

**KOLORIMETRICKÉ ZKRESLENÍ ZPŮSOBENÉ NOVÝMI ZOBRAZOVACÍMI SYSTÉMY, ASPEKTY
MODERNÍCH OBRAZOVÝCH KOMPRESNÍCH METOD**

Jan Kaiser
xkaiserj@feld.cvut.cz

ČVUT, Fakulta elektrotechnická, katedra Radioelektroniky
Technická 2, 166 27 Praha 6

1. Úvod

Příspěvek se zabývá stanovením a hodnocením obrazové kvality moderního reprodukčního systému. Jedná se o hodnocení kolorimetrického zkreslení TFT LCD displejem a dále kolorimetrického zkreslení nasazením kompresních obrazových metod. Při současném způsobu přenosu obrazové informace nelze obě výše uvedené části vypustit. Nasazení ztrátových obrazových kompresních metod je vzhledem k objemu dat nevyhnutelné, na druhou stranu je nutné se zabývat, jaké zkreslení do reprodukce přidá samotný zobrazovací prvek, zvláště není-li vybaven potřebnými barevnými profily, v nichž obrazová data vznikala.

2. Kritéria zkreslení obrazu

Pro hodnocení obrazové kvality byla užitá subjektivní i objektivní kritéria. Subjektivní test je založen na hodnocení obrazu pozorovateli, kteří obraz hodnotí systémem podobným klasifikaci ve školství. Objektivní kritéria zahrnují výpočet různých charakteristik nad obrazovými daty. Byly zvoleny následující charakteristiky počítané v programovém prostředí Matlab: střední kvadratická odchylka RMSE v barevném prostoru RGB, právě pozorovatelný rozdíl JND v kolorimetrickém systému CIEu'v' a Euklidovská vzdálenost ΔE v prostoru CIE $L^*a^*b^*$ [1].

4. Kolorimetrické zkreslení TFT LCD displeje

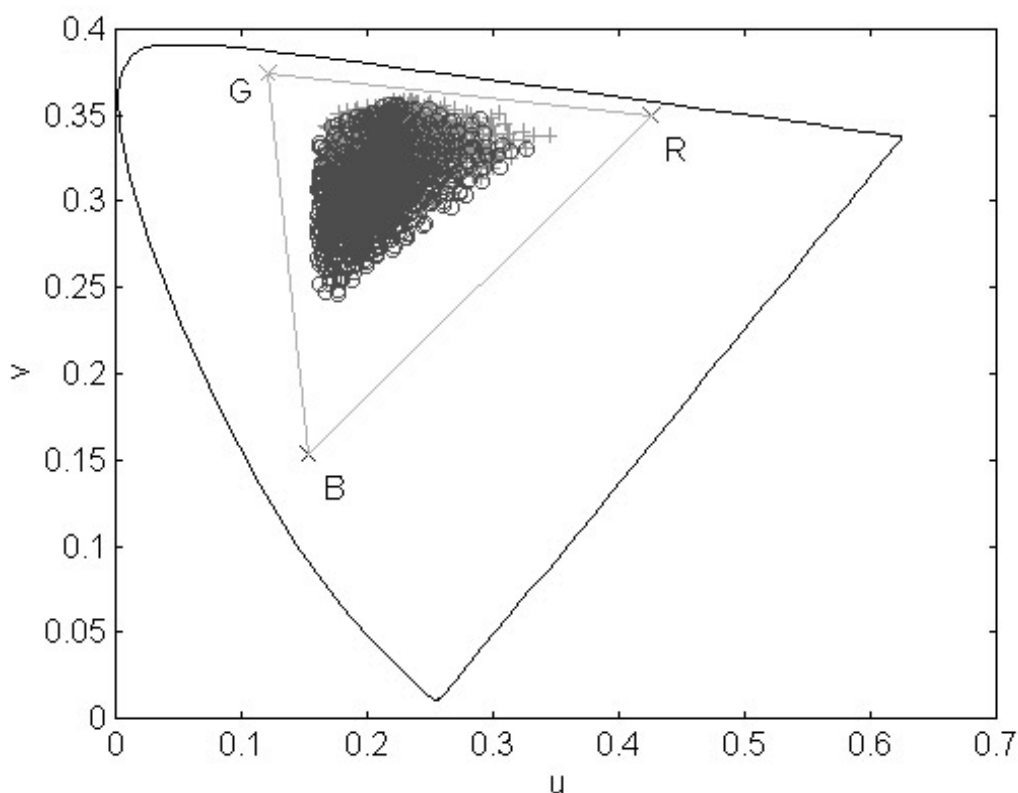
Zobrazujeme-li na takovém displeji obrazovou informaci získanou v odlišném a navíc neznámém trichromatickém systému, nemůžeme provést kolorimetrickou korekci a dochází ke zkreslení. Jako příklad je dále uvedena reprodukce na TFT LCD Hitachi TX38D14VC0CAA, jehož souřadnice základních světél jsou v Tab. 1. Předpokládejme, že obrazová informace byla získána v barevném systému PAL, jehož souřadnice základních světél najdeme rovněž v Tab. 1. Určit kolorimetrické zkreslení vlastně znamená stanovit

chybu při reprodukci způsobenou zanedbáním diferencí barevných souřadnic základních světél obou soustav.

LCD	x	y	PAL	x	y
R	0,62	0,34	R	0,64	0,33
G	0,29	0,60	G	0,29	0,60
B	0,15	0,10	B	0,15	0,06
W	0,310	0,340	D₆₅₀₀	0,313	0,329

Tab. 1: Barevné souřadnice základních světél zobrazovače LCD a PAL

Testovacími vzorky je kompletní sada 1269 Munsellových spekter tabelovaných od 380 nm do 800 nm po 1 nm [2]. Jako objektivní kritérium bylo zvoleno JND. Střední hodnota kolorimetrického zkreslení celého užitého souboru vzorkových barev $\bar{N}_{LCD} = 6,10$ jnd. Střední kvadratická odchylka kolorimetrického zkreslení celého užitého souboru vzorkových barev $\delta^2 N_{LCD} = 0,53$. Výsledky prezentované v diagramu CIEuv jsou na Obr. 1.



Obr. 1: Výsledky testu kolorimetrického zkreslení při reprodukci obrazových dat v normě PAL TFT LCD displejem Hitachi TX38D14VC0CAA, vynesena reprodukční trojúhelník $(RGB)_{LCD}$, (správné trichromatické souřadnice – křížky, reprodukované trichromatické souřadnice – kolečka)

Prvotním náhledem na diagram barev CIEuv vidíme, že originální vzorky jsou reprodukcí testovaným TFT LCD displejem posunuty směrem k modré barvě. Detailnějším rozbořením bychom však zjistili, že tato tendence není pro všechny vzorky jednoznačná.

5. Zkreslení kompresními metodami

Vyhodnocovaný obraz – studiový portrét (viz. Obr. 2) byl získán naskenováním diapozitivního středofarmátového snímku na profesionálním bubnovém skenru v bitové hloubce 8 bitů/kanál. Následně byl digitalizovaný testovací obraz decimován na velikost 720x576 pixelů, tedy formát digitální televize. Obraz byl komprimován do tří formátů: JPEG 4:4:4, JPEG 4:2:2 a WI (vlnková transformace, 3 cesty). V každém formátu bylo uloženo několik snímků se zvyšujícím se kompresním poměrem. (viz Obr. 3).

5.1. Metodika subjektivního testu obrazové kvality

Pro každý kompresní formát byl proveden zvláštní test. Sekvence vyhodnocovaných obrazů byla následující: První byl řazen originál následovaný nejméně komprimovaným obrazem, dále originál a za ním komprimovaný obraz s vyšším kompresním poměrem atd. Pozorovatelé měli možnost vracet se v sekvenci zpět a měli libovolný čas na vyhodnocení. Pozorovatelé vyhodnocovali postupně čtyři stupně kvality: vynikající obraz, právě postřehnutelný rozdíl mezi originálem a komprimovaným obrazem, akceptovatelný a konečně neakceptovatelný obraz.



Obr. 2: Testovací obraz

5.2. Výsledky

STUDIOVÝ DVOJPORTRÉT, JPG 4:4:4, 24 bits RGB

obraz	kompresní poměr	RMSE (RGB)	JND (CIE u'v')	ΔE (CIE L*a*b*)	subjektivní kvalita
001Kri_JPG444_8_1_10	1:10	2.8958	5.177	5.1992	vynikající
002Kri_JPG444_23_1_20	1:20	4.4171	6.7146	6.0629	vynikající
003Kri_JPG444_41_1_30	1:30	5.4085	7.7432	6.7377	vynikající
004Kri_JPG444_60_1_40	1:40	6.1283	8.5631	7.1982	právě postřeh. rozdíl
005Kri_JPG444_72_1_50	1:50	6.7876	9.3838	8.0242	akceptovatelný
006Kri_JPG444_78_1_60	1:60	7.322	10.289	8.8418	akceptovatelný
007Kri_JPG444_83_1_70	1:70	7.8894	11.2495	9.4649	neakceptovatelný
008Kri_JPG444_86_1_80	1:80	8.5013	12.8853	10.6083	neakceptovatelný
009Kri_JPG444_88_1_90	1:90	8.9646	12.4561	10.9706	neakceptovatelný

Obr. 3A: Vyhodnocení obrazové kvality pro kompresní formát JPG 4:4:4, poznámka: první zpozorované zkreslení na pozadí, ve tváři a očích

STUDIOVÝ DVOJPORTRÉT, JPG 4:2:2, 24 bits RGB

obraz	kompresní poměr	RMSE (RGB)	JND (CIE u'v')	ΔE (CIE L*a*b*)	subjektivní kvalita
001Kri_JPG422_6_1_10	1:10	2.8237	4.931	5.5331	vynikající
002Kri_JPG422_19_1_20	1:20	4.2679	6.7569	6.4598	vynikající
003Kri_JPG422_34_1_30	1:30	5.2317	7.674	7.1167	vynikající
004Kri_JPG422_51_1_40	1:40	5.8891	8.3495	7.4367	právě postřeh. rozdíl
005Kri_JPG422_65_1_50	1:50	6.4917	9.1242	8.0295	akceptovatelný
006Kri_JPG422_73_1_60	1:60	7.0029	9.7386	8.7113	akceptovatelný
007Kri_JPG422_78_1_70	1:70	7.4625	10.4152	9.2478	akceptovatelný
008Kri_JPG422_82_1_80	1:80	7.9023	10.9075	9.681	neakceptovatelný
009Kri_JPG422_84_1_90	1:90	8.2346	11.3791	10.0812	neakceptovatelný

Obr. 3B: Vyhodnocení obrazové kvality pro kompresní formát JPG 4:2:2, poznámka: první zpozorované zkreslení v očích a vlasech

STUDIOVÝ DVOJPORTRÉT, WI 3 cesty, 24 bits RGB

obraz	kompresní poměr	RMSE (RGB)	JND (CIE u'v')	ΔE (CIE L*a*b*)	subjektivní kvalita
001Kri_WI_15_1_10	1:10	2.5886	4.7605	4.9967	vynikající
002Kri_WI_20_1_20	1:20	3.4866	6.1361	5.6618	vynikající
003Kri_WI_25_1_30	1:30	4.2814	7.0565	6.1836	vynikající
004Kri_WI_29_1_40	1:40	5.0743	7.6932	6.4475	vynikající
005Kri_WI_32_1_50	1:50	5.6532	8.3804	6.7848	právě postřeh. rozdíl
006Kri_WI_35_1_60	1:60	6.1636	8.6796	7.0707	akceptovatelný
007Kri_WI_37_1_70	1:70	6.3951	8.8632	7.2712	akceptovatelný
008Kri_WI_39_1_80	1:80	6.7046	9.1514	7.4234	akceptovatelný
009Kri_WI_41_1_90	1:90	7.0719	9.4429	7.6162	akceptovatelný
010Kri_WI_43_1_100	1:100	7.2368	9.7966	7.9302	akceptovatelný
011Kri_WI_45_1_110	1:110	7.5653	9.9666	8.0605	akceptovatelný
012Kri_WI_46_1_120	1:120	7.7166	10.147	8.1625	neakceptovatelný
013Kri_WI_48_1_130	1:130	7.9909	10.232	8.2843	neakceptovatelný
014Kri_WI_49_1_140	1:140	8.1238	10.431	8.4698	neakceptovatelný

Obr. 3C: Vyhodnocení obrazové kvality pro kompresní formát WI, poznámka: první zpozorované zkreslení – rozmazání, zneostření celého obrazu

6. Závěr

Stanovené výsledky subjektivního testu platí pro televizní podmínky reprodukce a další závěry z porovnání výsledků subjektivních a objektivních testů tedy platí pro digitální televizi jakožto součást multimédií.

V literatuře se uvádí, že právě postřehnutelný rozdíl mezi originálním a zkresleným obrazem odpovídá $JND=2$ a $\Delta E=2.3$. Vidíme, že v oblasti televizní reprodukce obrazu nejsme schopni postřehnout rozdíl ani při zdvojnásobení uvedených hodnot. Je to dáno nejen charakterem reprodukce obrazu v televizi, ale je to také otázkou vhodnosti kritéria. Uvedená kritéria JND a ΔE totiž spolehlivě popisují barevné rozdíly pozorovatelné člověkem ve velkých stálobarevných plochách, tedy tam, kde nemohou figurovat maskovací efekty [3]. Mohlo by se namítnout, že pozadí testovaného obrazu takovou stálobarevnou plochou je. Na testovacím obrázku jsou však objektem zájmu tváře portrétovaných osob, pozorovatel věnuje většinu pozorovacího času právě jim.

Ze stanovených hodnot vyplývá: Všechny tři charakteristiky objektivního hodnocení jsou navzájem silně korelované a navíc objektivní charakteristiky korelují se subjektivním hodnocením. Ještě excelentní obraz odpovídá přibližně $RMSE=5$, $JND=7.5$ a $\Delta E=6.5$. Ještě akceptovatelná kvalita obrazu podle subjektivního hodnocení odpovídá přibližně těmto hodnotám objektivních charakteristik: $RMSE=7.5$, $JND=10$ a $\Delta E=9$.

JPEG 4:4:4 obsahuje zcela nadbytečné množství barevné informace. Pro dosažení stejných kompresních poměrů jako u JPEG 4:2:2, vyžaduje JPEG 4:4:4 hrubší kvantování a masivnější ořezání DCT koeficientů. Proto je při stejném stupni kompresního poměru jak objektivně, tak subjektivně lépe hodnocen JPEG 4:2:2. Pozorovatelé při subjektivním testu spatřili rozdíly nejprve v očích a tváři osob a na pozadí.

Waveletová komprese obrazů dává nejlepší výsledky – při stejném kompresním poměru jsou obrazy subjektivně hodnoceny nejlépe. Ještě akceptovatelné waveletovou kompresí zkomprimované obrazy poskytují kompresní poměry až 1:110, zatímco norma JPEG dovoluje obrazy zkomprimovat do ještě akceptovatelné kvality max. při kompresním poměru 70:1. Zkreslení při waveletové kompresi bylo pro pozorovatele „přirozenější“, typické rozmazávání některým připomínalo analogovou normu videozáznamu VHS.

Zkreslení samotným displejem leží na hranici postřehnutelnosti, ovšem při reprodukci i ještě vynikajících obrazů displejem bez potřebných barevných profilů je pozorována o stupeň zhoršená kvalita.

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem č. 102/02/0133 „Kvalitativní aspekty obrazových kompresních metod v multimediálních systémech“ Grantové agentury České republiky. Část výzkumu byla podpořena interním grantem č. 0210913 „Kolorimetrie nových snímacích a zobrazovacích TV soustav“ FEL ČVUT.

Literatura

- [1] Pazderák J. Kolorimetrie snímacích soustav barevné televize a elektronické kolorimetrické korekce, Edice ČS. TELEVIZE, řada II, svazek 16, Praha 1974, 150 s.

- [2] <http://cvision.ucsd.edu/index.html>
CIE Standards, Color spectra databases

- [3] Ch. Lambrecht Vision Models and Applications to Image and Video Processing, Kluwer Academic Publishers, London, 2001