

Nové transformace pro formát JPEG

Stanislav Svoboda*



Abstrakt

Diskrétní kosinová transformace je často používána při zpracování signálu. Tato transformace je také jádrem standardu JPEG, který je dosud nejpoužívanější formát pro ztrátovou kompresi obrazových dat. Od doby standardizace JPEGu byla publikována spousta dalších transformací, které se chovají obdobně jako diskrétní kosinová transformace. Cílem tohoto článku je analyzovat využití těchto transformací v kompresním řetězci JPEGu. Každá transformace je zkoumána na základě její aplikace na datové sadě různých druhů obrázků a následného porovnání vůči referenční diskrétní kosinové transformaci. Transformace se hodnotily za pomocí metriky PSNR na testovaných obrázcích. Z měření vyplývá, že diskrétní kosinová transformace má lepší výsledky než ostatní testované transformace. Avšak při vyšším datovém toku má vlnková transformace Cohen-Daubechies-Feauveau 9/7 shodné výsledky s DCT. Z měření vyplývá, že lokální diskrétní kosinová transformace má lepší výsledky při nižším datovém toku než diskrétní kosinová transformace.

Klíčová slova: JPEG — ztrátová komprese obrazu — diskrétní kosinová transformace — diskrétní vlnková transformace — Walshova-Hadamardova transformace — diskrétní Chebyshevova transformace

*xsvobo0b@stud.fit.vutbr.cz, Fakulta informačních technologií, Vysoké učení technické v Brně

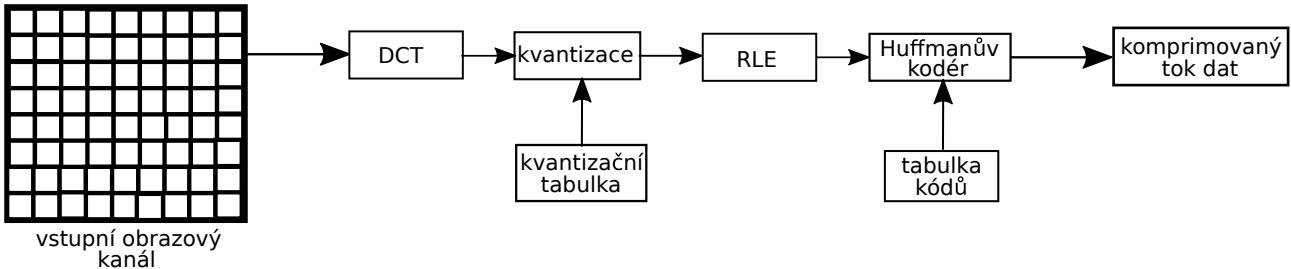
1. Úvod

V dnešní době roste potřeba po co nejkvalitnějších fotografiích, a tak roste i potřeba po efektivním uskladnění dat. Proto je důležité, co nejvíce zkomprimovat data se zachováním kvality obrazu. Například přenos velkého počtu obrázků s velkým rozlišením přes internet by byl bez určité úrovně komprese časově velice náročný, nehledě na velikost zabraného místa na disku.

JPEG z roku 1991 je dnes stále nejpoužívanější formát pro ztrátovou komprezi obrazu. Na Obrázku 1 je zobrazeno zjednodušené blokové schéma kompreze obrazu standardem JPEG. Zpracovává obraz po blocích 8×8 vzorků a je založen na rozkladu obrazu na planár-

ní kosinusoidy. Výhoda kosinusoid spočívá v tom, že dokáží koncentrovat velkou část energie signálu pouze do několika prvních koeficientů a tím je umožněna lepší komprese obrazu.

Od té doby bylo standardizováno několik dalších postupů, ale žádný jej v používání nenahradil. Jmenovitě JPEG 2000, který využívá diskrétní vlnkovou transformaci a rozkládá celý obraz bez použití bloků na tzv. vlnky. Výhoda vlnek je, že oscilují pouze v okolí bodu svého výskytu, což poskytuje dobrou prostorovou lokalizaci [1]. Dále JPEG XR [2], [3], jehož jádrem je LBT transformace (lapped biorthogonal transform). Následně formát WebP, který pro komprezi obrazu využívá diskrétní kosinovou transformaci a Walshovu-



Obrázek 1. Zjednodušené schéma JPEG.

Hadamardovu transformaci. Formát WebP je založený na formátu VP8 [4].

Z Obrázku 1 je vidět, že schéma JPEGu je jednoduché a populární. Bylo by možné do něj implementovat pokročilejší transformace, například ty výše zmíněné.

Ve zbytku článku je probráno v Sekci 2 schéma JPEG a poté jsou probrány v Sekci 3 transformace a seřazeny následovně: diskrétní trigonometrické transformace, vlnkové transformace a na závěr polynomiální transformace. Jednotlivé transformace jsou testovány na sestavě obrázků a hodnoceny vůči referenční DCT transformaci. Testovací sestava obrázků je složena z přibližně 500 různých obrázků [5], [6].

2. JPEG

Formát JPEG [7] definuje metodu ztrátové komprese obrazu. Jádrem tohoto formátu je diskrétní kosinová transformace.

Zde následuje zjednodušený popis konverze obrazových dat podle JPEGu. Nejdříve je vstupní obraz, pokud je barevný, před konverzí převeden do formátu YCbCr, u kterého mohou být složky C_b a C_r podvzorkovány, aniž by došlo k velkému viditelnému rozdílu v obrazu. Ve většině případů jsou obě chromatické složky podvzorkovány horizontálně i vertikálně na polovinu. Každý kanál obrazu je rozdělen na vzájemně disjunktní bloky 8×8 pixelů, z tohoto důvodu vzniká tzv. blokový efekt, jež se více projevuje se stoupající úrovni komprese. Příklad blokových artefaktů lze vidět na Obrázku 3. Jestliže velikost šířky či výšky obrazu není násobkem 8, je obraz zvětšen na nejbližší násobek 8, například duplikací posledního řádku či sloupce. Každá hodnota v bloku 8×8 je vycentrována na nulu, tudíž při 8bitové hodnotě pixelu dojde ke změně intervalu z $\langle 0, 255 \rangle$ na interval hodnot $\langle -128, 127 \rangle$. Poté je pro každý blok 8×8 spočtena diskrétní kosinová transformace, jejímž výsledkem je matice koeficientů (matice 8×8). Koeficient v levém horním rohu matice bývá označován jako DC koeficient (stejnosměrná složka) a zbylé koeficienty jako AC (střídavé složky). Výhodou této transformace je, že nejvíce koncentruje energii v blízkosti stejnosměrné složky. Na Obrázku 2

jsou ukázány bázové obrázky diskrétní kosinové transformace.

16	11	10	16	124	140	151	161
12	12	14	19	126	158	160	155
14	13	16	24	140	157	169	156
14	17	22	29	151	187	180	162
18	22	37	56	168	109	103	177
24	35	55	64	181	104	113	192
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	199

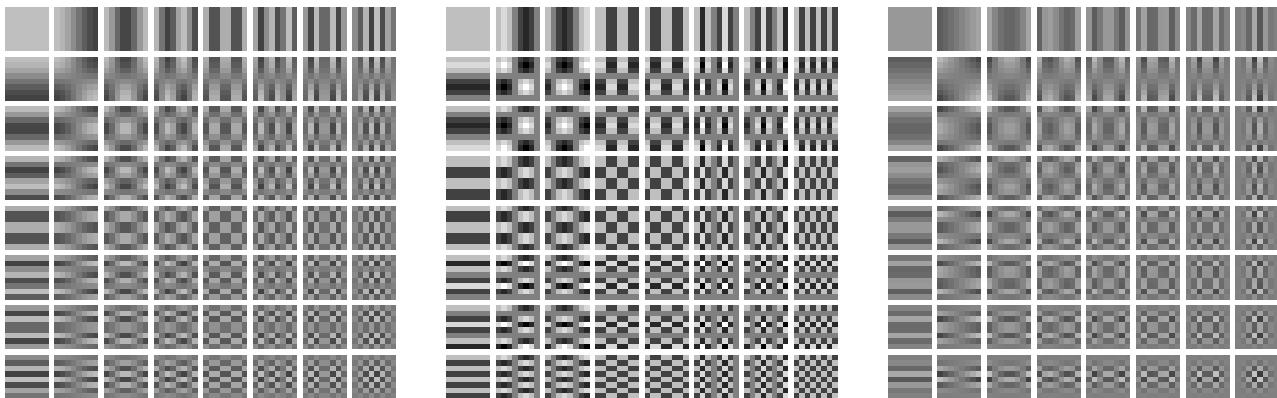
Tabulka 1. Příklad kvantovací tabulky Q.

Následně je provedeno kvantování koeficientů za pomocí kvantizační tabulky Tabulka 1. Kvantování koeficientů probíhá podělením koeficientu odpovídající hodnotou v kvantizační tabulce

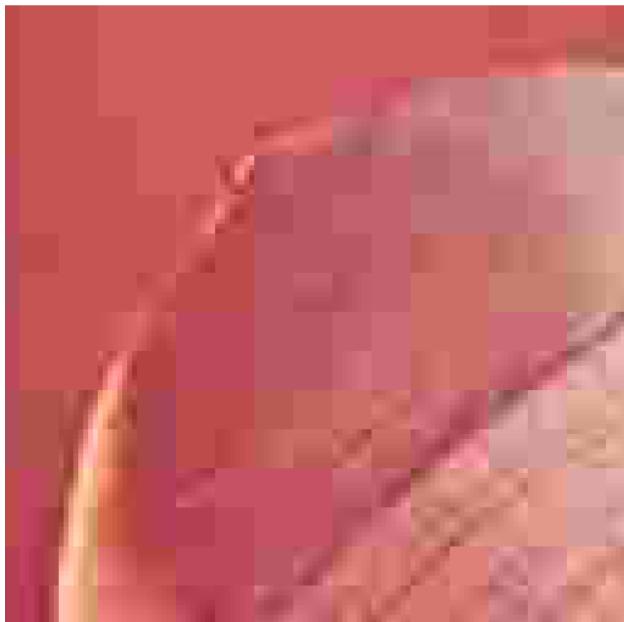
$$x_q(m, n) \doteq x(m, n) / Q(m, n)$$

a zaokrouhlením na nejbližší celé číslo. Změnou hodnot v kvantizační tabulce lze měnit úroveň komprese a tím i jeho kvalitu. Při kvantování koeficientů dochází k redukci vysokých frekvencí, které bývají po kvantizaci většinou nulové a tím dochází i ke ztrátě informace. Kvantované koeficienty jsou poté zlinearizované metodou zig-zag. Průchod zig-zag začíná u koeficientů s nižší frekvencí, tímto průchodem jsou vysoké frekvence uloženy ke konci řady, tudíž řada obsahuje ke konci posloupnosti nuly. Na tuto linearizovanou posloupnost koeficientů je aplikováno bezztrátové kódování RLE (run-length encoding), které kóduje sledy nul v AC koeficientech. Posledním krokem komprese je Huffmanovo kódování nebo aritmetické kódování. Aritmetické kódování je sice účinější než Huffmanovo, avšak u JPEGu se příliš nepoužívá.

Jelikož je schéma JPEG jednoduché, lze nahradit původní diskrétní kosinovou transformaci za jiné transformace, které budou schopny dát podobné frekvenční koeficienty. O náhradu DCT ve standardu JPEG se již zabývalo několik dalších prací, například [8], kde je popsána možnost použití diskrétní Chebyshevovy transformace v JPEGu, v této práci byly prezentovány lepší výsledky DChT než DCT u obrázků



Obrázek 2. Báze diskrétní kosinové transformace (vlevo), diskrétní Hartleyho transformace (střed) a diskrétní Chebyshevovy transformace (vpravo).



Obrázek 3. Ukázka blokového artefaktu.

s ostrými hranami a vysokou předvídatelností. Další prací je [9], kde je využita diskrétní kosinová transformace s přesahem bloku, kde vychází lépe lapped DCT při nižším datovém toku. V následující sekci jsou popsány aplikace některých transformací, které je možno použít namísto DCT. Tyto transformace byly implementovány ve volně dostupné knihovně libjpeg od Independent JPEG Group. Každá z těchto transformací je aplikována na setu různých druhů obrázků a posléze hodnocena vůči referenční diskrétní kosinové transformaci za pomocí metriky PSNR, která vyjadřuje poměr mezi maximální energií signálu a energií šumu.

3. Nové transformace pro JPEG

V této části jsou probrány některé transformace, které by byly vhodné jako náhrada za dosavadní diskrétní kosinovou transformaci v JPEGu. Nejdříve byl zvolen postup prozkoumat diskrétní sinovou transformaci a diskrétní Hartleyho transformaci.



Obrázek 4. Artefakty diskrétní sinové transformace.

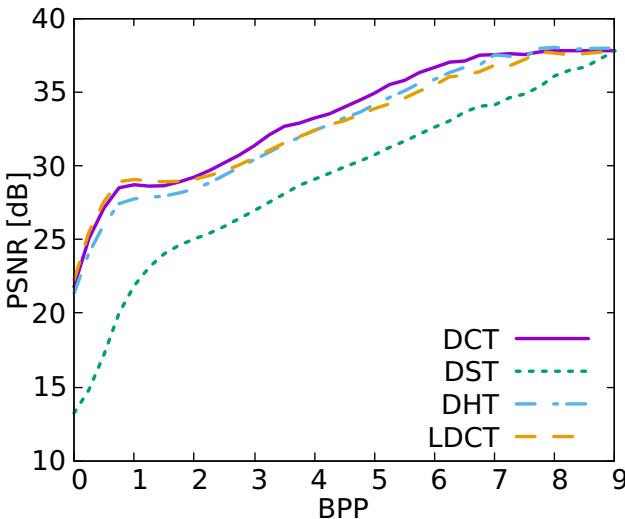
Diskrétní sinová transformace Jednou z diskrétních trigonometrických transformací je diskrétní sinová transformace [10] (DST), která je podobná diskrétní kosinové transformaci. Jelikož diskrétní kosinová transformace koncentruje energii do levého horního rohu, bylo zapotřebí nalézt takovou variantu diskrétní sinové transformace, která by měla stejné vlastnosti. Na základě implementace a analýzy výsledných koeficientů všech osmi variant DST jsem došel k závěru, že varianta, jež je v literatuře [11] označována jako DST varianta VII, je dána

$$X_i = \sqrt{\frac{2}{N+0.5}} \sum_{n=0}^{N-1} x_n \sin\left(\frac{(i+\frac{1}{2})\pi(n+1)}{N+\frac{1}{2}}\right), \quad (1)$$

kde x_n jsou vstupní hodnoty signálu, nejlépe koncentruje energii do levého horního rohu.

Dle výsledků v Obrázku 5 lze vyčíst, že diskrétní sinová transformace má podstatně horší výsledky než referenční diskrétní kosinová transformace, toto je zapříčiněno tvorbou artefaktů na hranicích jednotlivých bloků Obrázek 4.

Diskrétní Hartleyho transformace Další transformace, která spadá do skupiny diskrétních trigonometrických transformací, je diskrétní Hartleyho transformace [12] (DHT). Tato transformace je blízce přibuzná s diskrétní Fourierovou transformací, jelikož pro výpočet koeficientů využívá kosinové i sinové



Obrázek 5. Graf závislosti PSNR na BPP (počet bitů na pixel). Porovnání DCT, DST, DHT a LDCT.

funkce. Avšak oproti DFT vzorec pro výpočet koeficientů diskrétní Hartleyho transformace neobsahuje komplexní čísla, ale pouze reálná čísla. Rovnice pro výpočet dopředné DHT je dána

$$X_i = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \text{cas} \left(\frac{2i\pi n}{N} \right), \quad (2)$$

která je totožná s rovnicí pro výpočet inverzní DHT, kde funkce cas je vyjádřena:

$$\text{cas}\theta = \cos\theta + \sin\theta. \quad (3)$$

Na Obrázku 2 jsou vyobrazeny bázové funkce DHT.

Dle výsledků v Obrázku 5 lze vyčít, že diskrétní Hartleyho transformace má horší výsledky než DCT. Důvodem špatných výsledků je tvorba blokových artefaktů i při vyšším datovém toku, kdy už u DCT nejsou blokové artefakty viditelné.

Lokální diskrétní kosinová transformace Další z možností je použití modifikované diskrétní kosinové transformace. Jednou z těchto modifikací je lokální diskrétní kosinová transformace (LDCT).

LDCT [13] je metoda, která redukuje blokový efekt. Tato metoda využívá princip přesahu bloků, ale také umožňuje využít variantu DCT-II, která je použita ve standardu JPEG. Báze se skládá z kosinu vynásobeného funkcí zvonovitého tvaru, která přesahuje sousední intervaly. Funkce zvonovitého tvaru je více vysvětlena v [13]. Kosinové funkce, které jsou zde použity, jsou podobné jako bázové funkce DCT-II, tudíž jsou tyto lokální báze nazývány LDCT-II.

Násobení funkcí zvonovitého tvaru lze implementovat jako skládání přesahujících částí. LDCT se skládá ze dvou navazujících operací, z předzpracování vstupních dat za pomoci operace skládání, kdy je funkce

zvonovitého tvaru vycentrována na hranici dvou bloků a je použita při překládání čtyř pixelů z levého bloku do pravého bloku a čtyř pixelů z pravého bloku do levého. Tato operace je aplikována na všech hranicích bloků v řadách a následně ve sloupcích. Poté je nad těmito daty provedena diskrétní kosinová transformace. Rovnice pro operaci skládání je vyjádřena

$$f_-(i) = \frac{b(i)f(-i) - b(-i)f(i)}{b(i) - b(-i)}, \quad (4)$$

kde $f_-(i)$ je i -tá hodnota koeficientu nalevo (nahoře, pro sloupcový průchod) od hranice bloku a rovnice

$$f^+(i) = \frac{b(i)f(i) - b(-i)f(-i)}{b(i) - b(-i)}, \quad (5)$$

kde $f^+(i)$ je i -tá hodnota koeficientu napravo (dole, pro sloupcový průchod) od hranice bloku a rovnice

$$b(i) = \beta \left(\frac{i + \frac{1}{2}}{\frac{N}{2}} \right) \quad (6)$$

je funkce zvonovitého tvaru, kde funkce $\beta(x)$ je definována:

$$\beta(x) = \begin{cases} 0 & : x < -1 \\ \frac{1}{2}(1 + \sin(\frac{\pi}{2}x)) & : -1 \leq x \leq 1 \\ 1 & : x > 1 \end{cases}. \quad (7)$$

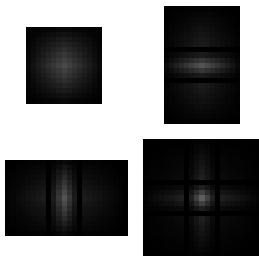
Dle výsledků lokální diskrétní kosinové transformace v Obrázku 5 lze vidět, že při nižším datovém toku má LDCT lepší kvalitu obrazu než referenční DCT, avšak při vyšším datovém toku je kvalita obrazu horší. Lepší výsledky LDCT jsou způsobeny předzpracováním vstupních hodnot, čímž dochází k zajištění spojitosti mezi jednotlivými bloky a tím k redukcí blokových artefaktů, které jsou typické pro DCT, zvláště při nižších kvalitách obrazu.

diskrétní vlnkové transformace Další skupina transformací, která by byla vhodná jako náhrada DCT, jsou diskrétní vlnkové transformace. Diskrétní vlnková transformace (DWT) [14] je transformace s bazí tvořenou funkcemi tzv. vlnkami. DWT rozkládá vstupní signál do vlnek, škálovaných a posunutých variant mateřské vlnky. V obrazu jsou největší vlnkové koeficienty umístěny v oblasti s vyššími frekvencemi (u hran objektů nebo u nepravidelných textur).

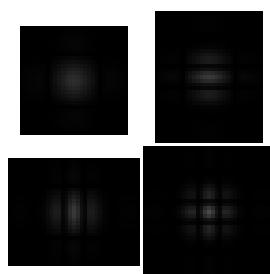
Algoritmus založený na vlnkových transformacích pracuje s celým obrázkem a převádí jej na popisy formou vlnových funkcí. Důvodem zpracování obrazu jako celku je, aby se předešlo častým chybám koncových bodů, jelikož při výpočtu DWT koeficientů jsou potřeba i okolní hodnoty. Tento průchod, stejně



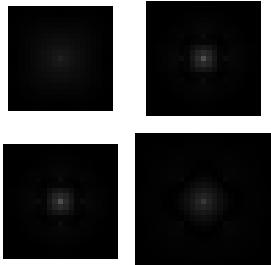
Obrázek 6. Porovnání tvorby artefaktů na hranách objektů u neseparabilní CDF 9/7 (vlevo) a separabilní CDF 9/7 (vpravo).



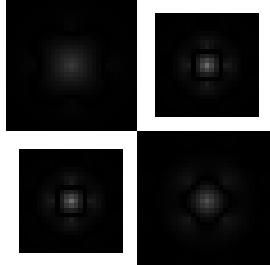
Obrázek 7. Báze separabilní CDF 5/3.



Obrázek 8. Báze separabilní CDF 9/7.



Obrázek 9. Báze neseparabilní CDF 5/3.



Obrázek 10. Báze neseparabilní CDF 9/7.

jako LDCT, nevytváří blokové artefakty jako tomu je u DCT.

Vlnková transformace [14] je využita i ve standardu JPEG 2000, který byl vytvořen jako náhrada za standard JPEG. Standard JPEG 2000 využívá konkrétně Cohen-Daubechies-Feauveau (CDF) 5/3 pro bezzátravovou kompresi obrazu a CDF 9/7 pro ztátovou kompresi obrazu. Obě z těchto transformací je možno nahradit namísto diskrétní kosinové transformace.

Tradiční metoda pro výpočet koeficientů DWT je metoda založená na konvoluci, která je složena ze dvou filtrů, dolnopropustný a hornopropustný filtr [15]. Vstupní signál je rozložen na nízké frekvence a vysoké



Obrázek 11. Bitová reverze indexů.

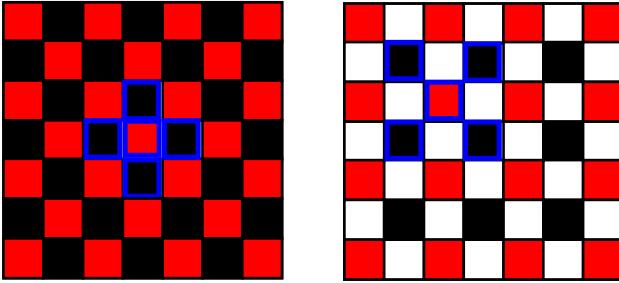
frekvence. Tato metoda je však neefektivní, jelikož polovina z vypočtených koeficientů je redundantní.

Pro výpočet koeficientů lze také použít lifting schéma [16]. Lifting schéma se používá pro rychlejší a jednodušší výpočet DWT koeficientů oproti komplexnosti konvolučně založených DWT filtrů. Schéma lifting snižuje výpočetní nároky faktORIZACÍ polyfázových matic (polyfázová matice je matice, která obsahuje filtrační banky) [17] DWT do jednoduchých matic.

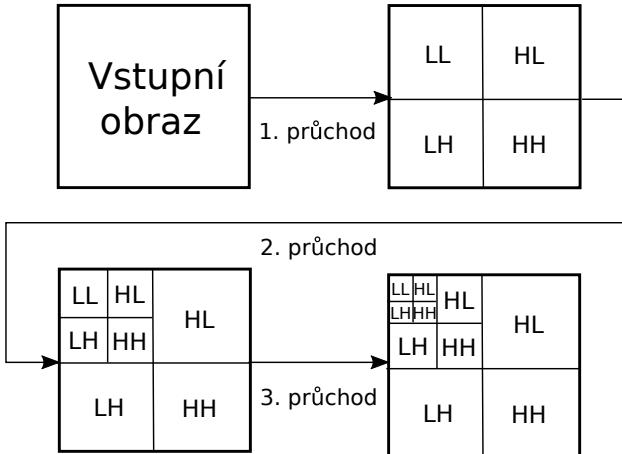
Transformace je dále aplikována ještě dvakrát, po každé na části s nízkými frekvencemi LL Obrázek 13. Pro uložení koeficientů do bloků 8×8 jsou polohy koeficientů zaměněny za pomocí bitové reverze indexů jak po řádcích, tak i po sloupcích, čímž se přesunou do levého horního rohu nízké frekvence a tudíž splňují formu, jak jsou uloženy koeficienty DCT Obrázek 11.

Modifikace CDF 5/3 a CDF 9/7 Další možnou transformací je modifikace CDF 5/3 a CDF 9/7. Jednou z těchto modifikací je red-black transformace (neseparabilní transformace) [18]. Separabilní 2D DWT dokáže detektovat horizontální, vertikální a diagonální prvky v původních datech. Ostatní prvky nejsou až tak jednoduše detektovatelné. Tento problém řeší neseparabilní 2D DWT.

2D DWT, jehož koeficienty lze vypočítat za pomocí schématu lifting, které se mírně liší od schéma lifting použitého u separabilní DWT. U neseparabilní



Obrázek 12. Lifting schéma neseparabilní DWT.
První dělení (vlevo) a druhé dělení (vpravo).

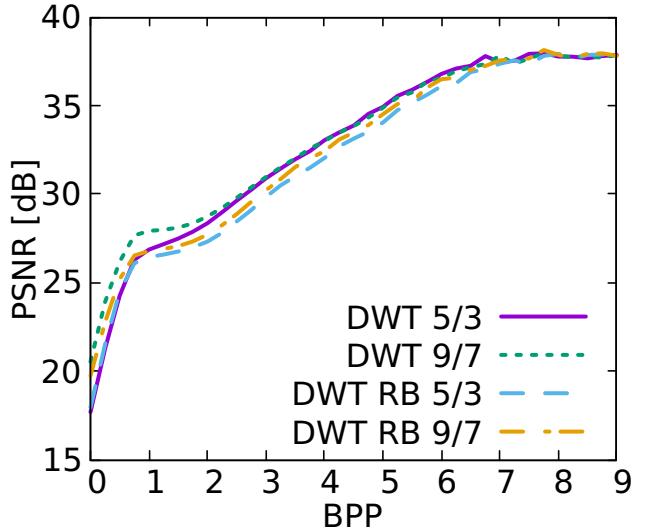


Obrázek 13. Výsledná matice koeficientů DWT
(první znak značí nízké (L) nebo vysoké (H)
frekvence horizontální, druhý znak značí vertikální)

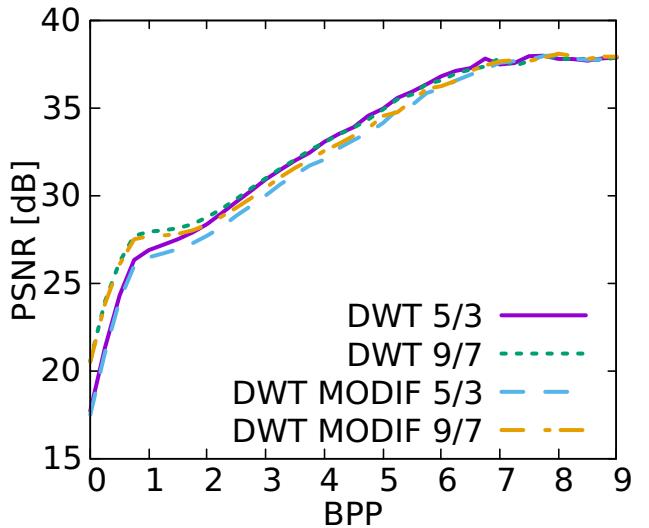
2D DWT jsou data rozdělena na dvě podmnožiny za pomocí quincunx mřížky (této transformaci se také říká red-black transformace) [19], která je vyznačena na Obrázku 12. Toto dělení je aplikováno dvakrát v rámci jednoho průchodu. Při druhém dělení je quincunx mřížka otočená o 45 stupňů. Tato transformace je též dále aplikována dvakrát na části s nízkými frekvencemi. A stejně jako u separabilní CDF 5/3 a CDF 9/7 se provede záměna poloh koeficientů.

Další modifikací CDF 5/3 a CDF 9/7 je využití separabilní 1D lifting schéma CDF 5/3 a CDF 9/7, které je dále aplikováno i na části s vyššími frekvencemi LH, HL a HH Obrázek 13.

Dle naměřených výsledků v Obrázku 14 a Obrázku 15 lze vidět, že separabilní CDF 5/3 a CDF 9/7 mají lepší výsledky než neseparabilní i než modifikace separabilní CDF 5/3 a 9/7. Horší výsledky neseparabilní CDF 9/7 jsou způsobeny tvorbou artefaktů obzvláště na hranách objektů, kde se tvoří skvrny, zatímco u separabilní je pouze vidět rozmazání v jedné dimenzi jako v Obrázku 6 na okraji listu. CDF 9/7 vždy vykazovala lepší výsledky než CDF 5/3. Tudíž z testovaných vlnkových transformací vychází nejlépe separabilní CDF 9/7.



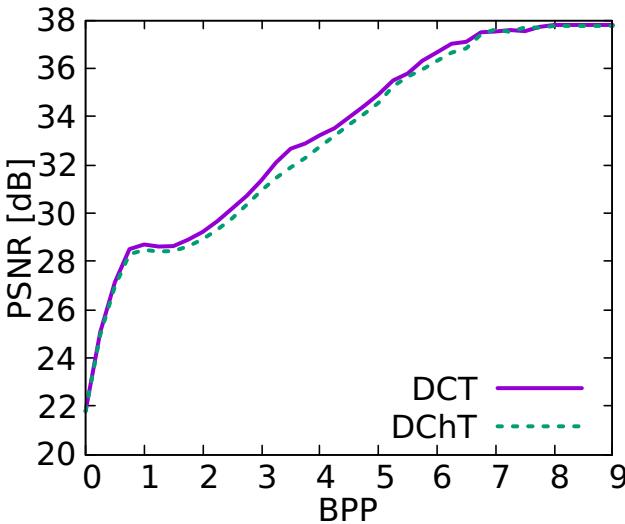
Obrázek 14. Graf závislosti PSNR na BPP, porovnání separabilní CDF 5/7 a 9/7 a neseparabilní CDF 5/7 a 9/7.



Obrázek 15. Graf závislosti PSNR na BPP, porovnání separabilní CDF 5/7 a 9/7 a modifikace CDF 5/7 a 9/7.

Diskrétní Chebyshevova transformace Další skupina transformací, která by mohla nahradit DCT jsou polynomiální transformace. Jednou z těchto transformací je diskrétní Chebyshevova transformace. Diskrétní Chebyshevova transformace (DChT) [20] je relativně nová transformace, která využívá Chebyshevovy momenty k vyjádření bázové matice. Stejně jako diskrétní kosinová transformace, tak i diskrétní Chebyshevova transformace je odvozena z ortonormálních Chebyshevových polynomů. Chebyshevových polynomů existuje několik druhů, kde je z nich nejdůležitější polynom prvního druhu $T_n(x)$, který v literatuře bývá označován jako Chebyshevův polynom. Rovnice pro výpočet Chebyshevova polynomu p -tého řádu je dána

$$t_p(x) = (A_1 x + A_2) t_{p-1}(x) + A_3 t_{p-1}(x), \quad (8)$$



Obrázek 16. Graf závislosti PSNR na BPP, porovnání DCT a DChT.

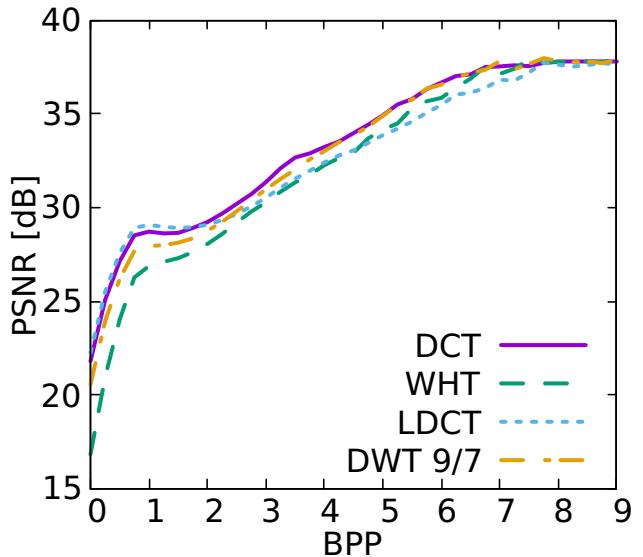
kde rovnice pro výpočet hodnot A_1 , A_2 a A_3 lze nalézt v [8]. Chebyshevovy polynomy mají jednotkovou váhu a algebraické rekurentní vztahy zahrnující reálné koeficienty, což je činní vhodné pro definování transformaci obrazu pro kompresi a dekompresi.

Bázové vektory diskrétní kosinové transformace jsou úzce spjaty s diskrétními Chebyshevovými polynomy, což motivuje k použití jiných typů Chebyshevových polynomů jako náhradu diskrétní kosinové transformace [21]. V Obrázku 2 jsou vyobrazeny bázové funkce diskrétních Chebyshevových polynomů. Báze DChT je vypočtena za použití Chebyshevových polynomů.

Z výsledků vyobrazených v Obrázku 16 lze vyčíst, že diskrétní Chebyshevova transformace je ve všech částech grafu mírně horší než referenční diskrétní kosinová transformace. Při testování na jednotlivých obrázcích bylo zjištěno, že DChT má lepší vlastnosti u obrázků s větším množstvím ostrých hran.

Walshova-Hadamardova transformace Další možnou transformací je Walshova-Hadamardova transformace [10] (WHT). Tato transformace má výhodu v rychlosti výpočtu koeficientů [22], jelikož veškeré výpočty jsou prováděny pouze nad celými čísly dle vzorce

$$X_i = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n W(i, n) \quad (9)$$



Obrázek 17. Graf závislosti PSNR na BPP, shrnutí.

kde je zapotřebí pouze operace sčítání a odčítání, jelikož bázová matice

$$W = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ +1 & +1 & +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 & +1 & -1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

obsahuje pouze hodnoty +1 a -1.

Na výsledku Walshovy-Hadamardovy transformace v Obrázku 17 lze vidět, že WHT nepřekonává DCT v žádné části grafu. Jedinou výhodou této transformace je rychlosť jejího výpočtu oproti DCT, avšak jako náhrada DCT není vhodná.

Shrnutí V této sekci je probráno pouze několik vhodných transformací, které bylo možné implementovat namísto DCT v JPEGu. Z testování trigonometrických transformací vychází nejlépe, kromě diskrétní kosinové transformace, ještě její modifikace lokální diskrétní kosinová transformace, která měla lepší kvalitu obrazu při nižším datovém toku než DCT a navíc odstraňuje blokové artefakty při nižší kvalitě obrazu, což je možno vidět na Obrázku 18.

Z vlnkových transformací dopadla nejlépe separabilní CDF 9/7, avšak při srovnání této transformace s DCT v Obrázku 17 lze vidět, že DCT má lepší výsledky, avšak při vyšším datovém toku je kvalita obrazu přibližně totožná. Přesto při testování separabilní CDF 9/7 na jednotlivých obrázcích vykazovala CDF 9/7 v určitých případech lepší výsledky než DCT. Dobré výsledky se především objevovaly u obrázků, kde převažovaly větší počty hran. U těchto obrázků



Obrázek 18. Porovnání DCT (uprostřed, PSNR=23,0) a lokální DCT (vpravo, PSNR=23,3).

měla vlnková transformace lepší vlastnosti při vyšším datovém toku.

Z výsledků testování diskrétní Chebyshevovy transformace lze vidět, že se jako náhrada DCT nehodí. Stejně jako DChT, tak i Walshova-Hadamardova transformace se nehodí jako náhrada DCT, avšak tato transformace má oproti DCT výhodu v rychlosti výpočtu koeficientů.

Dále je možná diskuse na téma dalších transformací, kterými by bylo možné DCT nahradit a které by měly lepší vlastnosti než DCT.

4. Závěr

Tato práce pojednává o použití některých transformací, které lze nahradit namísto DCT ve standardu JPEG. Jednalo se o transformace ze skupiny diskrétních trigonometrických transformací, diskrétních vlnkových transformací a polynomiálních transformací. Tyto transformace byly implementovány do knihovny libjpeg a testovány na sestavě obrázků. Výsledky z každé transformace byly poté hodnoceny vůči referenční diskrétní kosinové transformaci, zda by se uplatnily jako náhrada za tuto transformaci.

Ze všech zkoumaných transformací byla nalezena jediná lokální diskrétní kosinová transformace, která překonala DCT, avšak pouze při nižším datovém toku. Také se ukázalo, že tato transformace redukuje blokové artefakty, které jsou pro DCT typické. Redukovat blokové artefakty dokázaly i vlnkové transformace, avšak nedokázaly překonat DCT, pouze při vyšším datovém toku vykazovala separabilní CDF 9/7 stejně výsledky jako DCT.

Vzhledem k existenci mnoha dalších transformací, kterými lze diskrétní kosinovou transformaci v JPEGu nahradit, nabízí možnost zabývat se touto problematikou i do budoucna. Možné by bylo pokračovat v polynomiálních transformacích, například diskrétní Zolotarevovu transformaci nebo použitím jiné vlnky v diskrétní vlnkové transformaci.

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu Ing. Davidu Bařinovi, Ph.D. za odborné vedení, rady a podněty k mojí práci.

Seznam zkratek

DCT	diskrétní kosinová transformace
DST	diskrétní sinová transformace
DWT	diskrétní vlnková transformace
LDCT	lokální diskrétní kosinová transformace
DHT	diskrétní Hartleyho transformace
DChT	diskrétní Chebyshevova transformace
WHT	Walshova-Hadamardova transformace
CDF	Cohen-Daubechies-Feauveau
BPP	bits per pixel

Tabulka 2. Seznam zkratek použitých v článku.

Literatura

- [1] E. Anisimova, J. Bednář, and P. Páta. *Image compression algorithms under JPEG with lapped orthogonal transform and discrete cosine transformation*. *Electro revue*, 15:238, 2013.
- [2] Standard JPEG XR: ISO/IEC 29199-2:2010.
- [3] Doporučení JPEG XR: ITU-T T.832.
- [4] J. Bankski a J. Koleszar a L. Quillio a J. Salonen a P. Wilkins a Y. Xu. *Doporučení WebP: RFC 6386*.
- [5] A. Olmos and F. A. A. Kingdom. *A biologically inspired algorithm for the recovery of shading and reflectance images*, 2004.
- [6] R. Franzen. *Kodak lossless true color image suit*.
- [7] Standard JPEG: ISO/IEC 10918-1:1994.
- [8] R. Mukundan. *Transform coding using discrete chebichef polynomials*. In *Engineering: Conference contributions*, pages 1–6, 2006.

- [9] A. Bhatt and A. K. Bhatt. *Image compression algorithms under JPEG with lapped orthogonal transform and discrete cosine transformation*. *International journal of engineering research and development*, 7:6–10, 2013.
- [10] D. Salomon. *Data compression the complete reference*. 2004.
- [11] S. A. Martucci. *Symmetric convolution and the discrete sine and cosine transforms*. *IEEE transactions on signal processing*, 42:1050, 2002.
- [12] V. K. Singh, S. Gupta, and U. D. Dalal. *Performance comparsion of discrete Hartley transform (DHT) and fast Fourier Transform (FFT) OFDM system in AWGN channel*. *International journal of computer applications*, 70:1–3, 2013.
- [13] G. Aharoni, A. Averbuch, R. Coifman, and M. Israeli. *Local cosine transform - A method for the reduction of the blocking effect in JPEG*. *Journal of mathematical imaging and vision, special issue on wavelets*, 3:7–38, 1993.
- [14] S. Mallat. *A wavelet tour of signal processing*. 2008.
- [15] M. E. Angelopoulou and P. Y. K. Cheung. *Implementation and comparsion of the 5/3 lifting 2D discrete wavelet transform computation schedules on FPGAs*. *Journal of VLSI signal processing*, 51:3–5, 2008.
- [16] R. Claypoole, R. Baraniuk, and Nowak R. *Adaptive wavelet transforms via lifting*. In *Proceedings of the 1998 IEEE International conference on acoustics, speech and signal processing*, volume 6, page 3, 2008.
- [17] C. Valens. *The fast lifting wavelet transform*, 2004.
- [18] G. Uytterhoeven and A. Bultheel. *The red-black wavelet transform*, 1997.
- [19] M. Feilner, D. Van De Ville, and M. Unser. *An orthogonal family of quincunx wavelets with continuously-adjustable order*. *IEEE transactions on image processing*, 14:3, 2004.
- [20] P. Corr, D. Stewart, P. Hanna, J. Ming, and F.J. Smith. *Discrete Chebyshev transform. A natural modification of the DCT*. In *Proceedings 15th International conference on pattern recognition*, pages 1142–1145, 2000.
- [21] O. Hunt and R. Mukundan. *A comparison of discrete orthogonal basis functions for image compression*. In *Proceedings of conference on image and vision computing New Zealand (IVCNZ)*, pages 53–58, 2004.
- [22] S. Lu and aj. *A low complexity 2-Power transform for video compression*. University of science and technology of China, Microsoft Research Asia, 2013.