (uživatele) do ovlivňování vysílaného obsahu. To je sice umožněno nepřímo již dnes, např. formou diváckého telefonického hlasování, kdy se v aktuálně vysílaném video obsahu objevuje počet hlasů diváků.

Pro příjem digitálního pozemního vysílání je zapotřebí k analogovému televizoru připojit tzv. set-top box (STB), který se stará o konverzi digitálního vysílání na analogové, nebo užít tzv. digitální televizor (Digital Television – DTV), což je televizní přijímač s integrovaným DVB tunerem.

Vzhledem k povaze digitálního vysílání lze divákům distribuovat nejen audiovizuální obsah jednotlivých televizních programů, ale také libovolná ostatní data. Jednou z nových možností vysílaných dat jsou interaktivní aplikace. To jsou aplikace, které mohou být přidruženy k aktuálně vysílanému obsahu a také jej ovlivňovat, např. již zmíněné divácké hlasování, nebo jej přímo neovlivňovat, ale jen poskytovat divákům doplňkové informace např. při sportovním přenosu, kdy divákovi mohou být pomocí této aplikace zobrazovány nejrůznější statistiky hráčů, zajímavé momenty utkání apod. Další skupinu tvoří na vysílaném obsahu nezávislé aplikace, jde o různé komunikační programy (elektronická pošta, psaní textových zpráv, atd.), informační služby (předpověď počasí, dopravní informace, zpravodajství, atd.) až třeba interaktivní hry a znalostní kvízy.

Některé z těchto interaktivních služeb využívají v hojné míře obrázky, jako např. pozadí, ikony, tlačítka, informativní kresby a fotografie a další. Tyto obrazy jsou přenášeny k uživatelům komprimovaně (bezeztrátově nebo ztrátově) za účelem snížení jejich datové velikosti a tedy i zefektivnění využití dostupné vysílací přenosové kapacity v sítích DVB.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY

Audiovizuální i datový obsah vysílaný v DVB je přenášen k uživateli jako jeden multiplexovaný datový tok zvaný transportní datový tok (Transport Stream – TS). Přenosové rychlosti TS se liší v závislosti na použité modulaci a typu přenosového média. Pro pozemní DVB (Digital Video Broadcasting-Terrestrial – DVB-T) se přenosová rychlost TS pohybuje v rozmezí 20 až 25 Mb/s.

2.1 MPEG-2 TRANSPORTNÍ DATOVÝ TOK

Základem přenosu audiovizuálních i ostatních dat v sítích DVB je vysílací transportní datový tok. Je definován ve standardu MPEG-2 – Systems a popisuje, jak jsou audio, video a data sloučena v jeden TS. Nad vrstvou TS jsou pakety elementárního datového toku (Packetized Elementary Stream – PES) pro přenos zejména časově kritických audiovizuálních dat, tj. pakety MPEG Video a MPEG

Audio spolu s teletextovými informacemi DVB Teletext. Časově nekritická data lze přenášet pomocí tzv. datového a objektového karuselu tzv. příkazů a řízení digitálního paměťového media (Digital Storage Media Command and Control – DSM-CC).

2.2 PŘENOS OSTATNÍCH DAT POMOCÍ DSM-CC

DSM-CC pokrývá síťový a zdrojový management, správu interaktivních služeb, dat a aplikací a objektový karusel pro vysílané aplikace. V DVB jsou interaktivní aplikace a jejich data vysílány s použitím DSM-CC vysílacího systému. Protože vysílací systém je jednosměrný, klient nemůže sdělit vysílacímu systému, která data požaduje. Proto jsou data a aplikace uspořádána v tzv. karuselu, tzn. data se v datových modulech cyklicky vysílají za sebou. Důsledkem je, že klient může čekat až celou jednu periodu, než je znovu vysílán požadovaný datový modul.

2.3 INTERAKTIVNÍ APLIKACE V SÍTÍCH DVB

Platforma pro domácí multimédia (Multimedia Home Platform – MHP) je otevřený standard pro interaktivní digitální televizi vyvíjený pod hlavičkou DVB konsorcia. MHP definuje obecné rozhraní mezi interaktivními aplikacemi pro DVB a terminály, na kterých se tyto aplikace spouštějí. Jmenovitě definuje tedy transportní protokol, životní cyklus aplikací, signalizační model, bezpečnostní model, formáty obsahu, referenční grafický model a platformu DVB-Java.

Standard odděluje aplikace rozdílných poskytovatelů od specifického hardware a software různých MHP terminálů. Zjednodušeně jej lze chápat jako vrstvu mezi aplikacemi a terminálem. Interaktivní aplikace pro MHP tvoří jednu skupinu ostatních dat vysílaných v rámci transportního datového toku od poskytovatele k uživateli. Protože mnoho MHP aplikací je vizuálního charakteru, hrají obrazy důležitou roli v návrhu aplikací a přenosu informací. Obrazy jsou k uživatelům cyklicky vysílány v objektovém karuselu s velmi omezenou datovou velikostí a přenosovou rychlostí. Množství obrazových dat v kontextu celkového množství dat MHP aplikace a jejich dat je velmi závislé na druhu aplikace. V těch aplikacích, ve kterých obrazové informace jsou důležité, je velikost obrazových souborů zpravidla větší než velikost samotné aplikace a např. textového obsahu. V MHP jsou standardizovány JPEG a PNG kompresní algoritmy pro obrazy. Formát GIF není normou vyžadován, ale může být podporován konkrétním výrobcem STB a middleware. Mimo tyto všeobecně známé formáty je velmi používaný tzv. MPEG-2 I-snímek.

3 CÍLE PRÁCE

Cíle práce lze rozdělit na dvě možné metody řešení jednoho problému. Základním úkolem však bude zlepšení vizuální kvality vnímaného obrazu v interaktivních aplikacích MHP digitálního televizního vysílání.

První způsob řešení je navrhnout a ověřit post-processingový filtr, který by umožňoval vizuálně zlepšit výslednou kvalitu obrazu. Nároky kladené na takovýto filtr jsou zejména dostatečné zlepšení vizuální kvality obrazu a zároveň nízká komplexnost výpočtů z důvodů potřeby provedení výpočtů filtrace v téměř reálném čase. Na tuto metodu zlepšení kvality obrazu při zachování původní komprimované datové velikosti obrazu lze pohlížet také jako na možnost zefektivnění přenosu obrazu v objektovém karuselu digitálního televizního vysílání. A to tak, že obraz je komprimován před vlastním vysíláním více, než bylo původně zamýšleno a tím je také jeho datová velikost snížena. Při stejné přenosové rychlosti objektového karuselu to pak znamená snížení času přenosu do set-top boxu.

Druhý způsob řešení spočívá v analýze současných kompresních algoritmů pro obraz a video (zejména JPEG2000 a H.264) za účelem jejich využití k efektivnější kompresi obrazů v interaktivních aplikacích MHP a následném ověření jejich vhodnosti pro daný účel.

Dalším cílem je analyzovat problematiku distribuce obrazů se stejným obsahem pro standardní a vysoké televizní rozlišení a navrhnout řešení pro zefektivnění jejich vysílání pro obě rozlišení.

Na základě faktů o způsobech komprese obrazů v interaktivních službách MHP v sítích digitálního televizního vysílání uvedených v předcházející kapitole jsou vytyčeny cíle disertační práce takto:

- Analyzovat kompresní efektivitu standardizovaných algoritmů ztrátové a bezztrátové komprese obrazu v aplikacích MHP. Zejména provést analýzu ztrátové komprese JPEG, která je vhodná pro kompresi přirozených obrazů.
- Analyzovat a ověřit možnost využití nových kompresních technik založených na vlnkové transformaci, tedy JPEG2000.
- Analyzovat a ověřit možnost využití kompresního standardu H.264 pro video za účelem komprese obrazu v interaktivních aplikacích MHP.
- Prozkoumat možnost využití algoritmů zpracování obrazu pro zlepšení objektivní i subjektivní kvality komprimovaného obrazu. Návrh a implementace post-processingových filtrů pro redukci kompresních artefaktů a tím zvýšení vnímané kvality obrazu.
- Ověřit dosažitelné zmenšení datové velikosti obrazů pro interaktivní aplikace MHP vysílaných v objektovém karuselu DVB spolu s následným zlepšením vizuální kvality na MHP set-top boxu.
- Prozkoumat a navrhnout řešení problematiky přechodu digitálního televizního vysílání ve standardním prostorovém rozlišení k vysokému prostorovému rozlišení z hlediska distribuce obrazů pro interaktivní aplikace MHP.

4 VYHODNOCENÍ STANDARDIZOVANÝCH OBRAZOVÝCH KOMPRESÍ V MHP APLIKACÍCH

Vyhodnocování vizuální kvality se provádí objektivně a subjektivně. Běžná metoda pro měření objektivní obrazové kvality je střední kvadratická chyba (Mean

Squared Error – MSE). Jde o zkreslení měřené mezi původním obrazem X a dekomprimovaným (obecně zpracovaným) obrazem \hat{X} a je definováno vztahem

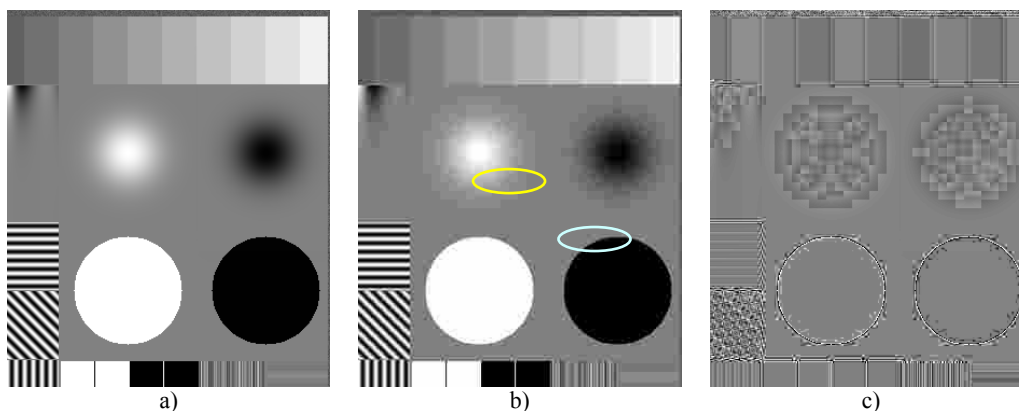
$$\text{MSE}(X, \hat{X}) = \frac{1}{N \cdot M} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} [X(i, j) - \hat{X}(i, j)]^2, \quad (4-1)$$

kde N a M jsou počty řádků a sloupců obrazu a (i, j) je souřadnice obrazového bodu (pixelu). Více používanou metodou je poměr špičkového signálu ku šumu (Peak Signal to Noise Ratio – PSNR). Vyjadřuje se v decibelech (dB) a je definován

$$\text{PSNR}(X, \hat{X}) = 10 \log \left[\frac{255^2}{\text{MSE}(X, \hat{X})} \right]. \quad (4-2)$$

Objektivní hodnota PSNR jasové složky je označována Y_{PSNR} .

Vysoce komprimovaný obraz je základní součástí mnoha vizuálních komunikačních aplikací. Se snižujícím se datovým tokem komprimovaného obrazu většina kompresních algoritmů sebou přináší vznik vizuálně rušivých kompresních artefaktů. Typický obraz s kompresními algoritmy je vyobrazen na **Obr. 4.1**. Pro větší názornost byl vybrán výřez syntetického obrazu *Target* s kompresním poměrem 0,46 b/p. Jsou na něm zřetelně patrné kompresní artefakty degradující vizuální kvalitu. Žlutě je v komprimovaném obraze vyznačen blokový artefakt a modře prstencování. V **Obr. 4.1c**) je zobrazen rozdíl původního a dekomprimovaného obrazu. Nulový rozdíl je v odstínu střední šedé (tj. hodnota 128).



Obr. 4.1: JPEG komprese s komp. poměrem 0,46 b/p (výřez obrazu *Target*):
a) původní obraz, b) dekomprimovaný obraz,
c) rozdíl původního a dekomprimovaného obrazu (rozdíly 3x zvýrazněny).

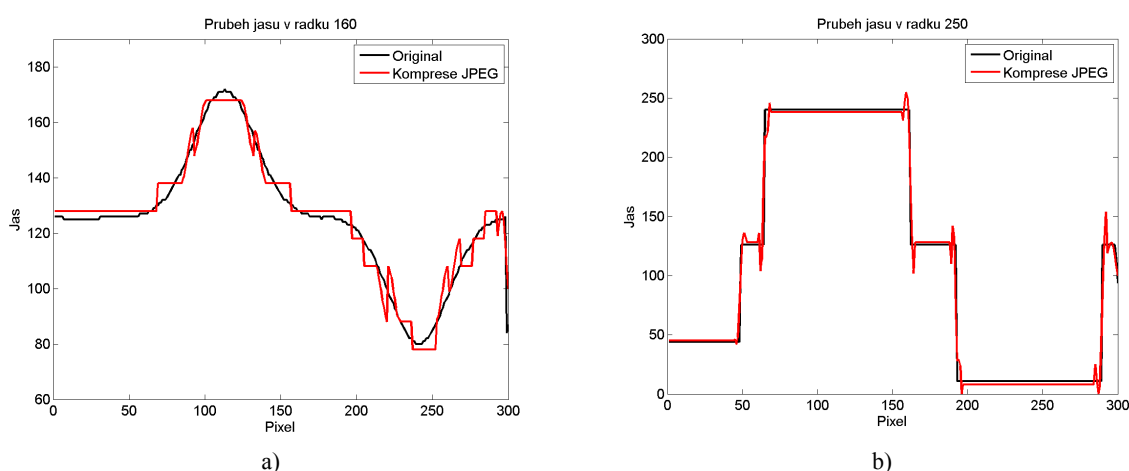
Obrazy s více detaily degradují více, než ty s méně detaily při stejném kompresním poměru. V ztrátové kompresi obrazu jde vždy o kompromis mezi velikostí souboru a výsledným zkreslením artefakty. Přehled kompresních artefaktů je následující: Blokový efekt a artefakt prstencování.

Blokový efekt (blockiness)

Nejvíce pozorovatelný artefakt je blokový efekt. Projevuje se v JPEG obrazech a dále také v kompresích pro video MPEG-x a H.26x založených na blokové DCT. Jedná se o čtvercové bloky ostře ohraničené a jejich pozice a velikost koresponduje s bloky 8 x 8 pixelů, které jsou transformovány nezávisle pomocí DCT. Tyto hranice

bloků se stanou zřetelnými při vyšších kompresních poměrech, protože v procesu kódování se neuvažuje korelace mezi jednotlivými bloky. Na **Obr. 4.2a)** je vyznačen průběh jasu v řádce 160 původního obrazu z **Obr. 4.1a)** černou barvou a v dekomprimovaném obraze z **Obr. 4.1b)** červenou barvou.

Existují dvě příčiny blokového artefaktu: hrubé kvantování DC koeficientu a potlačení nebo hrubé kvantování nízkofrekvenčních AC koeficientů. U prvně uvedeného typu jsou dva sousední bloky s podobnou střední hodnotou jasu kvantovány do různých úrovní. Rekonstruované bloky pak mají mezi sebou velký skok v střední úrovni jasu a to je vnímáno jako rušivá viditelná změna jasu. U druhého typu dochází k eliminaci významných nízkofrekvenčních AC koeficientů v těch místech, kde byl pozvolný přechod jasu mezi bloky. Hrubé kvantování těchto koeficientů vede k nespojitostem mezi hranicemi bloků.



Obr. 4.2: Vliv komprese JPEG na vznik : a) blokových artefaktů, b) zámkitů kolem ostrých hran.

Prstencování (ringing) – zámkity

DCT pracuje ve spektrální doméně, kde se snaží vyjádřit obraz jako součet oscilujících kosinových vln. Obecně se efekt prstencování projevuje ve všech kompresních algoritmech využívajících kvantizaci transformovaných koeficientů ve frekvenční doméně. Ostrý přechod jasu v obraze, tedy hrana, vytváří ve frekvenční doméně mnoho vysokofrekvenčních koeficientů. Ty jsou dle kvantizační tabulky kvantovány hruběji než nízkofrekvenční koeficienty. To má za následek vznik zámkitů kolem hran objektů v obraze. Na **Obr. 4.2b)** je vyznačen průběh jasu v řádce 250 původního obrazu z **Obr. 4.1a)** černou barvou a v dekomprimovaném obraze z **Obr. 4.1b)** červenou barvou.

Byly provedeny testy kompresní efektivity obrazů komprimovaných pomocí v MHP standardizovaných kompresí, tedy JPEG, MPEG-2 Intra, GIF a PNG. Při použití vysokého stupně komprese (kompresní poměr do 0,7 až 1 b/p) se v JPEG a MPEG-2 Intra komprimovaných obrazech zviditelní typické kompresní artefakty, tedy blokový efekt a prstencování. Ty mají za následek degradaci vizuálního vjemu. Byly analyzovány příčiny kompresních artefaktů vyskytujících se u těchto kompresí.

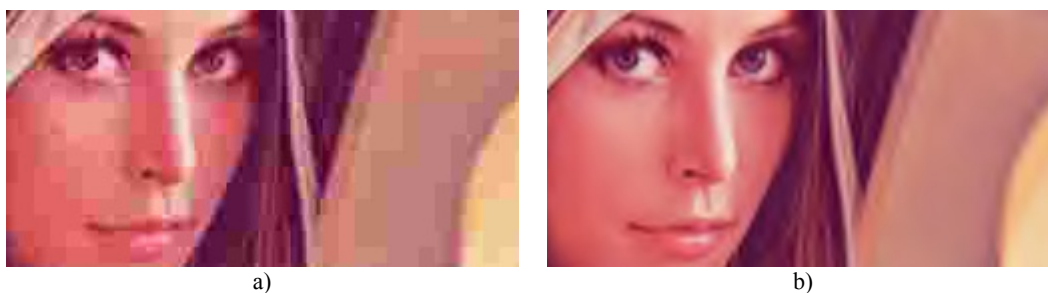
5 MHP NESTANDARDIZOVANÉ KOMPRESI OBRAZU

V této kapitole je ověřena kompresní efektivita V MHP nestandardizovaných kompresí JPEG2000 s vlnkovou transformací a video kompresního algoritmu H.264. Srovnání nových kompresních metod bylo naprogramováno a ověřeno v prostředí Matlab.

5.1 VLNKOVÁ TRANSFORMACE A KOMPRESI V MHP

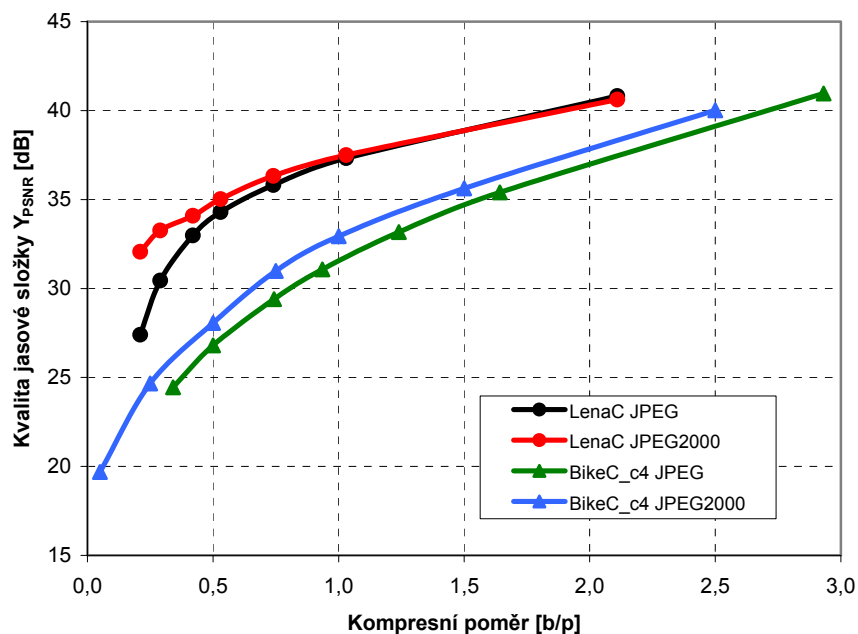
Pro kompresi obrazu se nabízí možnost využití kompresní metody JPEG2000 založené na vlnkové transformaci. Protože tato komprese není standardizována v MHP, znamená to, že mimo distribuce takto komprimovaných obrazů je nutné, aby aplikace využívající tyto obrazy měla v sobě integrován dekodér pro tuto kompresi. Druhou možností je, aby dekodér byl přítomen jako vestavný softwarový modul (plugin) v STB, takže by se nemusel pravidelně vysílat v TS.

V komprimovaných obrazech JPEG2000 se mohou také vyskytnout kompresní artefakty. Blokovaný artefakt zde není přítomen, neboť celý obraz se zpracovává bez rozdělení na menší nezávislé bloky. Artefakt prstencování se ovšem v JPEG2000 komprimovaných obrazech vyskytuje. Vzniká podobným způsobem jako u JPEG komprese kolem ostrých přechodů v obraze. Při větší kompresi jsou koeficienty ve vyšších subpásmech (čemuž odpovídají vysokofrekvenční složky obrazu) kvantovány hruběji a tak dochází ke vzniku zákmitů. Na **Obr. 5.1** je vyobrazena schopnost efektivní komprese barevného obrazu *LenaC* pomocí JPEG2000 a její srovnání s JPEG kompresí. Rozdíl Y_{PSNR} jasové složky je 1,48 dB ve prospěch JPEG2000 komprese.



Obr. 5.1: Srovnání JPEG a JPEG2000 s kompresním poměrem 0,29 b/p.
Výřez *LenaC*: a) JPEG $Y_{\text{PSNR}} = 31,78$ dB, b) JPEG2000 $Y_{\text{PSNR}} = 33,26$ dB.

Srovnání kompresní efektivity pro barevné obrazy je v grafu na **Obr. 5.2**. Z provedených experimentů vyplývá, že JPEG2000 komprese vždy komprimuje obrazy efektivněji než JPEG komprese. Zlepšení PSNR v jasové složce se pohybuje 1 až 2 dB u barevných přirozených obrazů. Při kompresi syntetických obrazů JPEG2000 dosahuje mnohem větších rozdílů v PSNR proti JPEG kompresi.

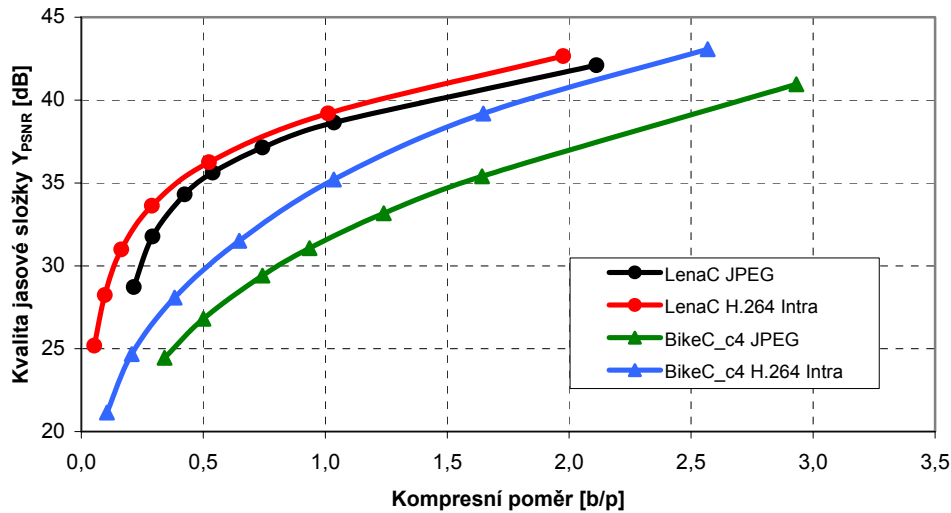


Obr. 5.2: Srovnání efektivity komprese JPEG a JPEG2000 na barevných obrazech.

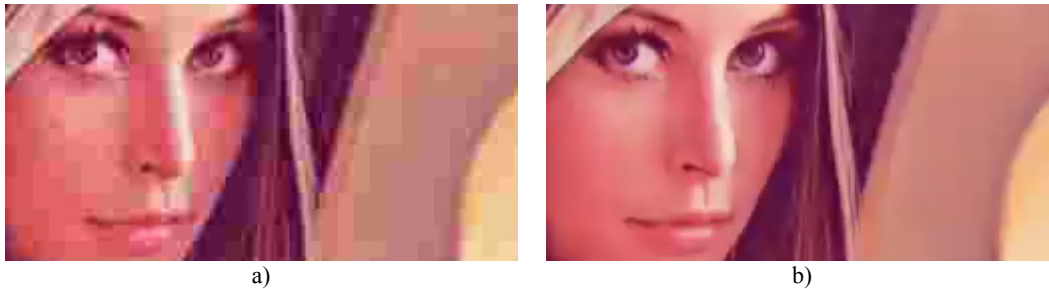
Kompresi obrazu založená na vlnkové transformaci není pro interaktivní aplikace MHP příliš vhodná. Její zvýšené nároky na výpočetní výkon a velikost paměti pro zpracování obrazu jsou ve srovnání s JPEG kompresí s přihlédnutím k zisku PSNR v typických obrazech vyskytujících se v interaktivních aplikacích MHP (barevné obrazy) nevýhodné. Navíc je zde nutnost softwarové dekomprese JPEG2000 obrazu pomocí pluginů, které by se musely distribuovat spolu s aplikací. To ještě více tento formát diskvalifikuje ve srovnání s ostatními kompresními standardy.

5.2 KOMPRESSE H.264

Využití H.264 komprese pro obrazy se jeví jako vynikající volba vzhledem ke skutečnosti, že v současné době dochází k prudkému rozvoji DVB vysílání v H.264 kompresi a rozšiřuje se tedy nabídka set-top boxů podporujících tento algoritmus s hardwarovým dekódováním. Provedené testy ukázaly, že kompresní efektivita H.264 komprese je daleko větší než u komprese JPEG. Výsledky simulace komprese s barevnými obrazy jsou vyobrazeny na **Obr. 5.3**. Maximální rozdíl byl u obrazu *LenaC* při kompresním poměru 0,2 b/p a činil téměř 3,5 dB. Na **Obr. 5.4** je vyobrazena schopnost efektivní komprese barevného obrazu *LenaC* pomocí H.264 a její srovnání s JPEG kompresí. Rozdíl Y_{PSNR} jasové složky je 1,85 dB ve prospěch H.264 komprese.

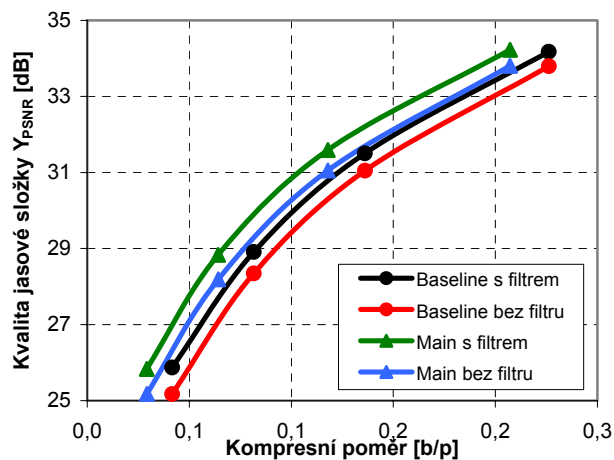


Obr. 5.3: Srovnání kompresní efektivity JPEG a H.264 Intra komprese na barevných obrazech.



Obr. 5.4: Srovnání JPEG a H.264 Intra s kompresním poměrem 0,29 b/p. Výřez *LenaC*: a) JPEG $Y_{PSNR} = 31,78$ dB, b) H.264 $Y_{PSNR} = 33,63$ dB.

Předmětem zkoumání bylo rovněž ověřit vliv některých základních vlastností H.264 Intra kodéru na kvalitu obrazu. Vliv metody entropického kódování a vliv filtru na redukci blokového artefaktu pro obraz *Lena* na Y_{PSNR} je vyobrazen na Obr. 5.5.



Obr. 5.5: Vliv metody entropického kódování a filtru na redukci blokového artefaktu na obraze *Lena*.

Rozdíl PSNR nepřesahuje 1 dB pro nejúčinnější a nejméně účinnou kombinaci vlastností H.264 kodéru, tedy H.264-Main s filtrem a H.264-Baseline bez filtru.

6 METODY ZLEPŠENÍ JPEG OBRAZU POMOCÍ POST-PROCESSINGU

Účelem post-processingu je redukce kompresních artefaktů takovým způsobem, aby objektivní a zejména subjektivní vizuální kvalita obrazu byla zlepšena. Tato kapitola je zaměřena na analýzu metod zabývajících se post-processingem komprimovaných obrazů. V práci jsou rozebrány metody pracující v prostorové oblasti, v oblasti kosinových i vlnkových koeficientů a krátce diskutovány metody iterační. Jsou definovány požadavky na post-processingový algoritmus a s ohledem na ně jsou navrženy vhodné metody pro post-processing obrazu v interaktivních aplikacích MHP.

Metody zpracování obrazu se rozdělují podle způsobu práce takto:

- Algoritmy založené na obnovení obrazu (image restoration), tedy objektivně posuzované obnovení komprimovaného obrazu co nejvíce blíží se původnímu obrazu.
- Algoritmy založené na vylepšení (image enhancement) vizuálního vjemu obrazu, tedy jedná se o subjektivní zlepšení kvality.

6.1 METODY PRO OBNOVENÍ OBRAZU

Jelikož metody pro obnovení obrazu jsou výpočetně velmi náročné a jsou založeny na iterativním výpočtu, jsou zde rozebrány jen ve zkrácené formě. Díky své výpočetní náročnosti se totiž pro výpočty v reálném čase téměř nehodí. Rozdělit metody pro obnovení obrazu lze do dvou kategorií: metody založené na kritériích a metody založené na omezení.

Metody založené na kritériích

Cílem těchto metod je nalézt řešení, které splňuje předdefinované optimální kritérium. Nejlepším kritériem je stanovení odchylky původního a dekomprimovaného obrazu, tedy stanovení MSE.

Metody založené na omezení

V metodách založených na omezení je základní ideou zavést několik omezení na komprimovaný obraz a obnovit jej adekvátně do podoby bez kompresních artefaktů. Tato omezení jsou získána z předchozí znalosti kompresního algoritmu, šumu nebo vlastností původního obrazu.

Nejnámějším zástupcem této skupiny je technika založená na teorii projekcí do konvexních množin (Projections Onto Convex Sets – POCS).

6.2 METODY ZLEPŠUJÍCÍ OBRAZ

Požadavky na post-processingový filtr vhodný pro obrazy v interaktivních aplikacích MHP byly definovány takto: filtr musí výrazně zlepšit zejména subjektivní kvalitu obrazu a musí být výpočetně dostatečně nenáročný, aby dokázal

filtrat v téměř reálném na STB. Reálný čas v kontextu stahování, dekódování, filtrace a zobrazování obrazu na STB je chápán jako čas dostatečně krátký, aby uživatel nevnímal, že na obraz jsou aplikovány dodatečné algoritmy zlepšující jeho vizuální vjem.

Metody pracující v oblasti transformačních koeficientů

Blokový artefakt je možné detekovat a redukovat v oblasti kosinových a vlnkových koeficientů.

- **Přímý post-processing DCT koeficientů.** Blokový artefakt je možné detekovat a redukovat i v oblasti DCT koeficientů. Pro dva sousedící bloky $B_{i,j}$ a $B_{i,j+8}$ lze nežádoucí DCT koeficienty, jejichž důsledkem je blokový artefakt, detekovat pomocí 1D nebo 2D DCT dekomprimovaných obrazových dat. Vyhodnocuje se tak lokální frekvenční charakteristika kolem hranic těchto bloků ve vztahu ke globální frekvenční charakteristice obrazu.
- **Predikce AC a DC koeficientů.** Zajímavou možností je nastavovat nové DC nebo nízkofrekvenční AC koeficienty bloku komprimovaného obrazu z DC koeficientů okolních bloků.
- **Post-processing vlnkových koeficientů.** Vlnkovou transformaci lze s výhodou využít pro detekci hran v obraze. Zejména v první úrovni dekompozice jsou patrné výrazné koeficienty v okolí hran blokového artefaktu. Redukovat tyto vlnkové koeficienty lze pomocí lokálního filtrování dolní propustí pro horizontální artefakty dle vztahu

$$HL_1'(u,v) = \frac{1}{3}(HL_1(u-1,v) + HL_1(u,v) + HL_1(u+1,v)) , \quad (6-1)$$

kde u,v jsou souřadnice pozice vlnkového koeficientu a $HL_1'(u,v)$ jsou nové vlnkové koeficienty v $HL_1(u,v)$ subpásmu. Obdobně je to i pro vertikální artefakty.

Metody pracující v prostorové oblasti

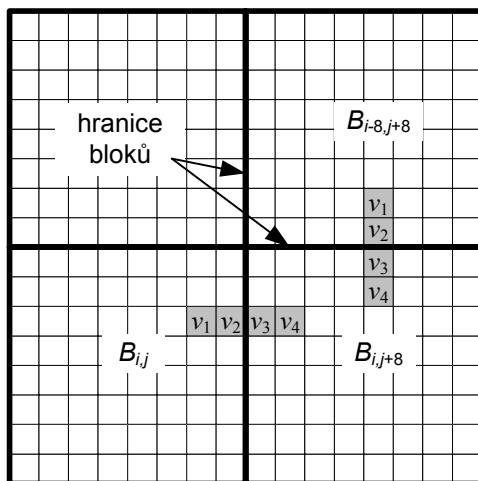
Filtry v prostorové oblasti zpravidla patří k jednodušším a méně výpočetně náročnějším. Nejsou založeny na iterativním postupu výpočtu. Intuitivní metodou je prostorová filtrace hranic mezi jednotlivými bloky JPEG obrazu.

- **Lineární filtrace.** Obraz se sekvenčně prochází podél hranic bloků a filtruje se 2D prostorovým filtrem s interpolační maskou $k(c,d)$ o rozměru 3x3 pixely, kde c,d jsou prostorové souřadnice v masce. Obecný zápis interpolované hodnoty je dán vztahem

$$v'(i,j) = \frac{\sum_{c=-1}^1 \sum_{d=-1}^1 k(c,d) \cdot v(i+c, j+d)}{\sum_{c=-1}^1 \sum_{d=-1}^1 k(c,d)} , \quad (6-2)$$

kde $v(i+c, j+d)$ jsou zpracovávány pixel a jeho osm okolních pixelů.

- **Nelineární adaptivní filtrace.** Detekce blokového artefaktu je založena na rozdílech odchylek hodnot pixelů na hranicích mezi bloky 8 x 8 pixelů. V případě rozpoznání blokového artefaktu je aplikován nelineární adaptivní 1D prostorový filtr typu dolní propust napříč detekovanou hranicí mezi bloky. Adaptivní filtr pracuje napříč horizontálních a vertikálních hranic mezi bloky a také v diagonálním směru kolem hranic čtyř bloků. Adaptivita filtru je dosažena proměnnou délkou jednotlivých částí číslicového filtru v obou blocích. Ta je určena na základě lokální charakteristiky obrazu.
- **Filtrování v prostorové oblasti dle standardů pro kompresi videa.** Důraz u post-processingu videa je hlavně kladen na rychlost výpočtu a s tím spojenou nízkou výpočetní náročnost aplikované filtrace. Ve standardech pro kompresi videa jsou definovány algoritmy pro redukci blokového efektu a prstencování. Ty jsou založeny na prostorové filtraci adaptivními filtry s proměnnou délkou vektoru pro redukci blokového efektu. Pro odstranění prstencování se používá symetrického 2D filtru.
- **Adaptivní filtr z H.263.** Volitelný doplněk standardu pro kompresi videa H.263 obsahuje prostorový filtr pro redukci blokového artefaktu. Bloky jsou zde rozděleny na velikost 8 x 8 pixelů. Filtr pracuje s čtyřmi hodnotami pixelů na vertikální i horizontální hranici mezi bloky, viz **Obr. 6.1**.



Obr. 6.1: Princip filtrace blokového artefaktu v H.263.

Je definována funkce $\text{Clip}(x)$ omezující hodnotu x tak, aby nepřekročila rozsah 8-mi bitového čísla (tj. 0 až 255), a funkce $\text{Clipd1}(x, \text{lim})$ omezující hodnotu x do rozsahu $\pm \text{abs}(\text{lim})$. Pixely jsou označeny v_1, v_2, v_3, v_4 tak, že v_1 a v_2 náleží bloku $B_{i,j}$ a pixely v_3 a v_4 bloku $B_{i,j+8}$. Hodnoty v_1, v_2, v_3, v_4 jsou nahrazeny vypočítanými hodnotami v_1', v_2', v_3', v_4' podle vztahů

$$v_2' = \text{Clip}(v_2 + d1) , \quad (6-3)$$

$$v_3' = \text{Clip}(v_3 - d1) , \quad (6-4)$$

$$v_1' = v_1 - d2 , \quad (6-5)$$

$$v_4' = v_4 + d2 , \quad (6-6)$$

$$d = \frac{v_1 - 4v_2 + 4v_3 - v_4}{8}, \quad (6-7)$$

$$\text{UpDownRamp}(x, St) = \text{sign}(x) \max(0, |x| - \max(0, 2(|x| - St))) , \quad (6-8)$$

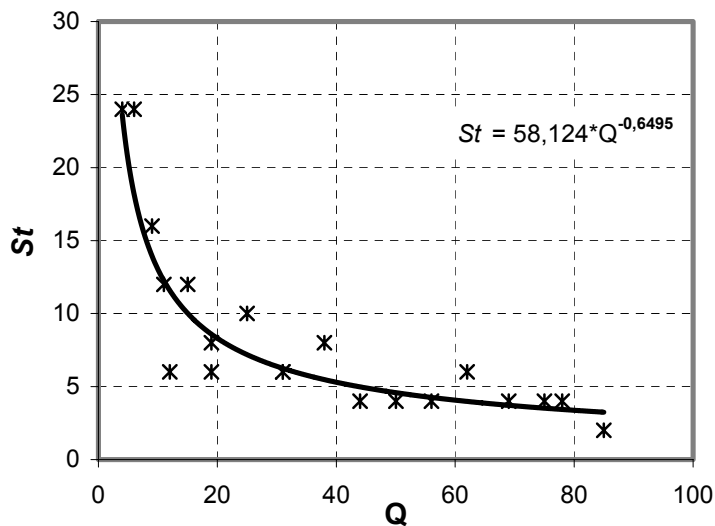
$$d1 = \text{UpDownRamp}(d, St) , \quad (6-9)$$

$$d2 = \text{Clipd1}\left(\frac{v_1 - v_4}{4}, \frac{d1}{2}\right), \quad (6-10)$$

kde St definuje účinnost filtru.

Modifikovaná metoda z H.263 pro JPEG kompresi

Byla navržena a naprogramována modifikovaná metoda původně určená k redukci artefaktů prstencování ve videosekvencích komprimovaných kodekem H.263. V komprimovaném videu je přítomen kvantizační parametr QP pro jednotlivé makrobloky každého snímku. V JPEG obraze je pro celý obraz definována kvantizační matice a všechny bloky jsou jí kvantovány. Problém tedy byl převést parametr St , definující filtrovací účinnost filtru v závislosti na QP parametru daného makrobloku, pro použití u JPEG komprese. V H.263 je definována převodní tabulka, která mapuje QP do St tak, že minimální QP = 1 (nejmenší komprese) odpovídá $St = 1$ a maximální QP = 51 (největší komprese) odpovídá $St = 12$. Pro JPEG kompresi byla vytvořena převodní tabulka z empiricky naměřených dat pro různé hodnoty komprese a St parametru, viz graf na **Obr. 6.2**.



Obr. 6.2: Vyhodnocení optimálního St parametru pro dané Q pro všechny testovací obrazy.

Ukázka vlivu post-processingu na komprimovaný obraz je na **Obr. 6.3**. Je vidět, že i subjektivní kvalita se zlepšila, čehož je dokladem rozdílový obraz dekomprimovaného a filtrovaného obrazu. Uvedeným filtrem lze dosáhnout zlepšení Y_{PSNR} jasové složky obrazu v rozmezí 0,3 až 1 dB.



Obr. 6.3: Post-processing obrazu JPEG s komp. poměrem 0,23 b/p (výřez);
a) dekomprimovaný JPEG, b) obraz s redukovánými artefakty,
c) rozdíl dekomprimovaného a filtrovaného obrazu (rozdíly 10x zvýrazněny).

- **Adaptivní filtr pro odstranění prstencování v H.263.** Jako doplněk pro odstranění artefaktů prstencování k filtru pro redukci blokových artefaktů v H.263 lze použít výpočetně nenáročný adaptivní prostorový filtr. Masku 3x3 pixelů, viz **Obr. 6.4**, má střed na zpracovávaném pixelu g_5 , který bude nahrazen podle

$$g'_5 = \frac{\lambda \cdot g_5 + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq 5}}^9 \delta_i \cdot g_i}{\lambda + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq 5}}^9 \delta_i}, \quad (6-11)$$

kde δ_i je nastaveno dle

$$\delta_i = \begin{cases} 1 & \text{pokud } |g_5 - g_i| < Tr, \\ 0 & \text{jinak.} \end{cases} \quad (6-12)$$

Práh Tr je nastaven podle kvantizačního parametru QP tak, že pro intra snímky komprimované video sekvence v H.263 je $Tr = QP$. Parametr λ řídí účinnost vyhlazení a platí $\lambda \in \langle 8, 16 \rangle$.

g_1	g_2	g_3
g_4	g_5	g_6
g_7	g_8	g_9

Obr. 6.4: Označení indexů jednotlivých pixelů ve filtrační masce.

Modifikovaná metoda pro redukci artefaktů prstencování v JPEG obrazech

Byla navržena a naprogramována modifikovaná metoda původně určená k redukci artefaktů prstencování ve videosekvencích komprimovaných kodekem H.263. Bylo nutné provést přepočítání parametru Tr , protože v původním algoritmu platí $Tr = QP$ zpracovávaného makrobloku. Optimální výsledky dává nastavení Tr

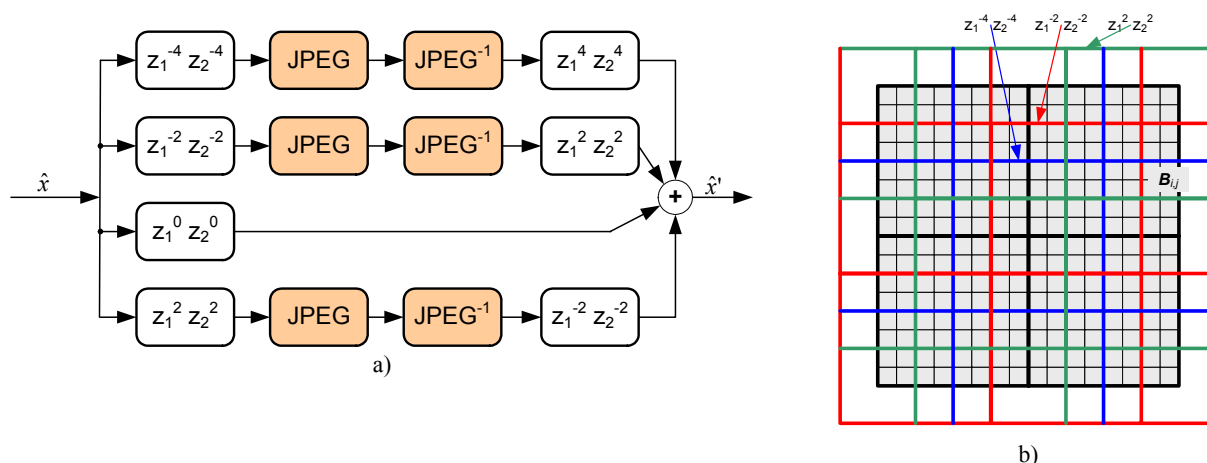
na dvojnásobnou hodnotu, jako má parametr St v navrženém filtru na redukci blokového artefaktu. Pro hodnotu parametru λ také platí, že pro více komprimovaný obraz se musí použít účinnější filtr, tedy je použito nastavení $\lambda = QP$. Uvedeným filtrem lze dosáhnout zlepšení Y_{PSNR} jasové složky obrazu v rozmezí 0,05 až 0,2 dB.

Ostatní metody

- **Několikanásobné aplikování DCT na komprimovaný obraz.** Metoda několikanásobného aplikování DCT pro odstranění blokového artefaktu opětovně aplikuje JPEG kompresi na prostorově posunuté verze komprimovaného obrazu. Posunutí je deklarováno $z_1^i z_2^j$, kde z_1^i je posunutí ve vertikálním směru o i pixelů a z_2^j je posunutí v horizontálním směru o j pixelů. Po dekompresi JPEG posunutých obrazů jsou všechny takto získané obrazy zprůměrovány. Toto aplikování posunuté JPEG komprese a dekomprese je provedeno celkem 63-krát. Ačkoli metoda je velmi jednoduchá, je zlepšení obrazu srovnatelné s nelineární filtrací, POCS i vlnkovými metodami.

Modifikovaná metoda s několikanásobným aplikováním JPEG komprese

Pro srovnání s dříve uvedenými navrženými adaptivními prostorovými filtry byla také navržena a naprogramována modifikovaná varianta několikanásobné aplikace JPEG komprese za účelem snížení výpočetní náročnosti. Byly použity pouze tři prostorové posuny, viz **Obr. 6.5a**). Posunutí bloků bylo zvoleno tak, aby hranice bloků dekomprimovaného obrazu byly rovnoměrně rozděleny v nových blocích pro opětovnou aplikaci JPEG komprese, viz **Obr. 6.5b**). Nižší hodnota vylepšení obrazu je vyvážena snížením výpočetní náročnosti 21x oproti původní metodě.



Obr. 6.5: Upravená metoda s několikanásobným aplikováním JPEG komprese, a) schéma , b) posunutí bloků.

Výsledky aplikace metody pro testovací obraz *Lena* s kompresním poměrem 0,23 b/p s ukázkou rozdílu mezi dekomprimovaným a filtrovaným obrazem jsou vyobrazeny na **Obr. 6.6**.



Obr. 6.6: Post-processing obrazu JPEG s komp. poměrem 0,23 b/p (výřez);
 a) dekomprimovaný JPEG, b) obraz s redukovánými artefakty,
 c) rozdíl dekomprimovaného a filtrovaného obrazu (rozdíly 10x zvýrazněny).

V **Tab. 6.1** jsou prezentovány dosažené zlepšení Y_{PSNR} tří navržených metod pro post-processing JPEG obrazu. Z provedených subjektivních hodnocení vyplývá, že prezentované filtry významně zvyšují kvalitu vnímaného obrazu a rovněž i objektivní hodnocení dle Y_{PSNR} tyto skutečnosti potvrzují. Zejména pro velmi komprimovaný obraz jsou mnou navržené modifikované filtry založené na H.263 standardu porovnatelné s nejefektivnějšími filtry prezentovanými v literatuře.

Tab. 6.1: Srovnání dosažených výsledků zlepšení Y_{PSNR} pro obraz *Lena*.

Navržené metody na redukcí kompresních artefaktů				
Testovací obraz s Y_{PSNR} [dB]		27,75	29,94	30,46
Kompresní poměr [b/p]		0,17	0,21	0,22
Q		5	8	9
Zlepšení Y_{PSNR} [dB]	Znovu aplikování JPEG komprese	1,08	0,58	0,49
	Redukce blokového artefaktu podle H.263	1,34	0,71	0,57
	Redukce blokového artefaktu + prstencování dle H.263	1,38	0,75	0,62

7 MOŽNOSTI OPTIMALIZACE PŘENOSU OBRAZU V OBJEKTIVÉM KARUSELU

V této kapitole jsou navrženy možné metody optimalizace přenosu komprimovaných obrazů pro interaktivní aplikace MHP v objektovém karuselu DSM-CC digitálního televizního vysílání. Jednou z možností diskutované v části 7.1 je přenos obrazu komprimovaného více (tedy s nižší vizuální kvalitou) než bylo původním záměrem. Pomocí metod post-processingu je obraz po přijetí a dekódování v STB filtrován a vizuální kvalita je vylepšena. V této kapitole jsou rovněž diskutovány problémy vyvstávající s rozšiřováním vysílání DVB ve standardním a vysokém rozlišení z pohledu distribuce obrazů pro interaktivní aplikace, viz část 7.2.

7.1 PŘENOS VÍCE KOMPRIMOVANÝCH OBRAZŮ A JEJICH NÁSLEDNÝ POST-PROCESSING NA SET-TOP BOXU

Byla navržena a ověřena metoda pro více komprimované obrazy, na které jsou po přenosu do STB aplikovány algoritmy post-processingu za účelem zlepšení vizuální kvality. Prezentovaná metoda vychází z toho, že lze zvýšit kompresi obrazu tak, že pokles objektivní kvality na hodnotu Y_{PSNR_R} více komprimovaného obrazu lze eliminovat post-processingem přijatého více komprimovaného obrazu na set-top boxu. Kompresní poměr více komprimovaného obrazu má označení CR_R . Tím, že je obraz více komprimován, je jeho datová velikost zmenšena. Po přijetí více komprimovaného obrazu s objektivní kvalitou Y_{PSNR_R} je zpracován post-processingovým algoritmem a jeho objektivní kvalita je zlepšena na hodnotu Y_{PSNR_N} . Objektový karusel s více komprimovanými obrazy s kompresním poměrem CR_R (označen DSM-CC_R) při stejném počtu obrazů jako v objektovém karuselu s komprimovanými obrazy s kompresním poměrem CR_T (označen DSM-CC_T) má také zmenšenou datovou velikost.

V **Tab. 7.1** je přehledně zobrazena dosažitelná úspora dat při přenosu více komprimovaných obrazů v objektovém karuselu DSM-CC_R ve srovnání s komprimovanými obrazy v objektovém karuselu DSM-CC_T .

Tab. 7.1: Vliv využití post-processingu na více komprimované obrazy v objektovém karuselu DSM-CC_R .

		Lena	Target	Bike_c4
Šířka	[pixel]	512	512	720
Výška	[pixel]	512	512	576
Počet pixelů	-	262 144	262 144	414 720
Parametry obrazů v objektovém karuselu DSM-CC_T				
Q		9	8	7
CR_T	[b/p]	0,22	0,43	0,37
Datová velikost	[B]	7 181	13 972	19 088
Y_{PSNR_T}	[dB]	30,46	24,18	24,24
Parametry obrazů v objektovém karuselu DSM-CC_R				
Q		7	7	6
CR_R	[b/p]	0,19	0,41	0,34
Datová velikost	[B]	6 365	13 280	17 378
Y_{PSNR_R}	[dB]	29,33	23,97	23,72
Vliv post-processingu na obraze z DSM-CC_R				
Y_{PSNR_N}	[dB]	30,30	24,02	24,22
Úspora dat	[B]	816	692	1 710
Úspora dat	[%]	11,4	5,0	9,0

V těchto experimentech navržené metody přenosu více komprimovaných obrazů byla použita modifikovaná metoda z H.263 komprese video sekvencí diskutovaná v kap. 6. Dle provedených testů lze touto metodou přenosu více komprimovaných obrazů zmenšit datovou velikost přenášených obrazů přibližně o 10 %. Zjištěná hodnota platí pro přirozené obrazy.

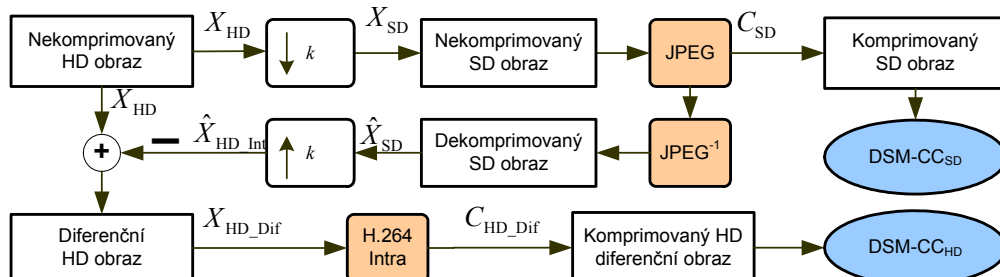
7.2 PROBLEMATIKA SOUČASNÉHO VYSÍLÁNÍ VE STANDARDNÍM A VYSOKÉM ROZLIŠENÍ

V současné době dochází k rozmachu distribuce video obsahu ve vysokém rozlišení jak na video nosičích HD-DVD, Blu-Ray tak i v digitálním televizním vysílání, zejména satelitním (BBC-HD, Euro1080). Vyšší prostorové rozlišení s sebou přináší zvýšení kvality vizuálního vjemu. To je ovšem vykoupeno zvýšením přenášeného datového toku a také zvýšením nároků na výpočetní výkon dekodéru při zpracování video dat.

Problematika distribuce videa v SD a HD rozlišení se týká i komprimovaných obrazů v interaktivních aplikacích MHP. Za předpokladu využití HD formátu s 1080 řádky je ve srovnání se standardním PAL rozlišení 576 při zachování ekvivalentního vizuálního vjemu komprimovaných obrazů v MHP aplikacích nutné přenášet obrazy s 5-krát větším počtem pixelů. Pokud by tedy poskytovatel vysílaného obsahu chtěl uspokojit potřeby uživatelů SD i HD vysílání, musel by vysílat v DSM-CC obrazy komprimované v prostorovém rozlišení korespondujícím s SD a HD rozlišením.

7.2.1 Navržený kodér kombinované metody

Byla navržena původní metoda kombinované komprese obrazu v SD rozlišení a diferenčním HD rozlišení se zachováním kompatibility se set-top boxy pro SD rozlišení. Metodu lze rozdělit na algoritmus vytváření obrazu v SD a diferenčním HD rozlišení a na oddělení SD a HD obrazů a jejich distribuci pomocí dvou nezávislých karuselů. Schematicky je metoda zobrazena na **Obr. 7.1**. Vstupní obraz X_{HD} v HD rozlišení je podvzorkován faktorem $k = SD/HD$, kde SD je vertikální rozměr SD rozlišení a HD je vertikální rozměr zvoleného HD rozlišení. Takto vytvořený SD obraz X_{SD} je komprimován JPEG algoritmem a zařazen do objektového karuselu DSM-CC_{SD} s komprimovanými obrazy ve SD rozlišení. Ještě na straně serveru poskytovatele programového obsahu je daný SD JPEG obraz dekomprimován (označen \hat{X}_{SD}) a zpětně interpolován na původní prostorové rozlišení (označen \hat{X}_{HD_Int}). Od původního nekomprimovaného obrazu X_{HD} je odečten interpolovaný obraz \hat{X}_{HD_Int} a výsledkem je diferenční HD obraz X_{HD_Dif} . Ten je zkomprimován H.264 kódérem a vytvořený obraz C_{HD_Dif} je zařazen do objektového karuselu DSM-CC_{HD} s komprimovanými obrazy v HD rozlišení.



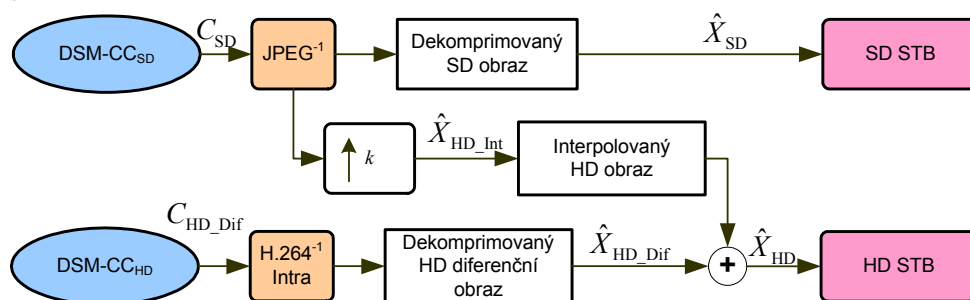
Obr. 7.1: Algoritmus vytváření a komprese obrazu v SD a diferenčním HD rozlišení.

Využití dvou oddělených objektových karuselů je pro SD obrazy a HD diferenční obrazy je nutné pro minimalizaci maximálního času jedné otočky objektových karuselů $DSM-CC_{SD}$ i $DSM-CC_{HD}$.

7.2.2 Navržený dekodér kombinované metody

Zde je popsán navržený dekodér prezentované metody. Schematicky je zobrazen na **Obr. 7.2** V případě STB kompatibilním pouze s SD rozlišením je z objektového karuselu $DSM-CC_{SD}$ přijat komprimovaný JPEG obraz v SD rozlišení C_{SD} a ten je dekomprimován na SD obraz \hat{X}_{SD} a poté zobrazen.

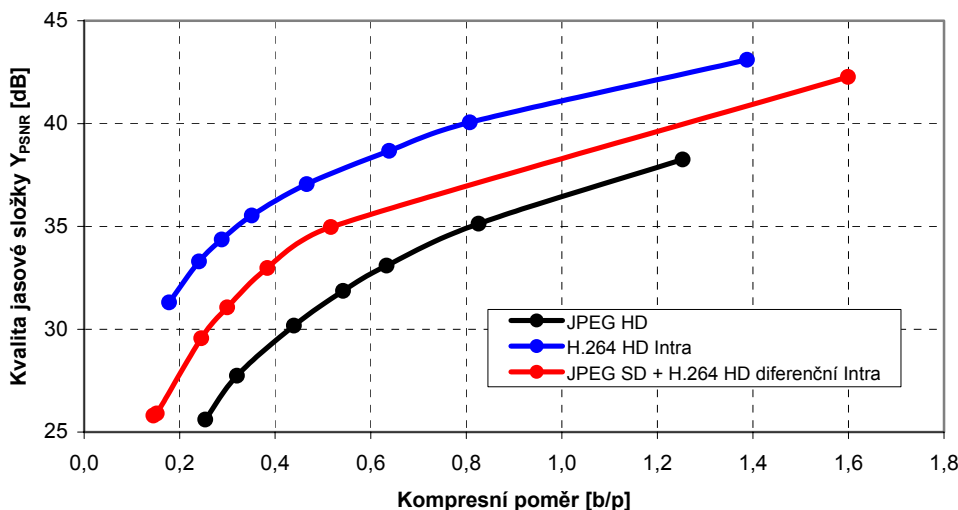
Set-top box, který je schopen přijímat obraz a video sekvence v HD rozlišení, přijme z objektového karuselu $DSM-CC_{SD}$ komprimovaný JPEG obraz v SD rozlišení C_{SD} a z objektové karuselu $DSM-CC_{HD}$ komprimovaný diferenční obraz v HD rozlišení s H.264 kompresí C_{HD_Dif} . SD obraz je dekomprimován a interpolován na původní HD rozlišení (označen \hat{X}_{HD_Int}). Diferenční HD obraz je také dekomprimován na \hat{X}_{HD_Dif} a sečten s \hat{X}_{HD_Int} . Výsledkem je obraz v HD rozlišení \hat{X}_{HD} a ten je zobrazen.



Obr. 7.2: Algoritmus dekomprese obrazu v SD a HD rozlišení.

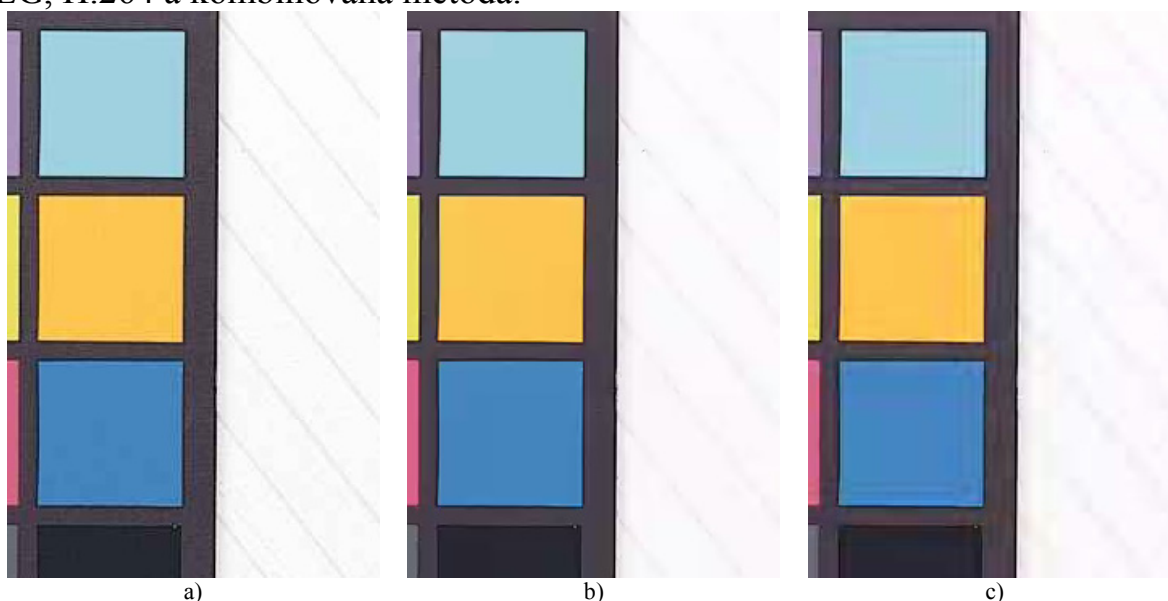
7.2.3 Dosažené výsledky

Objektivní srovnání jasové komponenty barevného testovacího obrazu *BikeC_hd2* je uvedeno v grafu na **Obr. 7.3**. Pro srovnání byly provedeny testy obrazu v původním HD rozlišení s kompresí JPEG a H.264 Intra. Nejlepší výsledky podle předpokladů dosáhl H.264 Intra kodér a nejhorší JPEG kodér. Prezentovaná metoda poskytuje vynikající kompromis mezi zachováním zpětné kompatibility s SD set-top boxy a zlepšením efektivity komprese a s tím spojené zefektivnění přenosu obrazu v objektovém karuselu.



Obr. 7.3: Srovnání efektivity komprese JPEG a H.264 Intra a navržené metody na obrazu *BikeC_hd2*.

Srovnání komprimovaného obrazu *BikeC_hd2* s Y_{PSNR} jasové složky 33,2 dB v kompresi JPEG, H.264 Intra a navržené metody JPEG komprese ve SD a diferenční komprese HD v H.264 Intra je uvedeno na Obr. 7.4. Obrazy dosahují stejné objektivní kvality. Při subjektivním porovnání však lze spatřit drobné rozdíly, např. artefakt prstencování je viditelný v JPEG kompresi i v kombinované metodě. Datový tok komprimovaného obrazu je přibližně v poměru 10:4:6 v pořadí kompresí JPEG, H.264 a kombinovaná metoda.



Obr. 7.4: Srovnání kompresí s $Y_{\text{PSNR}} = 33,2$ dB, výřez *BikeC_hd2*: a) JPEG s komp. poměrem 0,63 b/p, b) H.264 Intra s komp. poměrem 0,24 b/p, c) kombinovaná metoda s komp. poměrem 0,38 b/p

8 ZÁVĚR

Ve smyslu cílů stanovených v kapitole 3 je práce zaměřena na problematiku zefektivnění přenosu ztrátově komprimovaných obrazů pro interaktivní aplikace MHP v sítích digitálního televizního vysílání. Analýza problematiky a návrh nových metod řešení je rozčleněn do několika částí.

Nejdříve byla provedena analýza kompresní efektivity v MHP standardizovaných ztrátových a bezztrátových algoritmech komprese obrazu. Jmenovitě se jednalo o ztrátové kodeky JPEG a MPEG-2 Intra a bezztrátové GIF a PNG. Šlo zejména o ztrátovou kompresi a analýzu příčin vzniku kompresních artefaktů a jejich vliv na subjektivní hodnocení vnímané kvality obrazu.

V dalším kroku byla ověřena možnost využít ke kompresi obrazu nových, v MHP nestandardizovaných kompresí. Jednalo se o JPEG2000 a pro kompresi obrazu nepoužívaný video kodek H.264. Provedené testy ukázaly, že obě metody vykazují výrazně lepší objektivní i subjektivní výsledky než JPEG. Využití H.264 video kompresního algoritmu ke kompresi obrazu nebylo dle autorovi dostupné literatury zatím publikováno. Výsledky komprese obrazu s H.264 Intra přinesly zvýšení kompresní efektivity se zlepšením o 1 až 4 dB jasové komponenty barevných přirozených obrazů. Kompresi JPEG2000 má o 0,5 až 1 dB horší výsledky. O její nevhodnosti pro kompresi obrazů na platformě MHP také hovoří vyšší výpočetní a paměťová náročnost dekomprese oproti H.264 kompresi. Využití H.264 komprese pro obrazy se jeví jako vynikající volba vzhledem ke skutečnosti, že v současné době dochází k prudkému rozvoji DVB vysílání v H.264 kompresi a rozšiřuje se tedy nabídka set-top boxů podporujících tento algoritmus.

Zejména pro využití na současných set-top boxech byly zkoumány možnosti aplikování algoritmů pro zpracování obrazů za účelem zlepšení objektivní a hlavně subjektivní vnímané kvality obrazu. Na základě definovaných požadavků na tyto algoritmy byly navrženy modifikované metody adaptivní prostorové filtrace pro redukci blokového kompresního artefaktu a artefaktu prstencování. Pro srovnání byla také modifikována metoda opětovné aplikace JPEG komprese s posunutím za účelem jejího snížení výpočetní náročnosti. Výsledky provedených testů navržených metod byly porovnány s dalšími, v literatuře prezentovanými algoritmy. Ze subjektivních hodnocení provedených experimentů vyplývá, že prezentované filtry významně zvyšují kvalitu vnímaného obrazu a rovněž i objektivní hodnocení tyto skutečnosti potvrzují.

Na možné způsoby zefektivnění přenosu obrazů cyklicky vysílaných v objektovém karuselu transportního datového toku DVB vysílání lze pohlížet také jako na přenos obrazu s vyšší kompresí než byl původní požadavek. Tím je snížena jeho datová velikost a čas přenosu v DVB síti je kratší. Po příjmu v set-top boxu jsou na tento obraz aplikovány algoritmy pro zpracování obrazů za účelem zlepšení subjektivní vnímané kvality. Takto vizuálně vylepšený obraz je zobrazen uživateli. Úspora přenášených obrazových dat dosahuje asi 10 % pro přirozené obrazy s vyšší kompresí. Jednoduchou metodou lze rozdělit obecně vysílaná data na ty s vyšší četností stahování uživateli a ty s nižší četností stahování uživateli. Ta jsou pak vysílána ve dvou různých objektových karuselech. Způsob rozdělení přenosu obrazových dat do více objektových karuselů je využit i v navržené metodě pro efektivní přenos obsahově stejných obrazů ve standardním a vysokém rozlišení. Tento nový způsob kombinované komprese obrazu s využitím JPEG a H.264 komprese představuje vynikající kompromis mezi zefektivněním přenosu

obrazových dat pro standardní i vysoké rozlišení a dosažitelnou kompresní efektivitou. Výhodou navíc je zachování zpětné kompatibility těchto komprimovaných obrazů pro standardní rozlišení.

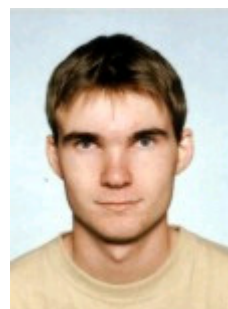
Podstatné části práce byly průběžně publikovány v tuzemských časopisech a na domácích a zahraničních konferencích.

Dizertační práce na téma „Komprese obrazu v interaktivních aplikacích digitálního televizního vysílání“ byla vypracována v rámci řešení projektu Akademie věd České republiky č. 1ET301710510 s názvem „Univerzální architektura pro poskytování interaktivních informačních služeb terestriální digitální televize“. Výsledky řešení dizertační práce našly široké uplatnění ve vývoji interaktivních aplikací univerzální architektury pro poskytování informačních služeb v DVB sítích, zejména co se týče metod zvýšení efektivity přenosu komprimovaných obrazů pro tyto aplikace.

LITERATURA

- [1] BYEUNGWOO JEON, JECHANG JEONG, Blocking artifacts reduction in image compression with blockboundary discontinuity criterion, In *IEEE Transactions on Circuit and Systems for Video Technology*, 1998, Vol. 8, No. 3, s. 345-357, ISSN 1051-8215.
- [2] HAO-SONG KONG, VETRO, A., HUIFANG SUN, Edge map guided adaptive post-filter for blocking and ringing artifacts removal, In *Proceedings of the 2004 International Symposium on Circuits and Systems, 2004. ISCAS '04*, 2004, Vol. 3, s. 929-932, ISBN 0-7803-8251-X.
- [3] HOON PAEK, RIN-CHUL KIM, SANG-UK LEE, A DCT-based spatially adaptive post-processing technique to reduce the blocking artifacts in transform coded images, In *IEEE Transactions on Circuit and Systems for Video Technology*, 2000, Vol. 10, No. 1, s. 36-41.
- [4] HYUK CHOI, TAEJOUNG KIM, Blocking-artifact reduction in block-coded images using wavelet-based subband decomposition, In *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2000, Vol. 10, No. 5, s. 801-805.
- [5] CHEN, T., WU, H.R., QIU, B., Adaptive postfiltering of transform coefficients for the reduction of blocking artifacts, In *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2001, Vol. 11, No. 5, s. 594-602.
- [6] ISMAEIL, I.R., WARD, R.K., Removal of DCT blocking artifacts using DC and AC filtering In *PACRIM 2003 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and signal Processing*, 2003, Vol. 1, s. 229-232, ISBN 0-7803-7978-0.
- [7] JIEBO LUO, CHANG WEN CHEN, PARKER, K.J., HUANG, T.S., Artifact reduction in low bit rate DCT-based image compression, In *IEEE Transactions on Image Processing*, 1996, Vol. 5, No. 9, s. 1363-1368, ISSN 1057-7149.
- [8] KAUP, A., Reduction of Ringing Noise in Transform Image Coding Using a Simple Adaptive Filter, In *Electronics Letters*, 1998, Vol. 34, No. 22, s. 2110-2112.
- [9] LIEW, A.W.-C., HONG YAN, Blocking artifacts suppression in block-coded images using overcomplete wavelet representation, In *IEEE Transactions on Circuit and Systems for Video Technology*, 2004, Vol.14, No. 4, s. 450-461, ISSN 1051-8215.
- [10] MEI-YIN SHEN, C. C. JAY KUO, Review of Postprocessing Techniques for Compression Artifact Removal, In *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 1998, Vol. 9, No. 1, s. 2-14.
- [11] MINAMI, S., ZAKHOR, A., An optimization approach for removing blocking effects in transform coding, In *IEEE Transactions on Circuit and Systems for Video Technology*, 1995, Vol. 5, No.2, s. 74-82, ISSN 1051-8215.
- [12] NISS, B., *Prediction of AC coefficients from the DC values*, ISO/IEC JTC1/SG2/WG8 N745, May 1998.
- [13] NOSRATINIA, A., Denoising of JPEG images by re-application of JPEG, In *Journal of VLSI Signal Processing*, 2001, Vol. 27, s. 69-79.
- [14] PAN, F., LIN, X., RAHARDJA, S., *A Locally Adaptive Blocking Artifacts Reduction Algorithm*, Institute for Infocomm Research, Singapore.
- [15] YONGYI YANG, GALATSANOS, N.P., KATSAGGELOS, A.K., Projection-based spatially adaptive reconstruction of block-transform compressed images, In *IEEE Transactions on Image Processing*, 1995, Vol. 4, No. 7, s. 896-908, ISSN 1057-7149.
- [16] ZAKHOR, A., Iterative procedures for reduction of blocking effects in transformimage coding, In *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 1992, Vol. 2, No. 1, s. 91-95, ISSN 1051-8215.
- [17] BODEČEK, K., Post-processing JPEG obrazu v interaktivních aplikacích MHP, In *Elektrorevue - Internetový časopis (<http://www.elektrorevue.cz>)*, 2007, roč. 6, č. 29, s. 1-18, ISSN 1213-1539.
- [18] BODEČEK, K., BŘEZINA, M., SD and HD Coexisting in Current DVB-T Broadcasting, In *Conference Student EEICT 2006*, 2006, s. 426-429, ISBN 80-214-2890-2.
- [19] BODEČEK K., NOVOTNÝ V., BŘEZINA M., Image compression in digital video broadcasting, In *12th IFIP International Conference of Personal Wireless Communications*, 2007, v tisku.
- [20] BODECEK, K., NOVOTNY, V., H.264 Image Compression in Interactive Services for Digital Video Broadcasting In *Proceedings of the 30th International Conference Telecommunications and Signal Processing TSP-2007*. Brno, Czech Republic, 2007, v tisku.
- [21] BODECEK, K., NOVOTNY, V., From Standard Definition to High Definition Migration in Current Digital Video Broadcasting, In *International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology, 2007. ICCGI 2007*, 2007, s. 15-18.
- [22] BODEČEK K., STEJSKAL V., NOVOTNÝ V., ŠVANDA V., Vývoj aplikací pro platformu MHP, In *Elektrorevue - Internetový časopis (<http://www.elektrorevue.cz>)*, 2006, roč. 2006, č. 61, s. 1-4, ISSN 1213-1539.

CURRICULUM VITAE



Osobní údaje

Jméno: Ing. Kamil Bodeček
Datum narození: 9.7.1981
Kontaktní telefon: +420 54114 9206
E-mail: kamil.bodecek@phd.feec.vutbr.cz

Vzdělání

- 2007 Březen až květen zahraniční studijní pobyt na Halmstad University, Halmstad, Švédsko, dílčí práce na tématu doktorské práce.
- 2004 - Od září interní doktorské studium na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně, obor Teleinformatika. Téma doktorské práce: „Komprese obrazu v interaktivních aplikacích digitálního televizního vysílání“.
- 2004 Únor až červen zahraniční studijní pobyt na Technical University of Denmark, Lyngby, Dánsko, vypracování diplomové práce v anglickém jazyce na téma „Wavelet Based Image and Video Coding and Decoding“.
- 1999 - 2004 Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně, obor Elektronika a sdělovací technika.

Kurzy

- 2002 Kurs AutoCAD 2000 zakončený získáním Autodesk Academia Certificate, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně.

Účast na řešení projektů

- 2005 - Účast na řešení projektu AVČR č. 1ET301710510 s názvem „Univerzální architektura pro poskytování interaktivních informačních služeb terestriální digitální televize“.
- 2006 - Účast na řešení projektu MŠMT č. 2B06111 s názvem „Nové diagnostické metody zjišťování parametrů oběhového systému založené na infračerveném snímání obrazu krevního řečiště“.
- 2006 Hlavní řešitel projektu FRVŠ č. 1791/2006 s názvem „Využití vlnkové transformace při kompresi obrazu a videa a její začlenění do výuky předmětu Teoretická informatika“.
- 2006 Účast na řešení projektu FRVŠ č. 3267/2006 s názvem „Výuka principů interaktivního televizního vysílání v předmětu Multimediální služby“.

ABSTRAKT

V interaktivních aplikacích digitálního televizního vysílání se v hojné míře používají komprimované obrazy. V doktorské práci jsou prezentovány nové metody zefektivnění jejich přenosu v sítích digitálního televizního vysílání. Byly navrženy metody na principu adaptivní prostorové filtrace pro zlepšení vizuálního vjemu komprimovaných obrazů. Nová metoda optimalizace spočívá v aplikaci těchto metod na více komprimované (tedy datově menší) obrazy a zlepšení jejich vizuální kvality až v aplikaci. Dále byly analyzovány nové metody komprese JPEG2000 a H.264 pro kompresi obrazů. V práci je rovněž prezentována nová původní kombinovaná metoda komprese obrazů určených pro standardní a vysoké prostorové televizní rozlišení.

ABSTRACT

Compressed images are used very frequently in interactive applications in digital video broadcasting. New methods increasing efficiency of the image transmission in digital video broadcasting networks are proposed. Adaptive spatial filtering methods have been proposed for enhancement of the visual perception of the compressed images. New optimizing method is based on application of the filtering algorithms on more compressed images (data size are reduced). Visual quality enhancement is processed in interactive application. Further, new compression methods JPEG2000 and H.264 for image compression have been analysed. Novel compound image compression method for standard and high spatial television resolution is proposed in the thesis.