



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

SUBJEKTIVNÍ TESTY KVALITY VIDEOA PRO ULTRA HDTV VIDEOSEKVENCE

SUBJECTIVE VIDEO QUALITY TESTS ON ULTRA HDTV VIDEO
SEQUENCES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marek Stavěl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Kufa

BRNO 2016



Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**

Ústav radioelektroniky

Student: Bc. Marek Stavěl

ID: 134407

Ročník: 2

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Subjektivní testy kvality videa pro Ultra HDTV videosekvence

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V teoretické části práce detailně prostudujte metody subjektivního vyhodnocení kvality obrazu. Vytvořte různé sady video sekvencí, které budete používat u subjektivního testu. Navrhněte subjektivní test pro měření kvality na co nejširším počtu respondentů. Zahrňte vliv rozdílu rozlišení mezi Ultra HDTV a Full HDTV a požadovaného datového toku.

V experimentální části práce proveďte vlastní test subjektivní kvality videa na respondentech. Dále proveďte analýzu a podrobný rozbor výsledků pomocí vámi navrženého subjektivního testu. Sledujte vliv rozlišení a typu respondentů na subjektivní hodnocení kvality videa. Určete vliv použité sady videosekvencí na hodnocení respondentů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] RERABEK, M., EBRAHIMI, T. Comparison of compression efficiency between HEVC/H.265 and VP9 based on subjective assessments, Applications of Digital Image Processing XXXVII, September 2014;

[2] KUFA, J., KRATOCHVIL, T. Comparison of H265 and VP9 Coding Efficiency for Full HDTV and Ultra HDTV Applications. In Proceedings of 25th International Conference Radioelektronika 2015. Pardubice: University of Pardubice, 2015. s. 168-171.

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 19.5.2016

Vedoucí práce: Ing. Jan Kufa

Konzultant diplomové práce:

doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

V této diplomové práci jsou popsány možnosti zdrojového kódování videa, vlastnosti videí a jejich doporučené úpravy pro test. Práce popisuje subjektivní metody hodnocení kvality a jejich rozdělení na metriky s referencí a bez reference. Je zde specifikován návrh videí pro test porovnání daných metrik. Dále je popsáno zakódování a nastavení vlastností videosekvencí pro hodnocení kvality obrazu lidským faktorem. Je popsána zobrazovací soustava a vytvořen quazi-crowdsourcingový systém sběru dat. Předposlední část je věnována realizaci testů. V závěru je shrnutí výsledků do přehledných grafů a obecná doporučení z nich vyplývající.

KLÍČOVÁ SLOVA

Ultra HD, subjektivní metriky kvality, objektivní metriky kvality, H.265, ffmpeg, HVS

ABSTRACT

This master thesis deals with the options of source coding videos, properties of videos and their recommended modifications for the test. It includes subjective methods of evaluation of quality and their division into metrics with reference and without reference. The draft of videos for the test on comparison of these metrics is specified here and coding and settings of properties of videosequences for evaluation of quality of the picture are presented. Display system is described and quasi-crowdsourcing system of collecting dattas was created. The last but one part's concerns is the realization of the tests. In the end the summary of results is presented in well-arranged graphs and general consequent recommendations.

KEYWORDS

Ultra HD, subjective quality metrics, objective quality metrics, H.265, ffmpeg, HVS

STAVĚL, M. *Subjektivní testy kvality videa pro Ultra HDTV videosekvence*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2016. 37 s. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Jan Kufa.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svůj semestrální projekt na téma subjektivní testy kvality videa pro ultra HDTV videosekvence jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedeného semestrálního projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto semestrálního projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 19.5.2016

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu práce panu Ing. Janu Kufovi za odborné vedení, vstřícný přístup a čas strávený diskuzí.

Výzkum popsany v této diplomové práci byl realizovaný v laboratořích podpořených projektem Centrum sensorických, informačních a komunikačních systémů (SIX); registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

OBSAH

Seznam obrázků	ix
Seznam tabulek	xi
Úvod	1
1 Zdrojové kódování	2
1.1 Kódování obrazu	2
1.2 Barevné formáty vzorků	2
1.3 Enkodér VP9	4
1.4 Enkodér H.265	4
2 Vlastnosti videosekvencí	5
2.1 Rozlišení	5
2.2 Bitová rychlost	5
2.3 Časová a prostorová informace	6
2.4 Počet snímků za sekundu	7
3 Subjektivní metriky kvality	8
3.1 Stupnice hodnocení	8
3.2 Single Stimulus	9
3.2.1 Absolute Category Rating	9
3.2.2 Absolute Category Rating with Hidden Reference	9
3.3 Double Stimulus or Multiple Stimulus	9
3.3.1 Double-Stimulus Impairment Scale	10
3.3.2 Double-Stimulus Continuous Quality-Scale	10
3.3.3 Pair Comparison	11
3.4 Porovnání subjektivních metrik	11
4 Hodnocení obrazu lidským faktorem	12
4.1 Rozdíl mezi testovacími metodami	12
4.2 Změna barevného formátu	13
4.3 Vliv počtu snímků za sekundu	13
4.4 Vliv vzdálenosti od zobrazovacího panelu	14

5	Realizace testů	15
5.1	Vlastnosti použitých videosekvencí.....	15
5.2	Kódování videosekvencí.....	19
5.3	Zobrazovací soustava.....	20
5.3.1	Zobrazovač.....	20
5.3.2	PC.....	21
5.3.3	Propojení TV s PC	21
5.4	Průběh testů.....	23
5.4.1	Testovací prostředí.....	23
5.4.2	Quazi Crowdsourcing sběru dat.....	23
5.4.3	Průběh realizovaných testů	26
6	Výsledky testů	29
6.1	Respondenti	29
6.2	Porovnání metod Single Stimulus a Double Stimulus.....	29
6.3	Porovnání formátu barev	30
6.4	Vliv počtu snímků za sekundu na kvalitu.....	30
6.5	Vliv pozorovací vzdálenosti na kvalitu obrazu.....	33
7	Závěr	36
	Literatura	38
	Seznam zkratk	40

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Ukázka provedení kódování s I a P snímky [1].	2
Obrázek 2: Ukázka provedení kódování I, P a B-snímku [1].	2
Obrázek 3: Barevný formát vzorků 4:4:4 [2].	3
Obrázek 4: Barevný formát vzorků 4:2:2 [2].	3
Obrázek 5: Barevný formát 4:2:0[2].	3
Obrázek 6: Ukázka výpočtu SI- TI u videosekvencí[7], 4+1 bod v grafu.	7
Obrázek 7: Hodnotící stupnice	8
Obrázek 8: Časový harmonogram hodnocení videosekvencí ACR metody [7].	9
Obrázek 9: Časový průběh hodnocení varianty I [9].	10
Obrázek 10: Časový průběh hodnocení varianty II [9].	10
Obrázek 11: Časový harmonogram času videosekvencí s hodnocením [9].	11
Obrázek 12: Optimální vzdálenosti od zobrazovacího panelu v závislosti na rozlišení panelu [12].	14
Obrázek 13: Vybrané video pro ukázkou vlivu změny rozlišení na kvalitu.	17
Obrázek 14: Změna kvality obrazu kde (a) Původní obraz s 8 bitů/pixel, (b) mírně přidáný kontrast, (c) posun obrazu, (d) JPEG komprimace, (e) rozmazání obrazu, (f) impulsivní šum tzv. sůl a pepř [15].	19
Obrázek 15: Zobrazovací zařízení - Samsung 50" Samsung UE50JU6900 [17].	21
Obrázek 16: Ukázka webového formuláře pro sběr dat z hodnocení videosekvencí.	24
Obrázek 17: Náhled na tabulku výsledků subjektivních testů od respondentů.	25
Obrázek 18: Ukázka QR kódu [23].	25
Obrázek 19: Náhled na probíhající test.	26
Obrázek 20: Časový průběh aplikované metody Single Stimulus.	27
Obrázek 21: Časový průběh aplikované metody Double Stimulus.	27
Obrázek 22: Ukázka hodnotícího formuláře pro srovnání dvou sekvencí v testu vlivu počtu snímků za sekundu.	28
Obrázek 23: Výsledky porovnání metod SS a DS při datovém toku 2 Mb/s a 8 Mb/s. .	29
Obrázek 24: Výsledky porovnání metod SS a DS při datovém toku 14 Mb/s a 20 Mb/s.	29
Obrázek 25: Vliv barevného formátu na kvalitu videosekvencí.	30
Obrázek 26: Vliv počtu snímků 24 a 30 na kvalitu při datovém toku 5 Mb/s a bezztrátové kódování.	32

Obrázek 27: Vliv počtu snímků 30 a 60 na kvalitu při datovém toku 5 Mb/s a bezztrátové kódování.....	33
Obrázek 28: Vliv pozorovací vzdálenosti 4 metrů na kvalitu videosekvencí při datovém toku 5 Mb/s a 50 Mb/s.	34
Obrázek 29: Vliv vzdálenosti 1,6 metru na kvalitu videosekvencí při datovém toku 5 Mb/s a 50 Mb/s.	35

SEZNAM TABULEK

Tabulka I: Přehled nejčastěji používaných rozlišení zobrazovacích panelů.....	5
Tabulka II: Stupně hodnocení kvality.....	8
Tabulka III: Význam časových sekvencí DSIS metody.....	10
Tabulka IV: V levém sloupci jsou uvedeny jednotlivé bitové rychlosti a v pravém sloupci testovací metody, do nichž budou videosekvence převedeny.....	12
Tabulka V: Použité barevné formáty.....	13
Tabulka VI: Přehled nastavení formátu testovacích sekvencí na vliv počtu snímků v sekvenci.....	13
Tabulka VII: Vyobrazení vlastností videosekvencí pro test vlivu vzdálenosti na kvalitu obrazu.....	14
Tabulka VIII: Databáze použitých videí.....	15
Tabulka IX: Náhled na výřez z videa pro test vlivu změny rozlišení.....	18
Tabulka X: Vlastnosti jednotlivých verzí HDMI [21].....	22
Tabulka XI: Vlastnosti verzí HDMI [21].....	23
Tabulka XII: Význam hodnot na stupnici v grafech.....	29
Tabulka XIII: Barevné rozdělení videí v grafech.....	29
Tabulka XIV: Význam hodnot na stupnici v grafech.....	30
Tabulka XV: Barevné rozdělení videí v grafech.....	30
Tabulka XVI: Význam hodnot na stupnici v grafech.....	32
Tabulka XVII: Barevné rozdělení videí v grafech.....	32
Tabulka XVIII: Význam hodnot na stupnici v grafech.....	33
Tabulka XIX: Barevné rozdělení videí v grafech.....	33

ÚVOD

V této diplomové práci byla řešena problematika kvality videa a následného posuzování jeho kvality subjektivními metodami hodnocení. Je zde porovnávána kvalita videa především s expandujícím rozlišením Ultra HD a s degradacemi jednotlivých vlastností jako je snížení datového toku, změna barevného formátu, změna počtů snímků za sekundu, ale i porovnání s nižším rozlišením obrazu a vliv pozorovací vzdálenosti.

Hlavním cílem bylo provedení testu na respondentech a přehledného vyhodnocení výsledků, které byly předmětem zkoumání.

Práce je strukturována do několika částí. První část je věnována zdrojovému kódování videa a základům tvorby a kompresím obrazu. V druhé části je nastíněna problematika vlastností přenášeného a zobrazovaného obrazu. Třetí část pojednává o subjektivních metodách hodnocení videosekvencí. V další části je popsán vliv vlastností videí na lidský faktor. Předposlední část je věnována realizaci testů. Poslední část obsahuje vyhodnocení výsledků vlivu jednotlivých degradací kvality videa.

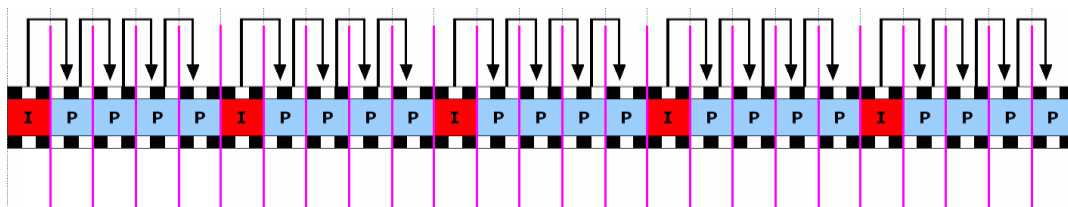
1 ZDROJOVÉ KÓDOVÁNÍ

1.1 Kódování obrazu

Je-li video komprimované [1], můžeme si představit tuto situaci:

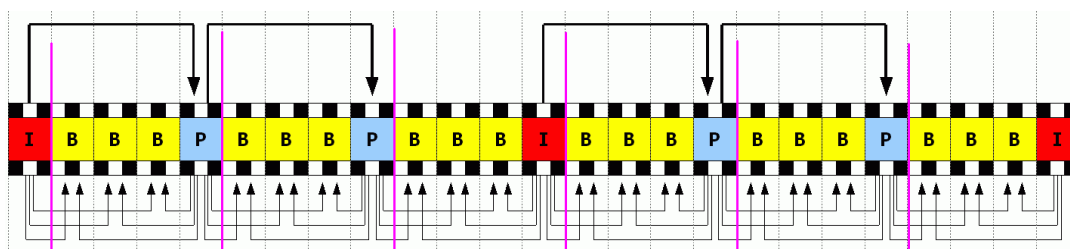
Ve videosekvenci se nacházejí snímky, které nejsou nijak závislé na ostatních snímcích a vypadají jako běžné snímky. Tyto snímky se nazývají I-snímky, nebo klíčové snímky.

Další skupinou snímků jsou tzv. předpovídané snímky nazývané P-snímky, kde se kódují jen změny vůči I-snímkům, či předchozímu P-snímkům. Díky dalším specifikacím kódování dojde ke změně velikosti videa. Na obrázku 1 je vidět názorná ukázka tohoto kódování.



Obrázek 1: Ukázka provedení kódování s I a P snímky [1].

Další možností jsou dvousměrné snímky zvané B-snímky. U těchto snímků se změna kóduje z předešlého I, nebo P-snímku, s následujícím I a P snímkem. Obrázek 2 prezentuje možný způsob tohoto kódování.

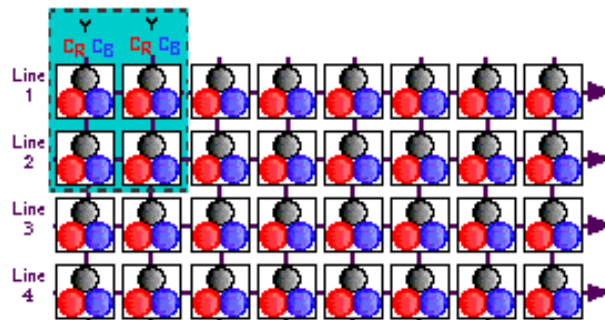


Obrázek 2: Ukázka provedení kódování I, P a B-snímků [1].

1.2 Barevné formáty vzorků

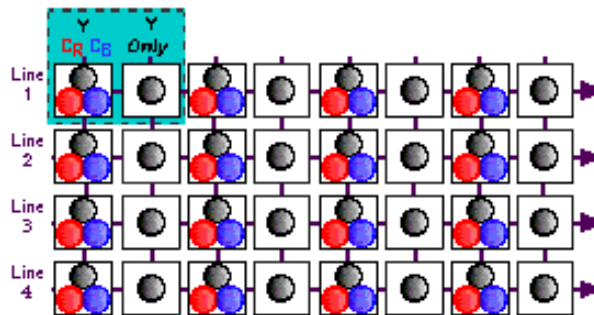
Nejčastěji se setkáváme s těmito zobrazovacími formáty: 4:4:4 a 4:2:0, přičemž první číslo představuje jasovou složku, druhé a třetí číslo představují barevné složky, nejčastěji červenou a modrou barvu. Zelená barva se odvozuje z jasové složky a ze zbylých dvou barev. Tyto formáty se používají pro snížení přenosové rychlosti a přitom mohou zanedbatelně zhoršit kvalitu videa. Pro nezkrácený vjem se používají u komprimovaných formátů rozostřovací filtry, např. Matte Choker [2].

Ve formátu 4:4:4 se u každé jasové složky obrazu přenášejí i obě barevné složky. Jedná se o zdrojový nijak nekomprimovaný formát vyobrazený na obrázku 3.



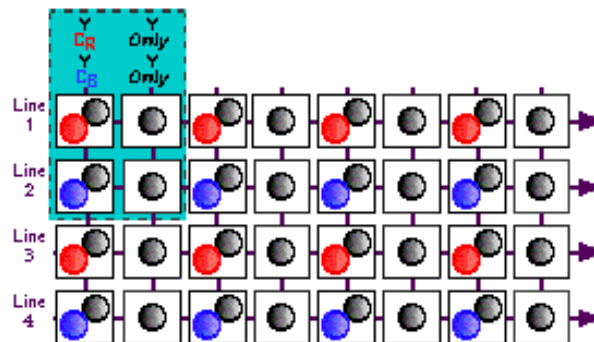
Obrázek 3: Barevný formát vzorků 4:4:4 [2].

Formát 4:2:2 přenáší obě barvy obrazu v každém druhém zobrazovacím bodu. Tento formát je vyobrazen na obrázku 4.



Obrázek 4: Barevný formát vzorků 4:2:2 [2].

Formát 4:2:0 přenáší obraz v každém druhém zobrazovacím bodu, ale sudý řádek nese jednu barvu a lichý druhou. Náhled na barevný formát je na obrázku 5.



Obrázek 5: Barevný formát 4:2:0[2].

1.3 Enkodér VP9

VP9 je video formát vyvíjený společností Google [3]. Oproti předchozí verzi VP8 se snaží o poloviční datový tok při dosažení stejné kvality videa. O totéž se snaží i jeho vyvíjený nástupce. Dnešní uplatnění tohoto formátu je především v on-line streamování, např. na YouTube. Podle [4] je tento kodek VP9 výhodnější využít u syntetických videí rendrovaných v PC. VP9 vznikl za účelem dorovnání úspornosti datového toku nově nastupujícího enkodéru H.265.

1.4 Enkodér H.265

H.265 známý jako High Efficiency Video Coding (HEVC) je video formát vyvíjený organizací ITU a MPEG [5]. Oproti předchozí verzi nabízí přehrávání videí v rozlišení až 8K a opět snižuje datovou náročnost při zachování kvality obrazu. H.265 je zřetelně efektivnější u videí natočených ve volné přírodě, popř. v interiéru. Formát vznikl pro menší datovou náročnost přenášených videí jak v televizním vysílání, tak v internetovém streamování. H.265 zpracovává video tak, že si snímek z videosekvence rozloží na makro bloky o typické velikosti 64*64 bloků; velikost makrobloků však záleží na obsahu a rozlišení videa. Tyto bloky jsou použity pro predikci, kde kodér přímo neukládá jas a barvu daného bloku, ale tato hodnota je použita pro zjištění pohybového vektoru. Pro predikci se vytvoří osm vektorů z vedlejších makro bloků a pro každý makro blok se určí jeho pohybový vektor. [6] U využití predikce je zapotřebí vyššího výpočetního výkonu než u H.264. Predikce u H.265 se vždy začíná kódovat vlevo nahoře.

2 VLASTNOSTI VIDEOSEKVENČÍ

2.1 Rozlišení

Rozlišení zobrazovacího panelu nebo přehrávaného videa vyjadřuje počet jeho zobrazovacích buněk, které jsou schopny samostatně zobrazit danou barvu. Například zkratka Full HD (1080p) znamená, že video má rozlišení 1920 zobrazovacích bodů horizontálně a 1080 zobrazovacích bodů vertikálně. Obdobně označení Ultra HD (2160p) představuje rozlišení 3840 zobrazovacích bodů vodorovně a 2160 bodů svisle. Po vzájemném vynásobení tohoto rozlišení je možno získat celkový počet zobrazovacích bodů neboli pixelů. Již zmíněné Ultra HD rozlišení má celkem 8 294 400 zobrazovacích bodů. V tabulce I je uvedeno několik v současnosti nejpoužívanějších rozlišení zobrazovacích panelů i s jejich označeními.

Tabulka I: Přehled nejčastěji používaných rozlišení zobrazovacích panelů.

Počet zobrazovacích bodů vodorovně	Počet zobrazovacích bodů svisle	Zkratka – označení rozlišení	Poměr stran	Počet bodů [Mpix]
640	480	VGA	4:3	0,3
1280	720	HD	16:9	0,9
1366	768	WXGA	16:9	1
1440	900	WXGA+	16:10	1,3
1920	1080	Full HD	16:9	2,1
2560	1440	QHD	16:9	3,7
3840	2160	Ultra HD	16:9	8,3
7680	4320	Ultra HD 8K	16:9	33,2

2.2 Bitová rychlost

Datový tok či bitová rychlost označuje množství přenesených dat za určitý čas. Používají se zde jednotky bity za sekundu – b/s. Chceme-li spočítat datový tok videosekvence, která má rozlišení 3840 * 2160 s třiceti snímků za sekundu a barevný formát je 4:4:4 s bitovou hloubkou osm bitů, lze použít tento výpočet (1):

$$\text{Datový tok} = \text{bitová hloubka barev} * \text{barevný formát} * \text{rozlišení horizontální} * \text{rozlišení vertikální} * \text{FPS} \quad (1)$$

Po dosazení hodnot získáme rovnici ve tvaru (2):

$$\text{Datový tok} = 8 * 3 * 3840 * 2160 * 30 \doteq 5,97\text{Gb/s} \quad (2)$$

Kontrolu výpočtu bitové rychlosti můžeme provést tak, že vezmeme velikost YUV souboru 14 929 920 000 bajtů, počet snímků ze kterých je video složené 600 a vypočteme bytovou rychlost takto (3):

$$\text{Datový tok} = \frac{\text{velikost souboru} * 8}{\frac{\text{celkový počet snímků}}{\text{počet snímků za sekundu}}} \quad (3)$$

Po dosazení hodnot získáme tvar (4):

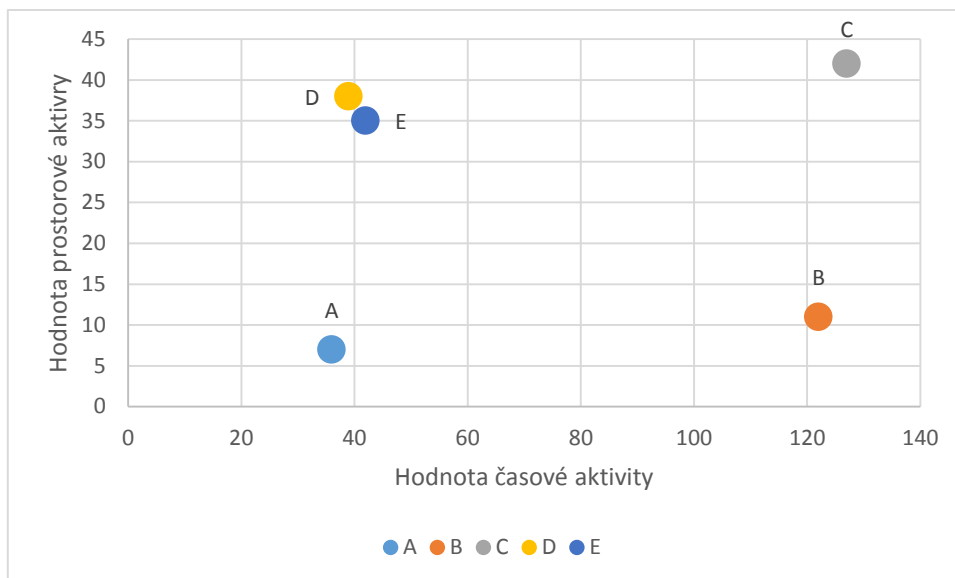
$$\text{Datový tok} = \frac{14929920000 * 8}{\frac{600}{30}} \doteq 5,97 \text{Gb/s} \quad (4)$$

V obou případech vyšla stejná bitová rychlost 5,97 gigabitů za sekundu což je přibližně 750 megabajtů za sekundu.

2.3 Časová a prostorová informace

Při výběru testovacích sekvencí by se měla porovnávat i relativní prostorová a časová informace jednotlivých variací videosekvence [7]. Rozdílnost komprese je přímo úměrná prostorové a časové informaci ve videosekvenci. Jedná-li se o menší test s menším počtem videosekvencí, je důležité vybrat sekvence, které se rozprostřou jak po prostorové, tak i informační rovině. V případě, že máme čtyři videosekvence, je příhodné je volit tak, aby zabraly všechny kvadranty časoprostorové roviny.

Příklad zobrazení grafu TI-SI u videosekvencí vychází z [7] a je uveden na obrázku 6. Ve spodní části se nachází osa časové aktivity a v levé části je osa prostorové aktivity. O bodech A až D můžeme říci, že jsou v grafu ideálně rozmístěny pro subjektivní test. Videosekvenci skrývající se pod bodem E lze označit za zbytečnou, neboť ji lze podle časové a prostorové informace nahradit videosekvencí za bodem D.



Obrázek 6: Ukázka výpočtu SI- TI u videosekvencí[7], 4+1 bod v grafu.

Sobelův filtr je realizován přes dvě jádra 3×3 ve videosekvenci a druhé odmocniny ze součtu čtverců z výsledcích následujících konvolucí. Pro $y = \text{Sobel}(x)$, necht' je $x(i, j)$ souřadnice jednoho pixelu ze vstupního obrazu a to v i -tém řádku a j -té sloupci. $Gv(i, j)$ označuje výsledek první konvoluce, jež je znázorněna v rovnici (5) [7].

$$Gv(i, j) = -1 * x(i - 1, j - 1) - 2 * x(i - 1, j) - 1 * x(i - 1, j + 1) + 0 * x(i, j - 1) + 0 * x(i, j) + 0 * x(i, j + 1) + 1 * x(i + 1, j - 1) + 2 * x(i + 1, j) + 1 * x(i + 1, j + 1) \quad (5)$$

Obdobně $Gh(i, j)$ je výsledek časové konvoluce a je znázorněn v rovnici (6) [7].

$$Gh(i, j) = -1 * x(i - 1, j - 1) - 0 * x(i - 1, j) - 1 * x(i - 1, j + 1) + 2 * x(i, j - 1) + 0 * x(i, j) + 2 * x(i, j + 1) + 1 * x(i + 1, j - 1) + 0 * x(i + 1, j) + 1 * x(i + 1, j + 1) \quad (6)$$

Výsledný výstup Sobelova filtru je spočítán jako rovnice (7) [7].

$$y(i, j) = \sqrt{[Gv(i, j)]^2 + [Gh(i, j)]^2} \quad (7)$$

Výpočty se provádí ve všech $2 \leq i \leq N-1$ a $2 \leq j \leq M-1$, kde N je počet řádků a M je počet sloupců.

2.4 Počet snímků za sekundu

Frames Per Second (FPS) neboli počet snímků za sekundu udává frekvenci, kterou se zobrazí každý jednotlivý snímek.

3 SUBJEKTIVNÍ METRIKY KVALITY

Subjektivní testy bývají často velmi náročné, ať už se jedná o časovou přípravu či o samotné testování. Díky dnešnímu trendu mít vše rychle a ve stanoveném termínu se od subjektivních metod často upouští a nahrazují je metody objektivní, kde se lidský faktor nahrazuje algoritmem [8], který danou sekvenci dekóduje a odhadne hodnotu subjektivní kvality. Nicméně objektivní metody berou v potaz spíše bitové chyby a chyby přenosu paketů než vjemovou kvalitu obrazu.

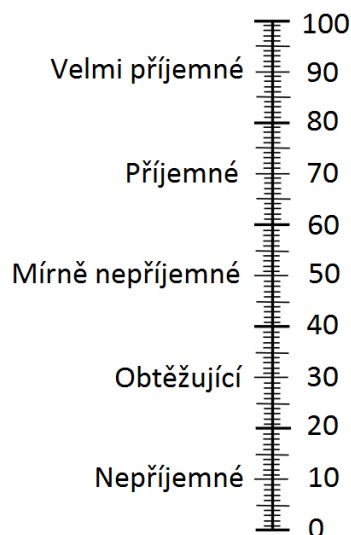
Typická pro subjektivní způsoby hodnocení je kvalitní příprava hodnoceného materiálu pro získání hodnotných výsledků. Jednotlivé videosekvence by měly být od sebe odstupňovány v rovnoměrně odstupňované kvalitě [9]. Všechny subjektivní metody lze rozdělit do dvou hodnoticích systémů, a to porovnání vůči referenci a porovnání vůči zkušenostem dané osoby. V níže rozepsaných kapitolách je přiblížení problematiky metod hodnocení kvality. Testovací sezení by mělo být rozděleno do několika částí, z nichž každá nesmí být delší než třicet minut. Daný subjekt poté výrazně ztrácí koncentraci, a to by mohlo nepříznivě ovlivnit výsledky testu. Aby se zabránilo systematické chybě, měly by být sekvence vybírány náhodně jednotlivým skupinám hodnotitelů. Pro uvedení hodnotitelů do koncentrace je dobré vložit několik falešných testovacích sekvencí, které nebudou uplatněny ve výsledcích.

3.1 Stupnice hodnocení

Hodnoticí škála byla zvolena v pětibodové stupnici. Tato stupnice je pro hodnotitele velmi jednoduchá, a přesto ve větším množství respondentů přesná. V tabulce II jsou uvedeny hodnoticí stupně a jejich význam.

Tabulka II: Stupně hodnocení kvality.

Známka	Význam
5	Velmi kvalitní / Velmi příjemné
4	Kvalitní / Příjemné
3	Mírně nepříjemné / Znatelné zhoršení
2	Obtěžující / Znatelná horší kvalita
1	Nepříjemné / Velmi nekvalitní



Obrázek 7: Hodnoticí stupnice

Mezi další používané stupnice patří hodnocení kontinuální, v procentech či hodnocení s deseti stupni. Při bližším zkoumání se však tyto stupnice projevují jako nadměrně přesné, neboť respondenti se často uchylují k zaokrouhlování možných výsledků a výsledné hodnocení má obdobné váhy jako pětibodová škála. Na obrázku 7 je vidět obvykle používaná stupnice hodnocení v procentech a odpovídající pětibodové hodnocení.

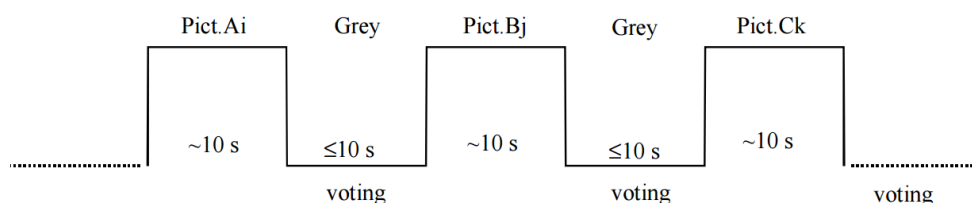
3.2 Single Stimulus

V metodách Single Stimulus (SS), ve kterých daný hodnotitel hodnotí sekvence dle svých znalostí a zkušeností se nepřehrává referenční snímek.

3.2.1 Absolute Category Rating

Metoda Absolute Category Rating [7] je označovaná jako ACR. V této metodě se každá sekvence hodnotí samostatně bez předem definované stupnice. Metoda se vyznačuje tím, že po každé videosekvenci se provede hodnocení.

Ukázka časového rozvržení je na obrázku 8. Je zde vidět první testovaná videosekvence Pict.AI, která je nejčastěji dlouhá deset sekund. Následuje sekvence zvaná Grey, což je hodnoticí sekvence do délky deseti vteřin. Po tuto dobu je na obrazovce tmavě šedá nebo černá barva. Takto postupujeme i u dalších videosekvencí.



Obrázek 8: Časový harmonogram hodnocení videosekvencí ACR metody [7].

3.2.2 Absolute Category Rating with Hidden Reference

Metoda Absolute Category Rating with Hidden Reference (ACR-HR) [7] je metoda kategoricky posuzující prezentované videosekvence. Zkušební postup musí obsahovat referenční verzi testované sekvence uvedené v Rec.ITU-T P.910 (04/2008), kde je skrytý referenční snímek. V této metodě se pro hodnocení využívá hodnoticí stupnice popsané v kapitole 3.1.

3.3 Double Stimulus or Multiple Stimulus

Double-Stimulus or Multiple Stimulus (DS) je souhrnný název metod, ve kterých se vždy hodnotí jedna sekvence vůči druhé, nejčastěji zdrojové respektive nezkomprimované sekvenci.

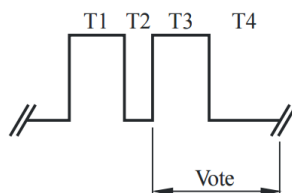
3.3.1 Double-Stimulus Impairment Scale

Metoda Double-Stimulus Impairment Scale (DSIS) [9] je metoda opakující referenční videosekvenci v nesnížené kvalitě a hodnotitel referenci pokaždé porovnává se sekvencí se sníženou kvalitou. Hodnocené snímky se řadí náhodně, ale musí být dodrženo pravidlo reference a hodnocené sekvence. U této metody se předpokládá, že výsledky jsou od hodnotitelů rovnoměrnější u sekvencí s kvalitou bližší referenční sekvenci. U této metody se využívají dvě varianty prezentované níže a názorně vyobrazené na obrázku 9 a na obrázku 10.

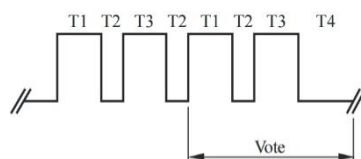
Varianta I: Referenční sekvenci vidí hodnotící pouze jedenkrát. Náhled na časový průběh v obrázku 9.

Varianta II: Referenční i hodnocená sekvence se hodnotiteli přehraje dvakrát. Náhled na časový průběh v obrázku 10.

Varianta dvě je ale časově více než dvakrát náročnější. Velký test, jako je tento, by v tomto případě respondenty značně unavil, a to by mohlo vést ke zkreslení výsledků.



Obrázek 9: Časový průběh hodnocení varianty I [9].



Obrázek 10: Časový průběh hodnocení varianty II [9].

Jednotlivé fáze znázorněné v Obrázek 10 jsou prezentovány v tabulce III. Varianta dvě má oproti variantě jedna dvakrát použitý čas T1, T2 a následně T3, T4.

Tabulka III: Význam časových sekvencí DSIS metody.

Název časového úseku	Doba trvání [s]	Popis
T1	10	Referenční sekvence
T2	3	Šedý vložený snímek
T3	10	Testovaná sekvence
T4	5-11	Hodnocení, šedý snímek

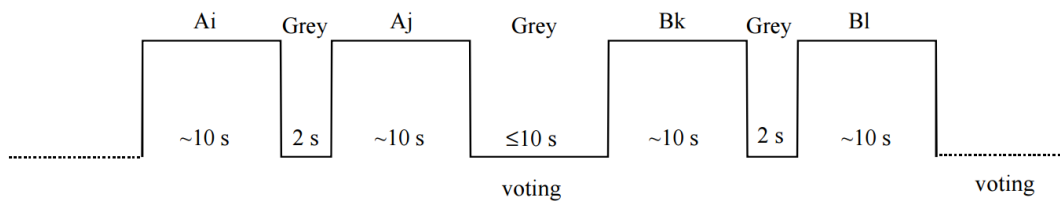
3.3.2 Double-Stimulus Continuous Quality-Scale

Metoda Double-Stimulus Continuous Quality-Scale (DSCQS) je metoda využívající intuice respondentů a dopředu neví, která ze dvou videosekvencí je referenční a která je komprimována-upravena. [10] Aplikace metody je obdobná metodě DSIS.

3.3.3 Pair Comparison

Metoda Pair Comparison (PC) porovnává obdobně pár videí, avšak pouze mezi sebou bez reference. Pokud máme tři videosekvence s rozdílným obsahem A, B, C, doporučuje se prokombinovat všechny možnosti. Testovací sekvence by pak vypadaly takto: AB, BA, AC, CA, BC, CB. Po projekci každé dvojice následuje hodnocení:

Hodnotitel vybere subjektivně lepší videosekvenci. Sekvence se přehrávají tak, že každá videosekvence by měla být dlouhá přibližně 10 sekund, krátká pauza s šedým obrazem o délce asi 3 sekundy. Poté následuje další videosekvence a následuje po ní přestávka na hodnocení do maximální délky 10 sekund. Pro názornost byl vytvořen následující obrázek 11.



Obrázek 11: Časový harmonogram času videosekvencí s hodnocením [9].

3.4 Porovnání subjektivních metrik

Důležitou otázkou při výběru zkušební metody je zásadní rozdíl mezi metodami [7], které používají porovnání (DSCQS, DSIS) a metodami, které nepoužívají srovnání vůči referenci (ACR, PC). Druhé z vypsanych metod netestují věrnosti ani průhlednost. Metoda DSIS by měla být použita při testování věrnosti sekvence vůči zdrojové referenci. To je často důležitým faktorem při hodnocení vysoce kvalitních zobrazovacích systémů. Tyto srovnávací metody se využívají u systémů s vysokou kvalitou obrazu u multimediálních zařízení. Metoda ACR je pro snadné a rychlé provedení hodnotícího testu dle stupnice. ACR-HR má všechny výhody ACR. ACR-HR se dobře uplatní ve velkých experimentech za předpokladu, že referenční videa jsou přinejmenším v „dobré“ kvalitě. Avšak ACR-HR nedokáže potlačit vlivy, které plně eliminuje DSIS, jako například zkreslení barvy. Metoda PC velmi dobře rozlišuje menší rozdíly kvality. Pokud máme velký počet hodnocených sekvencí, je metoda zdlouhavá, a proto se často využívá kombinace několika vzorků s metodou ACR a PC metoda se uplatní tam, kde dochází ke stejnému hodnocení u velkého množství hodnotitelů.

4 HODNOCENÍ OBRAZU LIDSKÝM FAKTOREM

V této kapitole jsou navrženy vlastnosti videosekvencí pro testy na subjektech. Hodnoty byly voleny z experimentálního zjišťování vlivu jednotlivých vlastností na kvalitu obrazu. Inspirace pro nastavení datových toků byla přijata z přenosu multiplexu v síti DVB-T, kde při rozlišení 720 x 576 zobrazovacích bodů připadá na jeden multiplex až šest současně přenášených obrazů. Rozdělení datových toků v multiplexu DVB-T není rovnoměrné a tak na jeden kanál může připadat v jeden okamžik 1,5 ~ 6 Mb/s. Další inspirace byla přijata z moderních Blue-ray videí, kde díky velké kapacitě jejich disků se využíváno datového toku přes 20 Mb/s. V testu vlivu vzdálenosti se nabízí testování obvyklé vzdálenosti v domácnostech čtyř metrů od TV.

4.1 Rozdíl mezi testovacími metodami

V prvním testu respondenti nepřímou porovnávají testovací metody SS a DS, a to tak, že v první polovině testu respondenti hodnotí videosekvence metodou SS a v druhé polovině metodou DS. Až ve výsledných grafech je zjištěno, jestli byl mezi metodami rozdíl. Pro metodu SS byla použita metrika ACR a pro metodu DS metrika DSIS-I popsané v předchozí kapitole 3.

Zároveň v tomto testu je zkoumán vliv datového toku na kvalitu obrazu videosekvencí. Použité rozlišení je Ultra HD při barevném formátu 4.2.0. Pro přesnější výsledky byly použity čtyři rozdílná videa zakódovaná podle tabulky IV. Výsledných testovacích videí je tedy šestnáct pro metodu SS a šestnáct párů videí pro metodu DS, kde vždy první video je zdrojové.

Tabulka IV: V levém sloupci jsou uvedeny jednotlivé bitové rychlosti a v pravém sloupci testovací metody, do nichž budou videosekvence převedeny.

Bitová rychlost [Mb/s]	Testovací metoda
2	SS
	DS
8	SS
	DS
14	SS
	DS
20	SS
	DS

4.2 Změna barevného formátu

Druhá část testu byla zaměřena na barevnou líbivost videosekvencí. Byl vybrán barevný formát 4:2:2 s desetibitovou barevnou hloubkou v porovnání s barevným formátem 4:2:0 s osmibitovou hloubkou. V [11] je názorný přehled barevných formátů. Rozlišení sekvencí bylo zvoleno Ultra HD s bezztrátovým kódováním, aby nedošlo ke znatelnému zhoršení obrazu sníženým datovým tokem. Opět je na místě využít minimálně dvou videí s různou tematikou. Tabulka V prezentuje názorný pohled na vlastnosti videosekvencí tohoto testu.

Tabulka V: Použité barevné formáty.

Barevná formát	Barevná hloubka obrazu [bit]	Datový tok	Rozlišení obrazu
4:2:0	8	Nekomprimované	2160p
4:2:2	10	Nekomprimované	2160p

4.3 Vliv počtu snímků za sekundu

Na respondentech bude testováno, jak posuzují rozdílnost nekomprimovaného videa s 30 ku 60 FPS. Totéž bude provedeno u komprimovaného videa s datovým tokem 5 Mb/s. Test také posuzuje, zda respondenti uvidí rozdíl mezi 24 a 30 FPS s již popsány datovými toky. Jsou-li dvě videosekvence, obě s datovým tokem 5 Mb/s a první sekvence bude mít poloviční počet snímků než druhá, lze předpokládat, že bude působit kvalitněji. Na jeden snímek bude připadat dvojnásobný datový tok.

V tabulce VI je uveden přehled parametrů připravovaných sekvencí pro tuto část subjektivního hodnocení. Tento test byl realizován na třech párech videosekvencí s rozdílným obsahem pro dosažení relevantnosti výsledků. Je tedy zapotřebí připravit celkem dvanáct dvojic testovacích sekvencí.

Tabulka VI: Přehled nastavení formátu testovacích sekvencí na vliv počtu snímků v sekvenci.

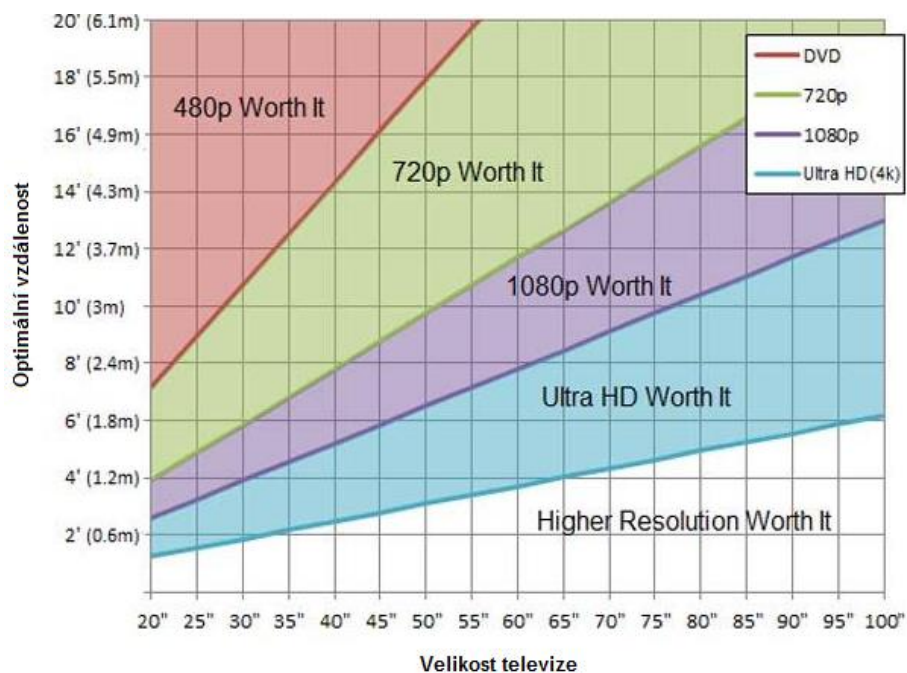
Datový tok	Počet snímků za sekundu
Silná komprese (5 Mb/s)	24
	30
Nekomprimované	24
	30
Silná komprese (5 Mb/s)	30
	60
Nekomprimované	30
	60

4.4 Vliv vzdálenosti od zobrazovacího panelu

V závěrečné části druhého testu respondenti hodnotí vliv vzdálenosti od zobrazovacího zařízení, zda vidí rozdíl v kvalitě. Připraveny na porovnání jsou dvě videa s rozdílným obsahem ve dvou vzdálenostech, a to 1,6 a 4 metry. Jak je vidět v Tabulka VII, testovat se bude nejen rozlišení Ultra HD, ale i Full HD, obě rozlišení v obou vzdálenostech jsou zakódovány s datovým tokem 5 Mb/s a 50 Mb/s. Ideální pozorovací vzdálenosti v závislosti na rozlišení a velikosti TV jsou vyobrazeny na obrázku 12.

Tabulka VII: Vyobrazení vlastností videosekvencí pro test vlivu vzdálenosti na kvalitu obrazu.

Vzdálenost [m]	Rozlišení obrazu	Datový tok [Mb/s]
4	2160p	5
	1080p	5
4	2160p	50
	1080p	50
1,6	2160p	5
	1080p	5
1,6	2160p	50
	1080p	50



Obrázek 12: Optimální vzdálenosti od zobrazovacího panelu v závislosti na rozlišení panelu [12].

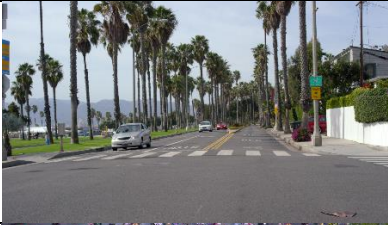



5 REALIZACE TESTŮ

Kvalitní naladění všech vlastností a odstranění nežádoucích vlivů má zásadní vliv na kvalitu dosažených výsledků podobně jako testovací prostředí. V této kapitole je popsáno co možná nejširší řešení tohoto problému od samotného zobrazovače a jeho zásobení daty až po okolní prostředí popsané v následující kapitole.

5.1 Vlastnosti použitých videosekvencí

V tabulce VIII je náhled na snímky z použitých videí, kde je prezentována i jejich hodnota časové prostorové informace TI-SI. Dále je v tabulce VIII ukázáno zdrojové rozlišení videí a zdrojový formát barev s bitovou hloubkou. Videá byla volena do jednotlivých testů podle jejich obsahu a TI-SI. Například pro test vlivu FPS byla vybrána s vyšším pohybem.

Tabulka VIII: Databáze použitých videí.

Název video ukázky	Náhled na video	Zdrojové rozlišení v pixelech	FPS	Barevný formát a bitová hloubka barev	TI - SI
Driving POV [13]		4096 * 2160	60	4:2:0 / 10	77 - 38
Marathon [14]		3840 * 2160	30	4:4:4 / 10	23 - 36
Construction Field [14]		3840 * 2160	30	4:2:0 / 8	4 - 26
Dancers [13]		4096 * 2160	60	4:2:0 / 10	11 - 10



Park Joy [13]		3840 * 2160	50	4:2:0 / 8	32 – 66
Aerial [13]		4096 * 2160	60	4:2:0 / 10	25 – 44
Todler Fountain [13]		4096 * 2160	60	4:2:0 / 10	46 – 39
Ducks take off [13]		3840 * 2160	50	4:2:0 / 8	18 – 73
Residual Building [14]		3840 * 2160	30	4:2:0 / 8	28 – 46
Rush Hour [14]		3840 * 2160	30	4:4:4 / 10	28 – 50
Tree shade [14]		3840 * 2160	30	4:4:4 / 10	26 – 41
Runners [14]		3840 * 2160	30	4:4:4 / 10	28 – 50

Na následujícím obrázku 13 je ukázka vlivu změny rozlišení obrazu a ve výřezech v tabulce IX je vyobrazen detailní náhled na menší počet zobrazovaných pixelů při stejném obsahovém výřezu. Porovnáme-li nejmenší zvolené rozlišení 640 sloupcových na 360 řádkových zobrazovacích bodů a porovnáme ho s plným rozlišením videosekvence, je v detailu vidět velmi znatelné rozmazání a neostrost obrazu.

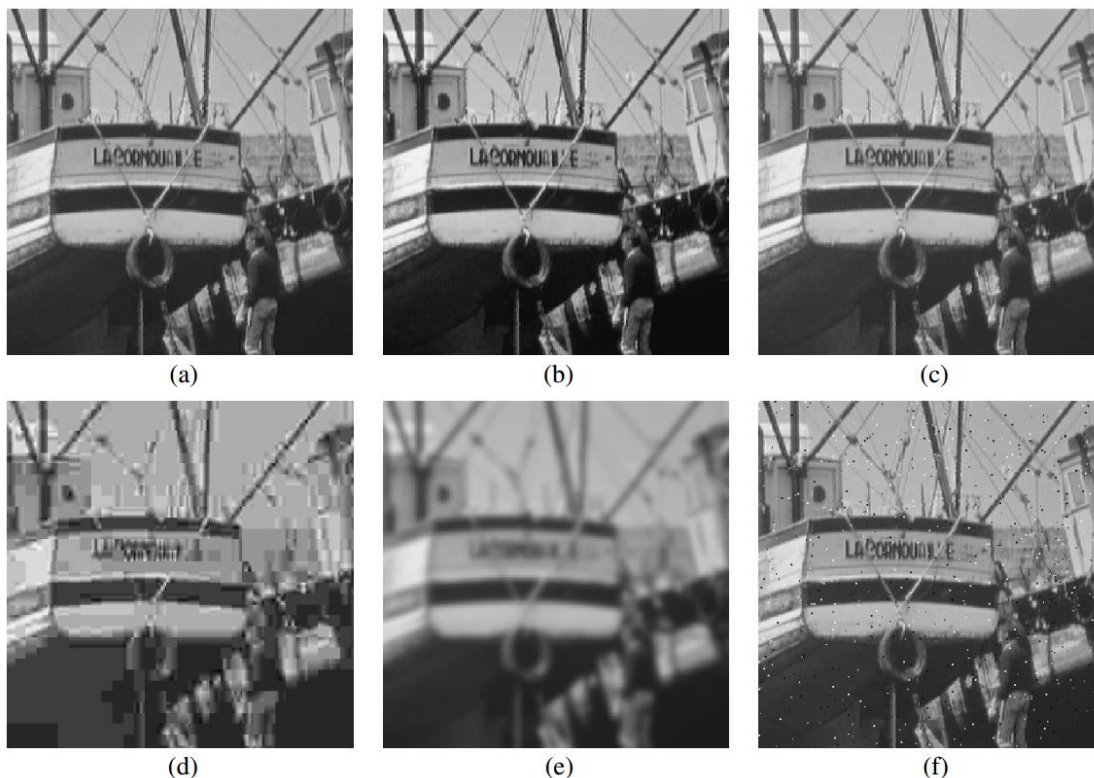


Obrázek 13: Vybrané video pro ukázkou vlivu změny rozlišení na kvalitu.

Tabulka IX: Náhled na výřez z videa pro test vlivu změny rozlišení.

Rozlišení obrazu	Náhled na vybraný výřez snímku
640*360	 A low-resolution image of a snake's head, showing significant pixelation and loss of fine detail in the scales and background.
832*480	 A medium-resolution image of a snake's head, with more visible detail than the 640x360 version, though some artifacts remain.
1920*1080	 A high-resolution image of a snake's head, showing much clearer detail in the scales and the surrounding environment.
3840*2160	 A very high-resolution image of a snake's head, providing the most detailed view of the scales and background, with minimal visible artifacts.

Na obrázku 14 jsou pro hodnocení kvality prezentovány úpravy a deformace popsané v titulku. MSSIM je index hodnocení kvality obrazu.



Obrázek 14: Změna kvality obrazu kde (a) Původní obraz s 8 bitů/pixel, (b) mírně přidány kontrast, (c) posun obrazu, (d) JPEG komprimace, (e) rozmazání obrazu, (f) impulsivní šum tzv. sůl a pepř [15].

5.2 Kódování videosekvencí

Pro kódování videí byl použit kodér ffmpeg, který zvládá pracovat se všemi formáty a jejich verzemi. V testech zde popsaných je využit kodek HEVC v implementaci x265 ve verzi 1.9 a pro test vlivu rozdílných barevných formátů byl pro formát 4:2:2 využit kodek v210 z důvodu nemožnosti zakódovat video s desetibitovou hloubkou pomocí x265. Ffmpeg zvládá veškerou práci s videi, jako je kódování, dekódování, změna datového toku, rozlišení atd. Je na platformě nezávislý, zde však bylo [16] použito EXE soubor, jež se spouští například prostřednictvím dávkového souboru BAT, v němž se definují a předají konfigurační příkazy. Pokud některý příkaz pro nastavení kódování není nastaven jinak, je uplatněno defaultní nastavení a nezměněná vlastnost se přenesla do nového videa beze změny. Příkaz v dávkovém souboru pro test vlivu použité testovací metody v testu DS pro nekomprimované video vypadá takto:

```
for %a in ("Input*.y4m") do ffmpeg -i "%a" -c:v libx265 -x265-params
lossless=1 -pix_fmt yuv420p "Output.avi"
```

kde se cyklicky vezmou všechna videa s názvem Input* ve formátu Y4M. Tento formát souboru má v sobě uložené informace o vlastnostech videa a není zapotřebí,

jako ve formátu YUV, zadávat vstupní parametry vlastností videa. V příkazu bylo nastaveno, že se má zakódovat pomocí kodeku x265 příkazem `-c:v libx265` v bezztrátové kvalitě pomocí příkazu `-x265-params lossless=1` s barevným formátem 4:2:0 pomocí příkazu `-pix_fmt yuv420p` a uloží do souboru `output.avi`. V tomto testu je zapotřebí také zakódovat videa se sníženými datovými toky, což se nastavuje příkazem `-b:v`. Ukázka jaký tvar má tento příkaz je zde:

```
ffmpeg -i Input*.y4m -c:v libx265 -b:v 20000k -bufsize 5000k -pix_fmt yuv420p "Output.avi"
```

V tomto příkazu je dále nastavena velikost bufferu pomocí příkazu `-bufsize`. Je zde nastaven datový tok 20 Mb/s.

Pro test vlivu počtu snímků vypadá příkaz takto:

```
ffmpeg -i Input*.y4m -r 23.976 -c:v libx265 -b:v 5000k -bufsize 5000k -pix_fmt yuv420p "Output.avi"
```

kde počet snímků nastavuje příkaz `-r`. Nicméně je zapotřebí dbát na to, kde příkaz `-r` je umístěn. Pokud je, jak znázorňuje ukázkový příkaz, nastavujeme počet snímků výstupního videa. Pokud bude umístěn před příkaz `-i`, který označuje vstupní video do kodéru, bude kodér toto video kódovat jako by mělo definovaný počet snímku podle hodnoty za příkazem `-r`. Obdobné pravidlo platí pro příkaz `-s`, jež nastavuje rozlišení videa.

Sestavený příkaz pro porovnání barevných formátů:

```
ffmpeg -pix_fmt yuv444p10le -s 3840x2160 -r 30 -i Input*.yuv -c:v libx265 -x265-params lossless=1 -pix_fmt yuv420p -s 3840x2160 -r 30 "Output.avi"
```

pro barevný formát 4:2:0 při osmi bitech a pro formát 4:2:2 při deseti bitech vypadá takto:

```
ffmpeg -s 3840x2160 -pix_fmt yuv444p10le -r 30 -i Input*.yuv -vcodec v210 "Output.avi"
```

Pro poslední test vlivu rozlišení a vzdálenosti byl použit následující příkaz, pouze byl změněn datový tok a rozlišení podle požadavků testu:

```
ffmpeg -i Input*.y4m -c:v libx265 -b:v 50000k -bufsize 10000k -pix_fmt yuv420p -s 1920x1080 "COutput.avi"
```

V tomto případě byl datový tok nastaven na padesát megabitů s rozlišením Full HD pomocí příkazu `-s`.

Další příkazy pro změnu vlastností videa jsou popsány v [16].

5.3 Zobrazovací soustava

Při přehrávání videosekvencí pro hodnocení kvality videa hraje podstatnou roli výběr zobrazovacího panelu, ale i technologie použité pro přenos obrazu ze zdrojového zařízení do zobrazovacího zařízení.

5.3.1 Zobrazovač

Jako zobrazovací zařízení byla použita televize Samsung 50" UHD 4K Smart TV UE50JU6900, jež můžeme vidět na obrázku 15. Výrobce na svých webových stránkách [17] neuvádí žádné detailní technické informace, pouze ty popsané níže.

Televize disponuje standartním Ultra HD rozlišením s 3840 na 2160 zobrazovacích bodů. Televize dále disponuje standartní dnešní výbavou pro tzv. SMART televize, jako je HBB TV, DLNA, webový prohlížeč, WiFi, Bluetooth, PIP a další. Konektivitu zajišťuje celá řada portů, jako je RJ45 pro ethernet, USB porty, digitální optický a audio výstup, sluchátkový výstup a CI slot. Samozřejmostí je DVB-T, DVB-S a DVB-C tuner. V tomto testu však je využito posledního z portů, a tím je HDMI popsané v kapitole 5.3.2. Zvolený byl pro svůj dostatečný datový tok, jenž bude využit pro přenesení obrazu z nekomprimovaných videí. U použité televize není jednoznačně uvedeno, kterou verzí HDMI je vybavena. Pro tento test by se nejlépe hodila verze HDMI 2.0, jelikož má dostatečnou propustnost.



Obrázek 15: Zobrazovací zařízení - Samsung 50" Samsung UE50JU6900 [17].

5.3.2 PC

Jako zdroj dat pro zobrazovací panel bude použit stolní počítač, jež je vybaven velmi rychlým SSD diskem s rychlostí čtení až 1,4 GB/s zapojeným do M2 slotu s redukcí do PCI-Express [14] nese označení HyperX Predator 480GB. Rychlost čtení z disku musí převyšovat datový tok videosekvencí. PC je vybaven grafickou kartou MSI GTX 960 GAMING 2G [19], dále procesorem Intel i7-2600 [20] a dalšími běžnými PC periferiemi.

5.3.3 Propojení TV s PC

HDMI neboli High-Definition Multi-media Interface [21] je rozhraní sloužící pro přenos nekomprimovaných obrazových a zvukových dat mezi dvěma zařízeními, jako je například stolní počítač a televize. Standartní konektor HDMI obsahuje devatenáct pinů. Existuje však i rozšířená verze, která obsahuje pinů dvacet devět. HDMI verze 1.4 je v současnosti nejpoužívanější verzí, kterou postupně bude nahrazovat verze 2.0. Verze 1.4 je schopna přenést obraz v Ultra HD, avšak maximálně s 30 snímky za vteřinu. Pro tento test tedy bude nutností využít novější verze 2.0, která zvládne 60 FPS v Ultra HD rozlišení. Propustnost má až 18 Gb/s a podporuje až třicet dva zvukových kanálů. V tabulce X jsou znázorněny vlastnosti jednotlivých verzí HDMI. Pro porovnání jsou přidány i vlastnosti Display portu za předpokladu použití verze 1.3 a užití čtyř datových párů. Z dat je vidět, že Display port disponuje vyšším rezervovaným datovým tokem při přenášení obrazu v Ultra HD. Použitý zobrazovač však Display port nemá, a proto bylo zvoleno rozhraní HDMI. V další tabulce XI je přehled dalších specifikací a vlastností ve standardu HDMI podle jeho verzí.

Tabulka X: Vlastnosti jednotlivých verzí HDMI [21].

Verze HDMI	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	2.0	Display port
Rok specifikace	2002	2004	2005	2006	2009	2013	2014
Maximální taktovací frekvence [MHz]	165	165	165	340	340	600	810
Maximální celková propustnost [Gbit/s]	4,95	4,95	4,95	10,2	10,2	18	32,4
Maximální propustnost užitečných dat [Gbit/s]	3,96	3,96	3,96	8,16	8,16	14,4	25,92
Maximální barevná hloubka [bit]	24	24	24	48	48	48	24
Maximální počet snímků a rozlišení	1920× 1200p/60 Hz	1920× 1200p/60 Hz	1920× 1200p/60 Hz	2560× 1600p/60 Hz	4096× 2160p/24 Hz	4096× 2160p/60 Hz	7680× 4320/60 Hz

Tabulka XI: Vlastnosti verzí HDMI [21].

Vlastnost	Verze HDMI					
	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	2.0
sRGB, nebo YCbCr	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
8 kanálový zvuk, 192kHz, 24bit	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Blue-ray, DVD video podpora	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
DVD audio	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Super audio CD	NE	NE	ANO	ANO	ANO	ANO
Deep color	NE	NE	NE	ANO	ANO	ANO
xvYCC	NE	NE	NE	ANO	ANO	ANO
Audio lip-sync	NE	NE	NE	ANO	ANO	ANO
Podpora Dolby TrueHD	NE	NE	NE	ANO	ANO	ANO
3D HDMI	NE	NE	NE	NE	ANO	ANO
Ethernetový kanál	NE	NE	NE	NE	ANO	ANO
Full HD při 120Hz	NE	NE	V	NE	ANO	ANO
Ultra HD při 30Hz	NE	NE	NE	NE	ANO	ANO
Ultra HD při 60Hz	NE	NE	NE	NE	NE	ANO
32 kanálový zvuk	NE	NE	NE	NE	NE	ANO

5.4 Průběh testů

Tato část práce je věnována postupu návrhu testů, uplatnění doporučení ITU, informacím o hodnotících respondentech a sběrnému systému dat.

5.4.1 Testovací prostředí

Testovací místnost by měla být rozvržena tak, aby co nejvíce zabránila působení nežádoucích vnějších vlivů pro dosažení maximální kvality výsledků. Toto popisuje doporučení ITU BT.500-13.12, kde je detailní popis prostředí pro subjektivní test [4].

Místnost by měla obsahovat řízené osvětlení o barevné teplotě 6500K. Pokud by zobrazovač měl naměřenou intenzitu světla patnáct luxů, pak okolní osvětlení by mělo být dvě desetiny kandely na metr čtvereční. Na stěnách by měl být použit závěs o středně šedé barvě [4]. Podle doporučení ITU-R BT.2022,13 by měla být vzdálenost respondentů od zobrazovače jedna celá šest násobek výšky zobrazovače. V našem případě, vzhledem k použitému zobrazovači popsaném v kapitole 5.3.1, to je tedy jedna celá šest metru.

5.4.2 Quazi Crowdsourcing sběru dat

Sběr dat je nedílnou součástí tohoto testu. Jako jedno z řešení se nabídne papír s hodnotícími kolonkami. Další již komfortnější možností je použití slideru – jednoduché elektronické zařízení s posuvníkem pro hodnocení. Nevýhodou tohoto slideru je jeho nutnost mít ho připojený k počítači a data tak lze získávat pouze na daném místě. Jako použité interaktivní a automatizované řešení bylo zvoleno webové rozhraní.

Chytrý mobilní telefon má dnes již téměř každý, proto se nabízí využít tento technický nástroj s webem a formulářem pro odpovědi. Výhodou je nezávislost na platformě zařízení, na němž je hodnoticí formulář spuštěn, ať už se jedná o stolní počítač, tablet či mobilní telefon. Formulář má jednoduchou nerušivou grafiku s tlačítky od jedné do pěti pro každou otázku či testovanou sekci videí. Po zakončení hodnocení se odpovědi odešlou do databáze pro další zpracování. Po dokončení celého testu je možno exportovat výsledky jako tabulkový soubor CSV. Náhled na webový formulář je na obrázku 16, kde je vidět již označenou odpověď. Na začátku vyplní respondent několik anonymních osobních informací, jako je věk, povolání a zrakový handicap. Před samotným testem se nabízí možnost každého respondenta podrobit testu na Ishihara a Snellen diagramu, zda daný respondent nemá zrakový handicap, o kterém neví. Například barvoslepotu má velký vliv na vnímání barev ve videosekvencích. Tento test zrakové handicapu nebyl prováděn.

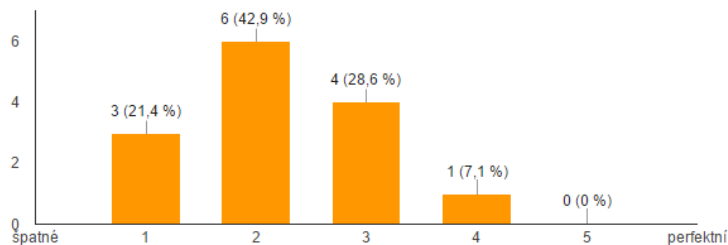
Test kvality videosekvencí						
První část						
Hodnoťte kvalitu sekvencí						
SS_01						
	1	2	3	4	5	
špatné	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	perfektní
SS_02						
	1	2	3	4	5	
špatné	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	perfektní

Obrázek 16: Ukázka webového formuláře pro sběr dat z hodnocení videosekvencí.

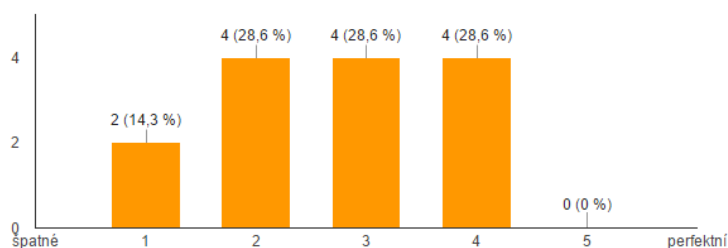
Samotný web je zpracován za pomoci Google formulářů, kde lze snadno vytvořit jakýkoliv sběrný formulář. Získaná data jsou ukládána do databáze, odkud jsou opět webovými stránkami zobrazeny. Výsledky lze prohlížet všechny naráz, jak ukazuje obrázek 17, či po jednotlivých respondentech.

První část

SS_01 (14 odpovědí)



SS_02 (14 odpovědí)



Obrázek 17: Náhled na tabulku výsledků subjektivních testů od respondentů.

Na webový formulář pro hodnocení kvality videosekvencí se respondenti, vybaveni chytrým telefonem, odkazují pomocí QR kódu, který je umístěn před danou částí testu.

QR kód je zkratka anglických slov Quick Response [22]. Jedná se o pokročilejší podobu čárového kódu, určeného pro větší množství zakódovaných informací. Kód díky množství algoritmů dokáže redukovat i chyby čtení a lze jej číst i po inverzi barev, nebo z jiného než přímého pohledu. Náhled na QR kód je na obrázku 16. Pro vygenerování tohoto kódu byl použit on-line kodér na těchto [23] webových stránkách.



Obrázek 18: Ukázka QR kódu [23].

5.4.3 Průběh realizovaných testů

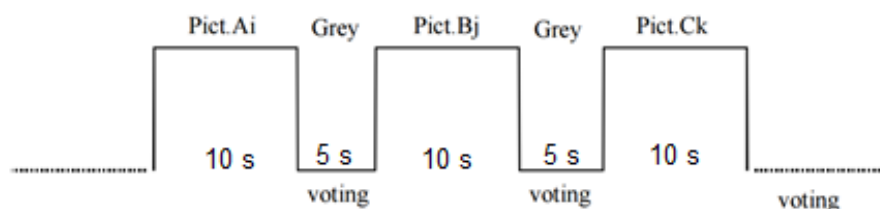
Průběh testů probíhal tak, že po oslovení respondenta a domluvě na termínu, který danému respondentovi vyhovoval, byl posazen na místo přichystané pro testování kvality videosekvencí popsané v kapitole 5.4.1. Na obrázku 19 je vidět respondent při hodnocení testu. Na levé straně obrázku 19 vidíme respondenta posazeného do vzdálenosti 1,6 metru od TV což je doporučená vzdálenosti popsaná v kapitole 4.4. Na pravé straně obrázku 19 je respondent posazený ve 4 metrech od TV pro test vlivu vzdálenosti. Předním jsou židle odpovídající již zmíněné doporučené vzdálenosti, které však byly při skutečném testu vlivu vzdálenosti odstraněny. Respondent disponující chytrým telefonem, nebo tabletem s aplikací QR čtečka si přes naznačený QR kód načel ve webovém prohlížeči formulář pro zadávání odpovědí. Test je rozdělen do dvou hlavních částí a pro každou byl vytvořen vlastní formulář.



Obrázek 19: Náhled na probíhající test.

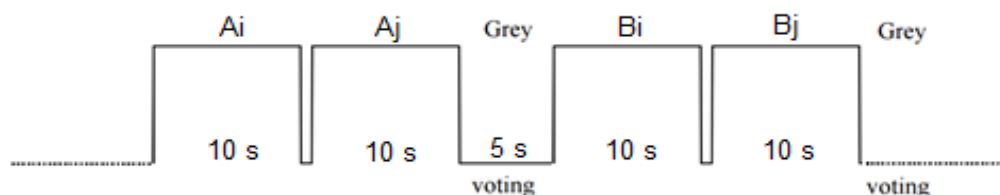
Po načtení webového formuláře a vyplnění anonymního dotazníku na věk, povolání, a zrakový handicap, byl respondent seznámen s testem a bylo mu sděleno, jak má zadávat svoje odpovědi do formuláře.

V první polovině a prvním testu byly respondentovi přehrávány sekvence metodou SS. Na obrázku 20 je naznačena časové osa, použité metody, kde Pict Ai, Bj, Ck představují jednotlivé videosekvence o délce deset sekund. Šedá - přestávka pro hodnocení byla zvolena pět sekund, což se ukázalo jako dostatečně dlouhá doba pro zaznamenání do formuláře a zároveň tato přestávka nadbytečně neprodlužovala celý test.



Obrázek 20: Časový průběh aplikované metody Single Stimulus.

Sekvence byli přehrávány pseudonáhodně, byli vytvořeny tři play listy, kde byli sekvence umístěny v pořadí tak, aby nebyli za sebou sekvence se stejným obsahem a datovým tokem, ale byli prostřídány s dalšími videi a datovými toky. Tyto play listy byly vytvořeny z důvodu eliminace systematické chyby, což by vedlo k degradaci výsledků. Celkem hodnocených videí v této části je šestnáct, za použití čtyř datových toků a čtyř obsahů videosekvencí. Podobně vytvořený play list byl v druhé části prvního testu, pro testovací metodu DS. Metoda pro aplikaci v testu byla přizpůsobena na časový průběh představující obrázku 21, kde sekce označené Ai a Bi představují zdrojové – nijak nekomprimované videosekvence a sekce Aj a Bj označují zakódované videosekvence pro hodnocení.



Obrázek 21: Časový průběh aplikované metody Double Stimulus.

Tato druhá část v prvním testu byla časově náročnější, neboť se respondentům přehrávali před každou hodnocenou videosekvencí ještě její nezakódovaná verze, tedy respondent v této části shlédl třicet dva videosekvencí obdobně uspořádaných pseudonáhodně, jako první části. Celý první test trval necelých třináct minut.

V druhém testu, kde byli respondenti žádáni o srovnání vždy dvou sekvencí se stejným obsahem avšak s rozdílným zakódováním. Pro hodnocení byla použita metoda PC, jež je popsána v kapitole 3.3.3. Časový průběh metody PC je z časového pohledu stejný jako u metody DS, viz obrázek 21. Hodnotící stupnice byla zvolena od jedné do pěti, kde číslo tři představuje stejnou kvalitu obou videosekvencí. Následně dvě a čtyři představují malý rozdíl s tím, že je lepší první nebo druhá sekvence. Číslo jedna a pět představuje razantní rozdíl s tím, že je výrazně lepší první nebo druhá videosekvence. Ve výsledných grafech v kapitole 6 je pro názornost tato stupnice posunuta od minus dvou do dvou. Obrázek 22 představuje ukázkou, jak vypadá hodnotící formulář pro druhý test.

FPS_12

	1	2	3	4	5	
První video je nejlepší	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Druhé video je nejlepší

Obrázek 22: Ukázka hodnotícího formuláře pro srovnání dvou sekvencí v testu vlivu počtu snímků za sekundu.

Tento druhý test byl rozdělen do tří částí, kde se v první testoval vliv FPS na kvalitu, ve druhé části vliv barevného formátu na kvalitu a ve třetí části vliv rozlišení obrazu na vliv kvalitu v doporučené vzdálenosti a ve větší vzdálenosti. První část byla seřazena tak, že zprvu respondenti hodnotili rozdíl kvality 24 a 30 FPS při datovém toku 5Mb/s pro tři videa s rozdílným obsahem. Následoval stejný test, pouze videa byly zakódovaná bezztrátově. Obdobně byly sestaveny další sekce pro 30 a 60 FPS. Respondenti zde hodnotili dvanáct párů videosekvencí. Následovala část vlivu použitého barevného formátu pro tři obsahem rozdílné videosekvence zakódované vždy bezztrátově, jednou v barevném formátu 4:2:0 při osmi bitech, podruhé ve formátu 4:2:2 při deseti bitech. Hodnoceny byly tři páry videosekvencí. Poslední část byla zaměřena na vliv vzdálenosti na kvalitu. Respondenti byli posazeni do vzdálenosti čtyř metrů od TV a hodnotili, zda vidí rozdíl mezi rozlišením Full HD a Ultra HD při datovém toku 5 Mb/s a 50 Mb/s. Poté byli respondenti posazeni opět do ideální vzdálenosti jedna celá šest metru a byli jim přehrány k hodnocení stejné sekvence jako ve vzdálenosti čtyř metrů. Hodnoceno zde bylo osm párů videosekvencí. Celý druhý test trval třináct minut.

6 VÝSLEDKY TESTŮ

V této kapitole jsou vyobrazeny získané grafy z výsledků subjektivních testů popsanych v předchozích kapitolách. V grafech je zobrazen přírůstek jednotlivých videosekvencí. Může být určen vliv jednotlivých videí na kvalitu obrazu.

6.1 Respondenti

Respondenty z poloviny tvořili studenti VUT a z poloviny lidé mimo VUT. Průměrný věk respondentů byl 25 let, přičemž věkový rozsah se pohyboval od 19 do 27 let. Zrakový handicap mělo deset z dvaceti dvou respondentů z toho tři respondenti měli částečnou barvoslepotu, ostatní pouze brýle.




6.2 Porovnání metod Single Stimulus a Double Stimulus

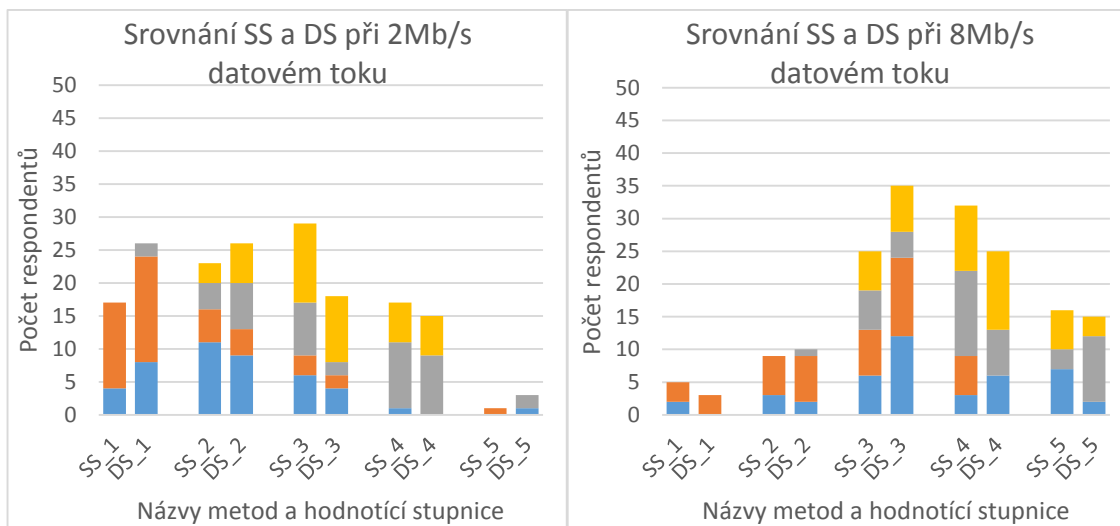
V této podkapitole jsou vyobrazeny získané grafy výsledků pro porovnání metod SS a DS ze čtyř zvolených datových toků: 2; 8; 14; 20 Mb/s, jež vyobrazují obrázky 23 a 24. Na svislé ose se nachází součet hodnocení respondentů ze všech videosekvencí v prováděném testu. Tabulka XII a tabulka XIII je legenda vysvětlující význam hodnot a barevného rozlišení videosekvencí v grafech.

Tabulka XII: Význam hodnot na stupnici v grafech.

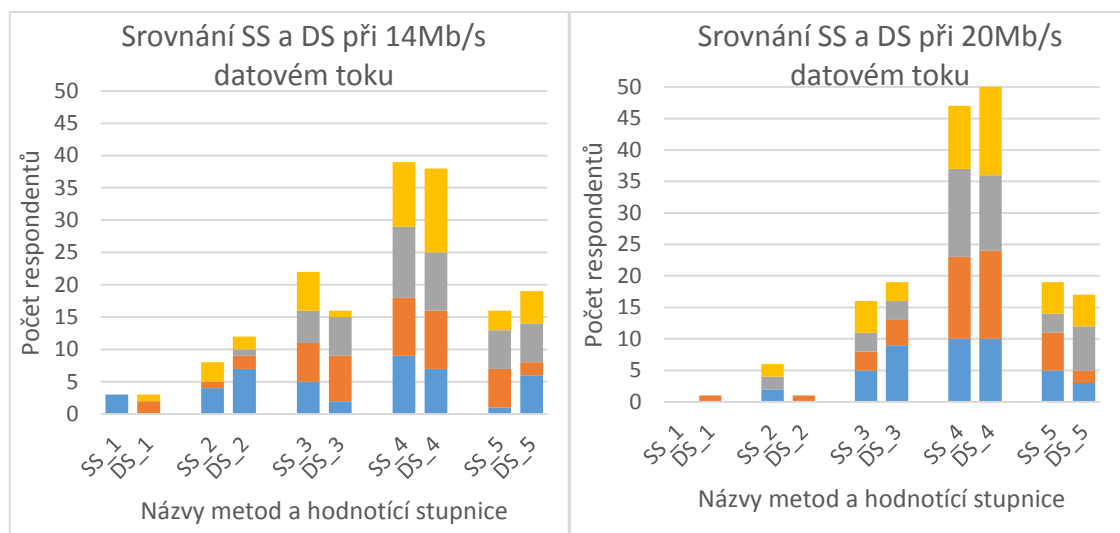
Hodnota na stupnici	Význam hodnoty
1	velmi nekvalitní videosekvence
2	rušivé vjemy ve videosekvenci
3	přijatelná kvalita videosekvence
4	kvalitní videosekvence
5	Kvalitní - líbivá videosekvence

Tabulka XIII: Barevné rozdělení videí v grafech.

Barva označující video	Název videa
	Driving POV
	Marathon
	Construction Field
	Dancers



Obrázek 23: Výsledky porovnání metod SS a DS při datovém toku 2 Mb/s a 8 Mb/s.



Obrázek 24: Výsledky porovnání metod SS a DS při datovém toku 14 Mb/s a 20 Mb/s.

Z vyobrazených grafů na obrázku 23 a 24 je zřetelně vidět, že při vyšších datových tocích nezáleží na použité metodě ani na obsahu videa, výsledky z obou použitých metod jsou srovnatelné.

V grafu při 14Mb/s se neprojevují vlivy TI-SI a videa jsou hodnocena jako méně kvalitní oproti datovému toku 20 Mb/s.

Při datovém toku 8 Mb/s je už výrazný projev vlivu TI-SI jednotlivých videí a hodnocení kvality je více rozprostřeno, než u vyšších datových toků.

U nejnižšího datového toku 2 Mb/s za sekundu je metoda SS hodnocena mírně kvalitněji než metoda DS, jež bylo ovlivněno zhlédnutím reference v metodě DS. Výrazně se zde projevuje význam časové a prostorové aktivity, kde video s názvem Marathon s vyšší TI-SI, oproti videu Construction Field jež má nižší TI-SI je hodnoceno jako méně kvalitní.




6.3 Porovnání formátu barev

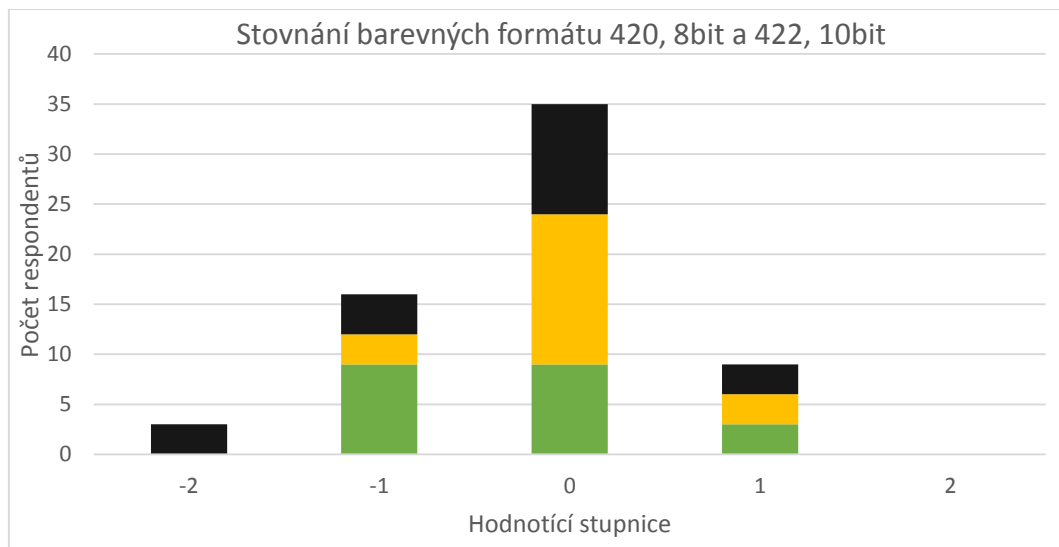
Za pomoci komprimačního barevného formátu lze dosáhnou významného snížení datového toku, jak lze vyčíst z kapitoly 1.2. Vliv na kvalitu videosekvencí je však zanedbatelný což vyplýne z grafických výsledků testu z obrázku 25. Podle vyhodnocení výsledků je video s více zastoupenými barvami hodnoceno jako méně kvalitní.

Tabulka XIV: Význam hodnot na stupnici v grafech.

Hodnota na stupnici	Význam hodnoty
-2	Formát 420, 8bit razantně kvalitnější
-1	Formát 420, 8bit částečně kvalitnější
0	Formáty 420, 8bit a 422, 10 bit srovnatelné
1	Formát 422, 10bit částečně kvalitnější
2	Formát 422, 10bit razantně kvalitnější

Tabulka XV: Barevné rozdělení videí v grafech.

Barva označující video	Název videa
	Rush Hour
	Tree
	Runners



Obrázek 25: Vliv barevného formátu na kvalitu videosekvencí.

6.4 Vliv počtu snímků za sekundu na kvalitu

V této části byl testován vliv počtu snímků za sekundu na kvalitu obrazu videa. Jako první byl otestován vliv 24 ku 30 FPS při nízkém datovém toku 5 Mb/s a při bezztrátovém kódování. Převědeme-li daný datový tok na jeden snímek, zjistíme, že při vyšším počtu snímků připadá na jeden snímek nižší datový tok.

Při zvoleném nízkém datovém toku 5 Mb/s neviděli respondenti téměř žádný rozdíl mezi

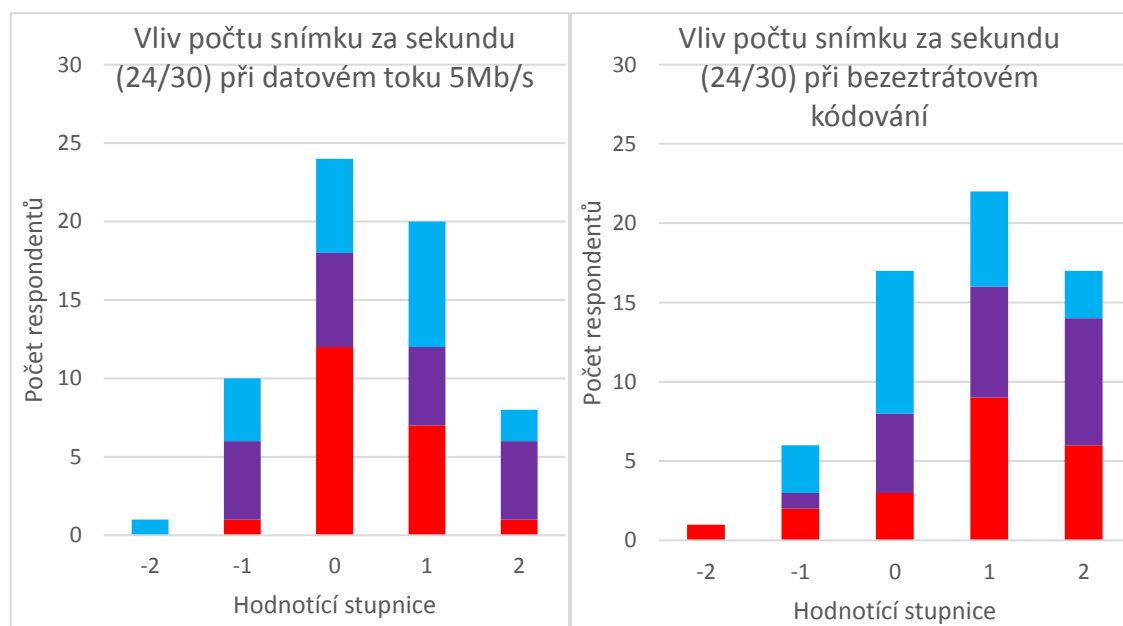
24 a 30 FPS. Při bezztrátovém kódování byl rozdíl znatelný a videa se 30 FPS respondenti hodnotili jako kvalitnější, což vyplývá z grafu na obrázku 26. Na obrázku 27 můžeme pozorovat srovnání 30 a 60 FPS, kde při nižším datovém toku video Park Joy a video Todler Fountain s vyšší TI-SI je hodnoceno jako méně kvalitní než video Aerial s nižší TI-SI. U bezztrátového kódování je vliv TI-SI také znát, ale vyšší počet snímků je u všech použitých videí hodnoceno jako výrazně kvalitnější. Výsledky mezi testy s 30 a 60 FPS vůči 24 a 30 FPS jsou více jednoznačné. Tabulky XVI a XVII je legenda pro grafy na obrázcích 26 a 27.

Tabulka XVI: Význam hodnot na stupnici v grafech.

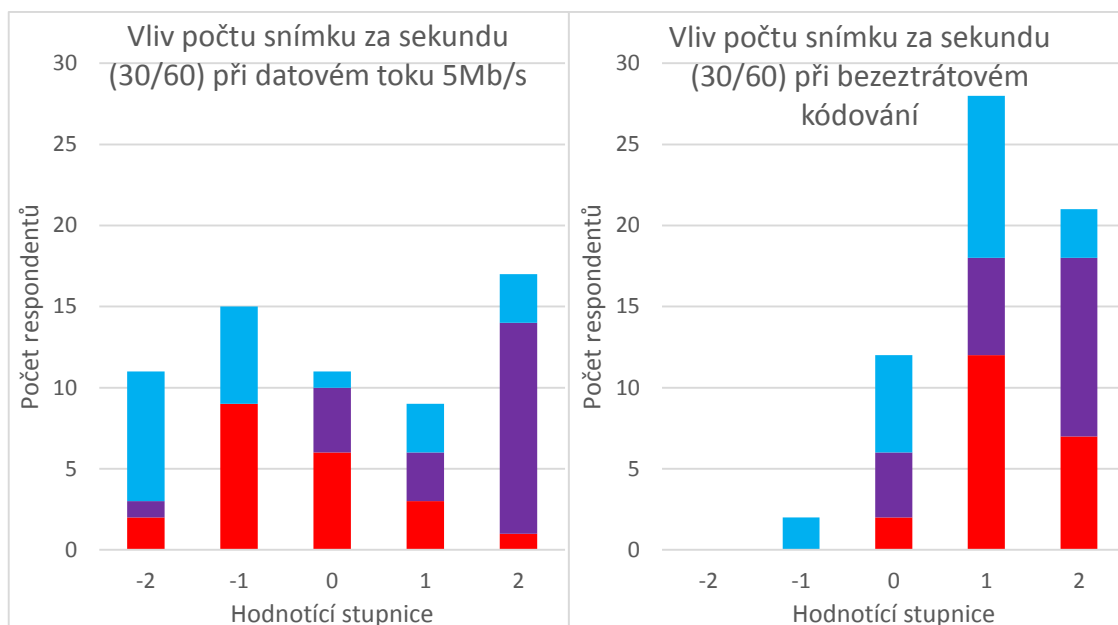
Hodnota na stupnici	Význam hodnoty v testu 24/30FPS	Význam hodnoty v testu 30/60FPS
-2	24 FPS razantně kvalitnější	30 FPS razantně kvalitnější
-1	24FPS částečně kvalitnější	30 FPS částečně kvalitnější
0	24 a 30 FPS srovnatelné	30 a 60 FPS srovnatelné
1	30 FPS částečně kvalitnější	60 FPS částečně kvalitnější
2	30 FPS razantně kvalitnější	60 FPS razantně kvalitnější

Tabulka XVII: Barevné rozdělení videí v grafech.

Barva označující video	Název videa
■	Park Joy
■	Aerial
■	Todler Fountain



Obrázek 26: Vliv počtu snímků 24 a 30 na kvalitu při datovém toku 5 Mb/s a bezztrátové kódování.



Obrázek 27: Vliv počtu snímků 30 a 60 na kvalitu při datovém toku 5 Mb/s a bezztrátové kódování.



6.5 Vliv pozorovací vzdálenosti na kvalitu obrazu

V této části testu byli respondenti postupně posazeni do 4 a 1,6 metru od TV a posuzovali, zda vidí rozdíl mezi Full HD a Ultra HD při nízkém 5 Mb/s a při vysokém 50 Mb/s datovém toku. V následující tabulce XVIII je legenda vodorovné osy v grafech na obrázcích 28 a 29. Tabulka XIX popisuje přírůstky dvou použitých videí v těchto grafech.

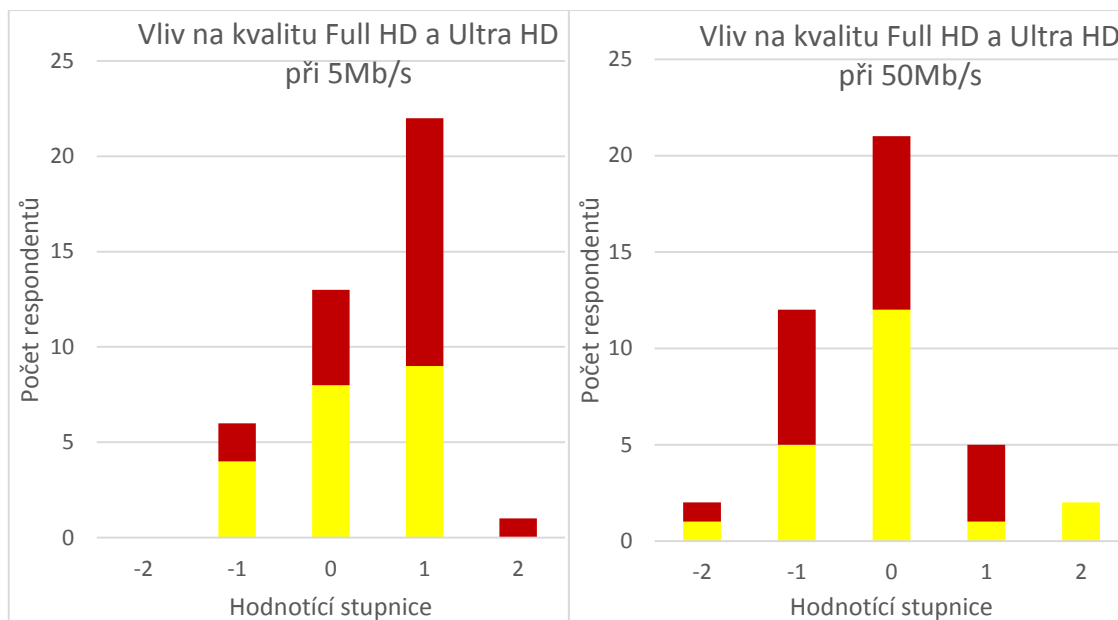
Tabulka XVIII: Význam hodnot na stupnici v grafech.

Hodnota na stupnici	Význam hodnoty
-2	Full HD razantně kvalitnější
-1	Full HD částečně kvalitnější
0	Full HD a Ultra HD srovnatelné
1	Ultra HD částečně kvalitnější
2	Ultra HD razantně kvalitnější

Tabulka XIX: Barevné rozdělení videí v grafech.

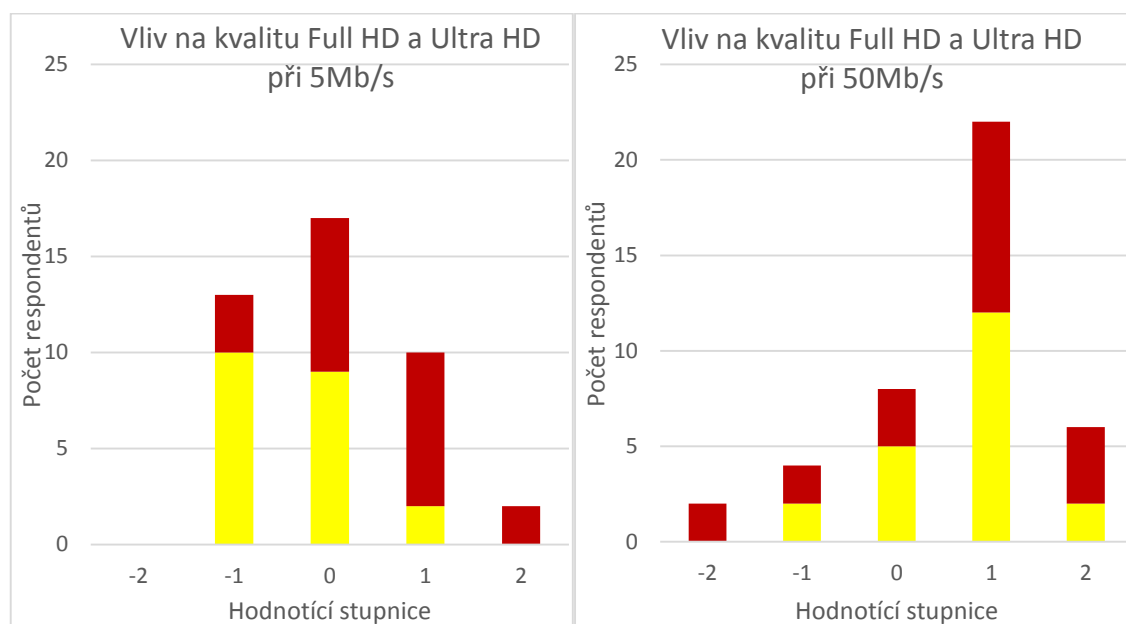
Barva označující video	Název videa
	Ducks take off
	Residual Building

Ve čtyř metrové vzdálenosti a při nízkém datovém toku 5 Mb/s respondenti vyhodnotili, že se jako částečně kvalitnější videosekvence jeví v rozlišení Ultra HD, avšak téměř nikdo nevedl, že je razantně kvalitnější. Při vysokém datovém toku 50 Mb/s nebyl znatelný rozdíl, spíše se jako kvalitnější jeví videosekvence ve Full HD jež můžeme vidět na Obrázek 28.



Obrázek 28: Vliv pozorovací vzdálenosti 4 metrů na kvalitu videosekvencí při datovém toku 5 Mb/s a 50 Mb/s.

Poté co byli respondenti přesunuti zpět do doporučené vzdálenosti od TV se výsledky výrazně změnilo. Při sníženém datovém toku, byly videosekvence ohodnoceny podle TI-SI, tedy s vyšší časovou a prostorovou aktivitou u videa s názvem Ducks take off se jeví lepší v rozlišení Full HD a s nižší TI-SI u videa Residual Building se jako lepší jeví sekvence v Ultra HD. Při vysokém datovém toku u obou videosekvencí kvalitativně převládá rozlišení Ultra HD. Tato tvrzení jsou vyobrazena v grafech na obrázku 29.



Obrázek 29: Vliv vzdálenosti 1,6 metru na kvalitu videosekvencí při datovém toku 5 Mb/s a 50 Mb/s.

7 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byla realizace testu subjektivní kvality videí na respondentech. V první části byl proveden rozbor zdrojového kódování. Pro domácí využití videí je dnes převážně volen kodek H.264. Z důvodu vyšší efektivity byl pro zakódování sekvencí zvolen jeho nástupce, a to kodek HEVC (H.265). Jediná vlastnost videa, kterou se nepodařilo pomocí tohoto kodéru zakódovat, byl barevný formát 4:2:2 při 10 bitech. Pro zakódování této vlastnosti byl zvolen kodek v210. Kódování videosekvencí probíhalo na notebooku a časová náročnost byla k tomu odpovídající.

Návrhy testů vycházely z dnes již běžně využívaných vlastností a přenosu videa. Snížený datový tok 2 Mb/s byl využit z přenosu videa v síti DVB-T a 20 Mb/s z datového toku videí na Blue-ray discích. Nejčastěji bývá mezi TV a pozorovatelem pro tento účel vymezena vzdálenost čtyři metry. Vlivem této vzdálenosti nemůže uživatel plně využít potenciál rozlišení TV a videa.

Metody Single Stimulus i Double Stimulus mají srovnatelné výsledky u vysokých datových toků 14 Mb/s a 20 Mb/s. U nižších datových toků se začíná projevovat vliv kvalitního referenčního videa. Pouze u metody DS jsou výsledky ovlivněny tak, že videa jsou hodnocena jako méně kvalitní. Z výsledků tedy vyplývá, že nezáleží na použité metodě hodnocení kvality videí.

Při testování vlivu počtu snímků za sekundu bylo zjištěno, že při nízkém datovém toku 5 Mb/s není výrazný rozdíl mezi videem při 24, respektive 30 FPS. U bezeztrátového kódování vycházely výsledky podle předpokladu, tedy video s 30 FPS se respondentům jevílo kvalitnější než video s 24 FPS. V druhé polovině této části testu, kde byl testován rozdíl počtu mezi 30 a 60 FPS. Zde respondenti u nízkého datového toku rozhodovali podle vlivu obsahu, tedy dle TI-SI. V tomto případě výrazně pohybově aktivnější video s názvem Todler Fountain vycházelo jako kvalitnější při 30 FPS, naopak klidnější video s nižším TI-SI s názvem Aerial bylo lépe vnímáno při 60 FPS. Při bezeztrátovém kódování jsou razantně lépe hodnoceny videa při 60 FPS vůči 30 FPS, kvůli lepšímu kvalitativnímu vjemu obrazu videa.

V části testu věnované vlivu použití rozdílného barevného formátu bylo respondenty hodnoceno video Rush Hour jako kvalitnější, a to v úspornějším barevném formátu 4:2:0, což je v rozporu s teoretickým předpokladem. U dalších dvou videí, které jsou použity v této části testu, se respondenti přikláněli k variantě, že jsou oba formáty stejné. Vliv na výsledky mohlo mít použití rozdílných kodérů. Kdy pro variantu videa s formátem 4:2:2 s 10 bitovou hloubkou byl použit bezeztrátový kodér v210. Na rozdíl od varianty 4:2:0, kdy s 8 bitovou hloubkou byl využit zdrojový formát rawvideo. Dalším vlivem mohl být fakt, že použitá TV nedokáže zobrazit celý barevný prostor, a proto 10 bitová hloubka videa se respondentům může jevit jako zbytečná. Dalším vlivem může být, zda daná videa byla skutečně zaznamenána ve formátu 4:4:4 a nebyla do tohoto formátu pouze převedena.

V poslední části testu, byl testován vliv rozdílné pozorovací vzdálenosti na rozlišení obrazu. Vycházelo zde, že sedí-li respondent ve vzdálenosti čtyř metrů od TV a video, které hodnotí má nízký datový tok např. 5 Mb/s, tak vychází rozlišení Ultra HD kvalitněji, než rozlišení Full HD. Tento fakt mohl způsobit obsah videa s tím, že obraz se nijak

nemění, pouze posouvá po TV jedním směrem. Efektivně se zde uplatnilo vektorové zakódování, jež způsobilo vyšší plynulost a obrazovou kvalitu videa. Při vysokém datovém toku 50 Mb/s se respondenti spíše přikláněli k tomu, že video s rozlišením Full HD je kvalitnější. Následoval přesun respondentů zpět na doporučenou vzdálenost od TV. Při sníženém datovém toku záleželo na hodnotě TI-SI, kde u aktivnějšího videa Ducks take off vycházelo jako kvalitnější rozlišení Full HD, naopak u stacionárního videa Residual Building bylo lépe hodnoceno rozlišení Ultra HD. Hodnocení poměru Full HD vůči Ultra HD při vysokém datovém toku vycházelo příznivě pro rozlišení Ultra HD. Z tohoto plyne, že je zapotřebí k danému rozlišení dodržet přijatelný datový tok.

Obecně platí, že čím vyšší rozlišení, tím by měl být vyšší datový tok. Také fakt, že je-li video živější s vysokým TI-SI, tak by se zároveň měl zvyšovat i datový tok.

LITERATURA

- [1] Onsřej VOCŮ. IKAROS. Vyhledávání a video [online]. 2013 [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: <http://ikaros.cz/vyhledavani-a-video>
- [2] GRAFIKA. Digitální video: Digitální video 3 - Vzorkování [online]. 2001 [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: <http://www.grafika.cz/rubriky/digitalni-video/digitalni-video-3-vzorkovani-130120cz>
- [3] QUILLIO, Lou. VP9. VP9 Lands in Chrome Dev Channel [online]. 2013 [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: <http://blog.webmproject.org/2013/07/vp9-lands-in-chrome-dev-channel.html>
- [4] INFOSCIENCE. Comparison of compression efficiency between HEVC/H.265 and VP9 based on subjective assessments [online]. Lausanne, Switzerland, 2014 [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: <http://infoscience.epfl.ch/record/200925/files/article-vp9-submitted-v2.pdf>
- [5] ITU-T. High efficiency video coding [online]. 2015 [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.265-201504-I/en>
- [6] CHIP. H.265 špičkový videokodek [online]. [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: <http://www.chip.cz/casopis-chip/earchiv/vydani/rocnik-2013/chip-07-2013/h-265-spickovy-videokodek/>
- [7] ITU-T. Subjective video quality assessment methods for multimedia applications: Audiovisual quality in multimedia services [online]. 2008 [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: <https://www.itu.int/rec/T-REC-P.910-200804-I/en>
- [8] BEZDÍČEK, MARTIN. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. SUBJEKTIVNÍ A OBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ KVALITY ŘEČOVÉHO SIGNÁLU [online]. 2013 [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5610
- [9] ITU-R. Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures [online]. 2012 [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.500-13-201201-I!!PDF-E.pdf
- [10] ČVUT. Subjektivní hodnocení kvality obrazu podle normy ITU-R BT.500-11 v modifikované verzi DSIS [online]. 1. Katedra Radioelektroniky ČVUT Fakulta elektrotechnická, Technická 2, 166 27 Praha, Česká Republika [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: <http://radio.feld.cvut.cz/courses/X37STT/materialy.php?akce=dlf&zdroj=vpm&fkey=0&xtgt=2f686f6d652f53657276696365732f7777772f68746d6c2f6564755f6465706f742f5833375354545f7075626c6963>
- [11] TELAIRITY. Digital Color Coding [online]. [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: <http://www.telairity.com/assets/downloads/Digital%20Color%20Coding.pdf>
- [12] Optimal viewing distance by the television and resolutin [online]. [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: http://static.wixstatic.com/media/ba7ec6_4e1071a90c8e4adf84857c59700d1068.jpg
- [13] *Xiph.org* [online]. 2016 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <https://media.xiph.org/video/derf/>
- [14] *SJTU Media Lab: SJTU 4K Video Sequences* [online]. Shanghai, 2016 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://medialab.sjtu.edu.cn/web4k/index.html>
- [15] <http://www.harmonicinc.com/resources/videos/4k-video-clip-center#4k-clip-center>

- [16] ZHOU, Wang a Alan Conrad BOVIK. IEEE. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity [online]. [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1284395&tag=1>
- [17] FFMPEG. [online]. [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: <https://www.ffmpeg.org/>
- [18] SAMSUNG. UE55HU6900S 55" HU6900 UHD TV Smart TV [online]. 2014 [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: <http://www.samsung.com/cz/consumer/tv-av/tv/uhd/UE55HU6900SXXH>
- [19] KINGSTON. SSD: Predator PCIe [online]. [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: http://www.kingston.com/datasheets/shpm2280p2_en.pdf
- [20] MSI. GTX 960 GAMING 2G [online]. [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: <http://cz.msi.com/product/graphics-card/GTX-960-GAMING-2G.html#hero-overview>
- [21] INTEL®. Core™ i7-2600 Processor [online]. [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: http://ark.intel.com/products/52213/Intel-Core-i7-2600-Processor-8M-Cache-up-to-3_80-GHz
- [22] WIKIPEDIE. High-Definition Multimedia Interface [online]. [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/High-Definition_Multimedia_Interface
- [23] SO. ISO/IEC 18004:2006 [online]. 2015 [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=43655
- [24] QRGGENERATOR.CZ. [online]. [cit. 2015-12-17]. Dostupné z: <http://www.qrgenerator.cz/#url>

SEZNAM ZKRATEK

HEVC	High Efficiency Video Coding
FPS	Frames Per Second
PIP	Picture in Picture
DLNA	Digital Living Network Alliance
HbbTV	Hybrid Broadcast Broadband TV
SSD	Solid-state drive
ID	Identifikace
QR	Quick Response
HVS	Human visual system