



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 VLIVU OBSAHU SCÉNY NA PROSTOROVÝ EFEKT 3D OBRAZU A VIDEOA

SUBJECTIVE TESTS OF INFLUENCE OF THE CONTENT OF THE SCENE ON THE SPATIAL EFFECT OF 3D
IMAGES AND VIDEOS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Filip Kaučiarik

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Libor Boleček, Ph.D.

BRNO 2017



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**

Ústav radioelektroniky

Student: Filip Kaučiarik

ID: 174325

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Subjektivní testy vlivu obsahu scény na prostorový efekt 3D obrazu a videa

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Nastudujte aspekty, které ovlivňují kvalitu obrazu a vjemu v 3D TV. Navrhněte scénář subjektivních testů pro testování vlivu obsahu videosekvencí. Vytvořte databázi testovacích sekvencí a vypočtete jejich parametry (prostorová aktivita, časová aktivita a další).

V experimentální části práce proveďte vlastní subjektivní testy prostorového vjemu 3D obrazu a videa. Proveďte analýzu a statistické vyhodnocení dosažených výsledků. Porovnejte výsledky subjektivních testů s výsledky objektivních metrik. Posuďte vliv testovaných aspektů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MRAK, M., GRKIC, M., KUNT, M. High- Quality Visual Experience, Springer, 2010.

[2] SLANINA, M.; KRATOCHVÍL, T.; BOLEČEK, L.; ŘÍČNÝ, V.; KALLER, O.; POLÁK, L. Testing QoE in Different 3D HDTV Technologies. Radioengineering, 2012, roč. 21, č. 1, s. 445-454. ISSN: 1210- 2512.

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 30.5.2017

Vedoucí práce: Ing. Libor Boleček, Ph.D.

Konzultant:

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

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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

Práca sa zaoberá štúdiou parametrov videosekvencií ktoré ovplyvňujú kvalitu obrazu pri sledovaní 3D snímok a videí. Je zameraná na porovnávanie jednotlivých parametrov videosekvencie ktorými sú časová, hĺbková a priestorová dynamika a ich vplyvu na subjektívne testovanie a hodnotenie kvality zážitku 3D u respondentov. V práci je obsiahnutý aj popis návrhu testovacej sekvencie na základe rôznorodosti parametrov sekvencie a aj návrh subjektívneho testu. Bol určený tzv. absolútny parameter J pre dosiahnutie najväčšieho vplyvu objektívnych parametrov sekvencie na 3D efekt a komfort scény v rámci subjektívneho hodnotenia.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Stereoskopia, 3D, Subjektívne testy, Sekvencia, Parametre videosekvencie, Priestorová dynamika, Časová dynamika, Hĺbková dynamika, Jasová zložka, Subjektívne hodnotenie

ABSTRACT

This thesis is concerning with study of video sequence parameters which influence the quality of picture during watching 3D frames and videos. It's focused on comparing individual parameters of video sequences which are spatial and temporal information and depth map range and their influence on subjective testing and assessment of quality of experience by respondents . This thesis contains specification of testing sequence plan based on diversity of video sequence parameters and also a layout of subjective testing. An absolute parameter J was determined to achieve the maximum effect of objective parameters of sequency to 3D effect and comfort of the scene within subjective assessment.

KEYWORDS

Stereoscopy, 3D, Subjective testing, Sequence, Videosequence parameters, Spatial information, Perceptual information, Depth map range, Brightness, Subjective assessment

KAUČIARIK ,F. *Subjektivní testy vlivu obsahu scény na prostorový efekt 3D obrazu a videa*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 51s. Vedoucí bakalářské práce: Ing. Libor Boleček, Ph.D..

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému Subjektívni testy vlivu obsahu scény na prostorový efekt 3D obrazu a videa som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, predovšetkým som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich zákona č. 121/2000 Sb., o autorskom práve, o právach súvisiacich s autorským právom a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Sb.

V Brne dňa

.....

(podpis autora)

POĎAKOVANIE

Týmto by som rád poďakoval vedúcemu tejto bakalárskej práce pánovi inžinierovi Liborovi Bolečkovi PhD. za jeho čas strávený konzultáciami, ústretovosť odbornú a metodickú pomoc ktoré mi pomohli k úspešnému ukončeniu tejto bakalárskej práce.

OBSAH

Zoznam obrázkov	vi
Zoznam tabuliek	vii
Zoznam grafov	viii
Úvod	1
1 Princíp a história stereoskopie	2
1.1 História stereoskopie.....	2
1.2 Princíp stereoskopického videnia	3
2 Princíp 3D zobrazovania	4
2.1 Anaglyf	4
2.2 Pasívne 3D zobrazovanie.....	4
2.3 Aktívne 3D zobrazovanie-princíp časového multiplexu	5
2.4 Princíp priestorového multiplexu.....	6
3 Použité Sekvencie a Výpočet ich parametrov	7
3.1 Sekvencie	7
3.2 Výpočet parametrov.....	8
3.2.1 Hĺbková dynamika.....	8
3.2.2 Časová a priestorová dynamika	9
3.2.3 Ostatné parametre	10
3.3 Vypočítané parametre	11
3.4 Rozradenie do skupín.....	14
4 Príprava testu	17
4.1 Norma ITU – R BT.2021	17
4.2 Nástroje štatistickej analýzy	18
4.3 Predtest.....	20
5 Popis testovania	21
6 Výsledky testovania	24
6.1 Spracovanie hodnotenia respondentov	24
6.2 Vyhodnotenie vplyvu parametrov v rámci jednotlivých sekvencií	26

6.2.1	3D efekt.....	27
6.2.2	Komfort scény.....	28
6.3	Vyhodnotenie vplyvu parametrov v rámci skupín.....	30
6.3.1	3D efekt.....	30
6.3.2	Komfort scény.....	30
6.4	Vytvorenie absolútneho parametra	33
7	Záver	35
	Zoznam literatúry	37
	Zoznam skratiek	38
	Príloha	39
A.1	Fotka testovacieho stanoviska	39
A.2	Formulár.....	39

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 2.1 Ukážka snímku na základe systému Anaglyf, prevzaté z [14].....	4
Obrázok 2.2 Schéma zapojenia pasívnej 3D technológie, prevzaté z [15].....	5
Obrázok 2.3 Princíp fungovania aktívnej 3D technológie, prevzaté z [16].....	6
Obrázok 3.1 Prvá sada použitých sekvencií	7
Obrázok 3.2 Druhá sada použitých sekvencií.....	8
Obrázok 3.3 Ukážka výpočtu hĺbkovej dynamiky v programe Stereophoto Maker	9
Obrázok 4.1 Časový popis sekvencie metódy Single Stimulus, prevzaté z [1].....	18
Obrázok 4.2 Randot Test, prevzaté z [17]	20
Obrázok 5.1 Časový rozvrh prvého kola testovania	22
Obrázok 5.2 Zapojenie testovacieho pracoviska	22
Obrázok 5.3 Diagram priebehu testu	23

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 3.1 Vypočítané parametre sekvencií	12
Tabuľka 3.2 Vypočítané parametre pre skupinu sekvencií č.1	15
Tabuľka 3.3 Vypočítané parametre pre skupinu sekvencií č.2	15
Tabuľka 3.4 Vypočítané parametre pre skupinu sekvencií č.3	16
Tabuľka 3.5 Vypočítané parametre pre skupinu sekvencií č.4	16
Tabuľka 3.6 Vypočítané parametre pre skupinu sekvencií č.5	16
Tabuľka 6.1 Výsledky hodnotenia 1. otázky-3D efekt	24
Tabuľka 6.2 Výsledky hodnotenia 2. otázky-komfort scény	25
Tabuľka 6.3 Výsledky hodnotenia-zoradenie sekvencií so známkou 4 do radu	26

ZOZNAM GRAFOV

Graf 3.1 Časová dynamika sekvencií s rozptylom	12
Graf 3.2: Priestorová dynamika sekvencií s rozptylom.....	13
Graf 3.3: Hĺbková dynamika sekvencií	13
Graf 3.4: Medián jasovej zložky sekvencií.....	14
Graf 3.5 Rozdelenie do skupín podľa pomerov jednotlivých parametrov.....	15
Graf 6.1 Závislosť MOS na hodnotách parametrov-3D zážitok.....	27
Graf 6.2 Závislosť MOS na hodnotách parametrov-3D zážitok.....	28
Graf 6.3 Závislosť MOS na hodnotách parametrov-komfort	29
Graf 6.4 Závislosť MOS na hodnotách parametrov-komfort	29
Graf 6.5 Porovnanie vplyvu parametrov na MOS v rámci skupín-3D efekt	31
Graf 6.6 Porovnanie vplyvu parametrov na MOS v rámci skupín-komfort	32
Graf 6.7 Závislosť MOS na parametri J-3D efekt	34
Graf 6.8 Závislosť MOS na parametri J-komfort scény	34

ÚVOD

Meranie kvality je obecné veľmi dôležité v každodennom živote a prakticky v každom odvetví, výnimkou nie je ani kvalita obrazu. To sa dá uskutočniť predovšetkým dvoma spôsobmi: Objektívny a subjektívny spôsob. Prvé menované využíva určité merateľné definované parametre. Príkladom je pomer Signál/Šum u prijímacieho zariadenia. Objektívnym parametrom môže byť aj skupina vlastností. Naproti tomu subjektívny spôsob prebieha s pomocou dostatočného počtu účastníkov (pozorovateľov). U daného subjektívneho testovania sa hľadá nejaký objektívny parameter ktorý má určitý vplyv na subjektívny vnem u diváka (pozorovateľa).

Efekt 3D zobrazenia môžeme definovať podľa niekoľkých súbežných pocitov pozorovateľa ako napr.: miera pocitu pozorovateľa že je súčasťou scény, intenzita 3D vnímania alebo miera realistikosti scény. Na efekt má veľký vplyv množstvo parametrov ktoré by sme mohli jednoducho rozdeliť do 4 skupín a to: okolnosti a parametre snímania videosekvencie, parametre videosekvencie, parametre pozorovania videosekvencie a vlastnosti samotného pozorovateľa. To isté platí aj pre komfort pri sledovaní scény.

Daná práca sa zaoberá predovšetkým skúmaním vplyvu parametrov videosekvencie na kvalitu 3D efektu a komfortu pri sledovaní scény. Týmito parametrami sú časová a priestorová dynamika (v angličtine perceptual and spatial information) a hĺbková dynamika (depth map range). Zároveň bola skúmaniu vplyvu na hodnotenie podrobená aj jasová zložka. Daná práca sa zaoberá na úvod vysvetlením pojmu stereoskopie, jej históriou, princípom stereoskopického videnia. V ďalšej kapitole rozoberá porovnávanie typov stereoskopického zobrazovania (aktívne a pasívne), súčasnými podmienkami a budúcnosťou 3D. Nasleduje oboznámenie s testovacími sekvenciami, výpočtom ich parametrov v prostredí MATLAB a následné rozdelenie do skupín. V ďalšej kapitole je uvedený návrh subjektívneho hodnotenia kvality stereoskopického videa pomocou normy ITU-R BT. 2021 a 2022, opísaním jednotlivých metód hodnotenia kvality 3D obrazu a videa. V praktickej časti sa uvádza celkový priebeh testov, výsledky hodnotenia jednotlivých sekvencií a vyhodnotenie vplyvu časovej, priestorovej a hĺbkovej dynamiky ako primárnych parametrov a aj jasovej zložky ako dodatočného parametru. [1], [2]

1 PRINCÍP A HISTÓRIA STEREOSKOPIE

1.1 História stereoskopie

S myšlienkou stereoskopického videnia, a teda vnímania akéhosi trojrozmerného(priestorového) efektu aj z dvojrozmernej predlohy sa pohrávali už v starovekom Grécku. Počas tisícročí sa viacero ľudí zaoberalo myšlienkou že za priestorovým vnímaním je len akási hĺbka v obraze. Zaujímavosťou je prvé použitie slova „stereoskopický“(v origináli : „stéréoscopique“) ktoré použil vo svojej práci belgický matematik a fyzik François d’Aguillon vo svojom spise *Opticorum Libri Sex philosophis juxta ac mathematicis utiles* .

Prvý skutočný priekopník v tejto oblasti bol až anglický vedec, tvorca a vynálezca Sir Charles Wheatstone ,ktorého meno je však známe najmä vďaka jeho práci v oblasti elektrickej energie a jeho podielom na vývoji tzv. Wheatstonovho mostíka a rady ďalších vynálezov. Pre nás primárne bol vynálezcom zariadenia menom stereoskop(konkrétne zrkadlový stereoskop) ktoré slúžilo na prezeranie 2 oddelených stereoskopických snímok z ktorých každý snímok bol určený pre jedno oko, čo splývalo v jeden trojdimenzionálny snímok a vytváralo dojem priestorového zobrazenia.

Zároveň s Wheatstoneom v približne rovnakej dobe nezávisle od neho pracoval na podobnom vynáleze aj známy matematik, fyzik a objaviteľ Sir David Brewster s jeho verziou stereoskopu, pričom občas sa mylne prisudzujú zásluhy za vynález stereoskopu práve jemu. Obdobie od roku 1860 až do 1890 bývajú označované aj ako za zlatú éru stereografie. Po týchto úspechoch sa však s príchodom filmu, kinematografie a prvým verejným premietaním na stereofotografie tak trochu zabudlo a oživenie prichádza až v roku 1922 s prvým premietaním stereoskopického filmu avšak na systéme anaglyph ,jednej z metód na vnímanie stereoskopického videnia založenom na farebnom odlíšení obrazu pre jednotlivé oči, bude rozobraná v kapitole č.2 Princíp 3D zobrazovania. Neskôr bola predstavená aj prvá „3D“ televízia avšak s menším úspechom ako sa čakalo a postupne sa prechádzalo do obdobia kde o stereoskopiu široká verejnosť záujem nejavila. Môžeme však pripomenúť zaujímavé úspechy z éry 20. storočia akými boli napr. stereokotúče patentované v roku 1938 od View Master či u nás v Československu populárne kotúče tzv. Meoskopy od firmy Meopta. Ich princípom bolo zobrazovanie stereosnímkov uložených v špeciálnych kotúčoch ktoré na seba nadväzovali. Menší záujem vyvolali stereografické premietacky v 50-tych rokoch ale taktiež po určitom čase tento záujem stíchol. V nasledujúcich rokoch pozorujeme obrovský úpadok a nárast záujmu o 3D u verejnosti prichádza až v niekoľkých posledných rokoch, s vývojom moderných televízorov na princípe tekutých kryštálov(LCD), plazmy, neustálym zlepšovaním zážitku z televízie. [3], [4]

1.2 Princíp stereoskopického videnia

K správne stereoskopickému videniu je potrebné monokulárne a binokulárne videnie ktoré sa navzájom dopĺňajú. Monokulárne videnie (videnie 1 okom) užíva schopnosti vidieť podľa skúseností z minulosti a používa tzv. monokulárne vodítka. Monokulárnymi vodítkami sú akomodácia, relatívna veľkosť, interpozícia, vzdušná perspektíva, gradient štruktúry, tienenie, lineárna perspektíva, pohybová paralaxa. Jednoducho povedané monokulárne videnie je vhodné pre známe priestory, situácie, predmety ktoré sme už v minulosti videli alebo zažili. Akonáhle sa však ocitneme v prostredí novom dochádza k dezorientácii a strate odhadu vzdialenosti, veľkosti.

Princípom binokulárneho videnia, ktoré je najvyššou a najdokonalejšou formou videnia, je pozorovanie predmetu oboma očami zároveň s ich vzájomnou rôznou polohou-Binokulárna disparita. Ďalšou súčasťou je konvergencia. Obraz sa pomocou oka zobrazí na sietnicu dvojrozmerné, pričom obe oči zosnívali obraz pod rôznym uhlom, pomocou fúzie sa obrazy z oboch sietnic preložia, vďaka vzniká jeden priestorový obraz. Toto sa označuje aj ako priestorový vnem. [5], [6]

Správne stereoskopickému videniu bránia tzv. refrakčné chyby ako sú Hypermetropia (hyperopia, ďalekozrakosť), Myopia (krátkozrakosť), Astigmatizmus alebo Presbyopia. Pri testovaní bude braný dôraz na to aby sa respondenti s refrakčnými chybami ktoré by mohli skresliť výsledok testovania z neho vyradili. [7], [8]

2 PRINCÍP 3D ZOBRAZOVANIA

K tomu aby človek správne vnímal stereoskopický obraz je potreba pomocou nejakého zobrazovacieho zariadenia(projektor, monitor, televízor) zabezpečiť distribúciu informácie z obrazu z príslušnej kamery pre príslušné oko. K tomuto účelu sa používajú rôzne technológie zobrazovania, od zastaraného anaglyf-u až po autostereoskopickú technológiu. V danej kapitole si v krátkosti predstavíme najčastejšie a najpoužívanejšie typy, ich výhody a nevýhody.

2.1 Anaglyf

V dnešnej dobe už veľmi zastaraná technológia, funguje na princípe optickej filtrácie, rozdelenia do dvoch obrazov odlišených farbami(najčastejšie modro-červená alebo zeleno-červená) a umiestnenia oboch obrazov do jedného snímku(viz obr. 2.1). Následné sa pomocou optických filtrov(známe napr. papierové okuliare s farebnými filterami) oddelí obraz určený pre pravé a ľavé oko. Výhodou sú minimálne náklady a jednoduchosť. Nevýhodou je značná strata farebnej informácie obrazu a z dôvodu korekcie veľké namáhanie mozgu ktoré spôsobuje nepríjemné sledovanie pre pozorovateľov.



Obrázok 2.1 Ukážka snímku na základe systému Anaglyf, prevzaté z [14]

2.2 Pasívne 3D zobrazovanie

Asi najznámejšia technológia 3D zobrazovania, známa najmä z kín. Pasívna sa nazýva pretože charakteristické pasívne 3D okuliare s polarizačnými filterami fungujú bez akejkoľvek elektroniky. Spolu s anaglyf patria do skupiny zobrazovačov s optickou filtráciou. Princípom je použitie dvojice projektorov/displejov z ktorých každý prepúšťa cez polarizačný filter obraz polarizovaný len v 1 rovine určený vždy len pre 1 oko. Okuliare oddelia pomocou filtrov obraz vždy pre dané oko. Nutné špeciálne plátno na

premietanie(napr. postriebrené), u televízorov a monitorov potrebná polarizačná maska(viz obr. 2.2). Výhodou sú nízke udržiavacie náklady(okuliare stačí občas vyčistiť, veľmi používané v kinách), menšie zaťaženie očí, bez nutnosti zosynchronizovať okuliare s TV alebo projektorom, vcelku kvalitné podanie 3D zážitku, nevýhodou u televízorov a monitorov s polarizačnou maskou polovičné rozlíšenie oproti rozlíšeniu v 2D.



Obrázok 2.2 Schéma zapojenia pasívnej 3D technológie, prevzaté z [15]

2.3 Aktívne 3D zobrazovanie-princíp časového multiplexu

Spoločným znakom tejto technológie sú aktívne 3D okuliare(obsahujú elektroniku na riadenie zatemňovania skiel, taktiež napájanie-najčastejšie batérie).Je potrebné dvojnásobná obnovovacia frekvencia zobrazovača(monitor, televízor) oproti ostatným typom zobrazenia z dôvodu striedavého vysielania obrazu pre ľavé a pravé oko. V jednom momente je vždy obraz len pre 1 oko a toto sa sekvenčne strieda. (viz obr. 2.3) Okuliare majú na starosti zatemňovanie skiel príslušného oka aby v danej chvíli pozorovateľ prijímal informáciu len pre 1 oko, a teda pri vysielaní obrazu pre ľavé oko sa zatmaví pravá očníca na okuliaroch. Obnovovacia frekvencia je však dostatočne veľká na to aby pozorovateľ danú zmenu nepostrehol a je pre neho stereoskopicky obraz plynulý. Výhodou tohto typu je kvalitné podanie 3D zážitku, zachovanie základného rozlíšenia TV, stačí 1 projektor v prípade projekcie bez špeciálneho plátna. Nevýhodou je cena a náklady na používanie aktívnych 3D okuliarov, vhodné len pre obmedzený počet divákov, preblikávanie a teda nepohodlnosť a občas nepríjemné prezeranie, zhoršený jas oproti pasívnemu systému.



Obrázok 2.3 Princíp fungovania aktívnej 3D technológie, prevzaté z [16]

2.4 Princíp priestorového multiplexu

Hlavným znakom tejto skupiny zobrazovačov/displejov je tzv. “Glasses free“ systém, teda schopnosť stereoskopického zobrazovania aj bez použitia špeciálnych 3D okuliarov. Označujú sa aj ako autostereoskopické displeje. Asi najpoužívanejším z tejto skupiny je princíp paralaxnej bariéry spočíva v maske na zobrazovacom zariadení (najčastejšie televízor alebo monitor) ktorá spôsobuje že obrázky pre jednotlivé oči sú viditeľné len v určitom smere, jednoducho povedané, pozorovateľ musí byť v konkrétnej pozícii pred zobrazovačom aby správne prijímal obraz pre ľavé a pravé oko. Tento uhol pozorovania je však u tejto technológie veľmi malý a stačia jednotky centimetrov a pozorovateľ uvidí snímok inverzne, ľavé oko uvidí obraz určený pre pravé oko a naopak. Druhým spôsobom je tzv. lentikulárny displej ktorý namiesto bariéry používa čočky, výhodou oproti bariérovým auto stereoskopickým displejom je možnosť sledovať obraz z viacerých miest a nie len z určitého miesta, ale aj napriek tomu je obmedzená určitým počtom zón z ktorých možno obraz sledovať. Túto skutočnosť sa snažia napraviť zobrazovače s technológiou Eye-tracking (sledovania očí) ktorá automaticky upravuje nastavenie masky voči pozorovateľovej polohe. V konečnom dôsledku však je táto technológia nie veľmi obľúbená z dôvodu veľmi obmedzeného pozorovacieho uhla a polovičnej kvality oproti natívnemu rozlíšeniu zobrazovača. [9], [10]

3 POUŽITÉ SEKVENCIE A VÝPOČET ICH PARAMETROV

Nasledujúca kapitola uvádza aké testovacie sekvencie sa použili, oboznámi so spôsobom výpočtu jednotlivých parametrov videa a zároveň uvádza rozdelenia sekvencií do jednotlivých skupín podľa úrovni vypočítaných parametrov v nich.

3.1 Sekvencie

Sekvencie obsiahnuté v práci boli získané z Blu-ray Avatar a Blu-ray Ocean wonderland oba Full HD 1920x1080, 30fps. U nastrihaných sekvencií ktoré mi boli zapožičané z ústavu Rádioelektroniky(UREL) je rozlíšenie aj počet snímkov zachované, bitová rýchlosť obrazu je 1492992 kbps ,bez zvuku. Sekvencie boli nastrihané vo formáte .yuv 4:2:0 z ktorého boli preformátované na formát typu MPEG .avi pre jednoduchšie otváranie v programe MATLAB pomocou defaultného doplnku Videoreader ktorý je schopný načítať sekvencie formátu .avi. Sekvencie v teste sa budú prehrávať nekomprimované keďže akékoľvek kódovanie je pre nás nepotrebné a nežiadúce, pretože by to mohlo ovplyvniť výsledný priestorový vnem a kvalitu videa. Počet sekvencií použitých v teste je 18, z toho 6 sekvencií pochádza z filmu Avatar, zvyšných 12 sekvencií je z filmu Ocean wonderland. Na nasledujúcich snímkoch sú zobrazené snímky jednotlivých sekvencií(viz obr. 3.1 a 3.2). V nasledujúcej podkapitola 3.2 sú vypočítané parametre jednotlivých sekvencií(viz tab. 3.1 a 3.2). Každá sekvencia trvá približne 7-8 sekúnd s ohľadom na to že všetky sekvencie majú počet snímkov približne podobný tj. v intervale od 238-243 snímkov.



Obrázok 3.1 Prvá sada použitých sekvencií



Obrázok 3.2 Druhá sada použitých sekvencií

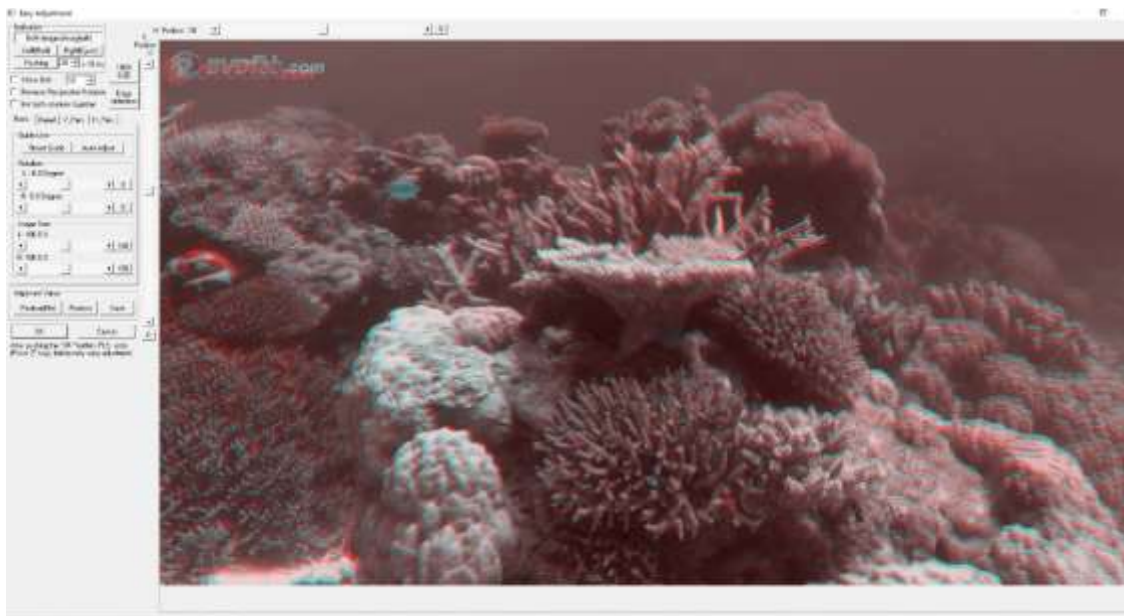
3.2 Výpočet parametrov

Nasledujúca podkapitola sa zaoberá výpočtom parametrov videosekvencie ktoré sme si vybrali pre testovanie u tohto subjektívneho testovania. Z celkového počtu asi 30-tich dostupných sekvencií bolo vybraných 18 sekvencií podľa vhodného rozdelenia do skupín s rôznymi kombináciami hodnôt jednotlivých parametrov. Na odporúčanie vedúceho práce sú týmito parametrami časová, priestorová, hĺbková dynamika a jasová zložka. Cieľom bude zistiť závislosť hodnotenia respondentov pre rôzne kombinácie hodnôt týchto parametrov. Pre jednotlivé sekvencie využité v tomto teste boli vypočítané spomenuté parametre, podľa výsledkov boli následne zoradené do skupín sekvencií s podobnými hodnotami parametrov. Do skupín boli sekvencie zoradené len časovej, priestorovej a hĺbkovej dynamiky, jasová zložka bola pri tvorení skupín irelevantná. Vypočítané boli aj iné parametre ako SSIM (Structural similarity index measurement) alebo percentily jasovej zložky, u týchto parametrov ale nebol skúmaný ich vplyv na celkové hodnotenie.

3.2.1 Hĺbková dynamika

K určeniu hĺbkovej dynamiky bol použitý program Stereophoto maker. V tomto programe sa otvorili 2 snímky obrazovky (ľavý a pravý) z jednej sekvencie ktoré boli zhotovené v rovnakom čase (na rovnakom čísle snímku v sekvencii) . Pomocou funkcie Easy alingment (viz obr. 3.3) ktorá je súčasťou tohto programu sa tieto 2 snímky prekryli a vytvorili stereoskopický obraz. S využitím posuvných tlačítok sa snažilo docieľiť zaostrenie obrazu najbližšieho objektu v scéne posúvaním snímku v horizontálnom a vertikálnom smere . Takto sme mohli odčítať hodnotu vzdialenosti o ktorú sa daný snímok posunul a analogicky s využitím rovnakého princípu posúvania sme sa snažili zaostriť najvzdialenejší objekt scény. Rozdielom polôh týchto zaostrených objektov sme

určili hĺbkovú dynamiku. Preformulovane, hĺbková dynamika je vzdialenosť medzi najbližším a najvzdialenejším objektom v scéne. Čím viac sú od seba vzdialené tieto objekty, tým väčšiu hĺbkovú dynamiku daná sekvencia má. Na obrázku možno vidieť ukážku z programu Stereophoto Maker a určovania hĺbkovej dynamiky(viz. obr. 3.3).



Obrázok 3.3 Ukážka výpočtu hĺbkovej dynamiky v programe Stereophoto Maker

3.2.2 Časová a priestorová dynamika

Výpočet časovej a priestorovej dynamiky bol uskutočnený pomocou programu MATLAB(MATrix LABoratory).Predtým než sme vôbec boli schopný prejsť k výpočtu bolo potrebné previesť sekvencie z formátu .yuv do formátu .avi z dôvodu že MATLAB tento formát defaultne otvoriť nevie(daný problém sa dá vyriešiť pomocou kódu od tretej strany ktorý však nefungoval). K otvoreniu formátu .avi. Slúži v tomto programe funkcia VideoReader. Touto funkciou sme otvorili danú sekvenciu (ľavý a pravý kanál) ako možno vidieť v priloženej ukážke kódu. Vopred musel byť však známy celkový počet obrazov ktorý sekvencia obsahovala. Zároveň pre potreby výpočtov boli načítané sekvencie preformátované znovu a prevedené z farebnej škály RGB pomocou príkazu rgb2grey na snímky v odtieňoch šedej.

Začneme časovou dynamikou ktorá bola vypočítaná ako rozdiel jasov dvoch po sebe idúcich snímok sekvencie (vždy najskôr pre ľavé a potom pre pravé oko viz. vzorec 3.1) táto zmena bola vypočítaná vždy pre pár susedných snímok od začiatku naprieč celou sekvenciou.

$$TI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |I_L(x_i, y_j) - I_{L+1}(x_i, y_j)|}{m * n}, \quad (3.1)$$

Kde: I_L je intenzita pixelu v ľavom snímku, I_{L+1} intenzita v nasledujúcom ľavom snímku, x_i a y_j reprezentujú pozíciu v obraze, m/n reprezentujú počet pixelov obrazu v horizontálnom/vertikálnom smere.

Tieto zmeny sa sčítali a vydělili rozmerom snímku(1920x1080) a zistili sme tým časovú dynamiku ktorá udáva zmenu danej sekvencie na 1 pixel. V priloženom kóde je ukážka výpočtu časovej aj priestorovej dynamiky . Celková priemerná časová dynamika sekvencie tu je zapísaná ako prumerTI pričom bol vypočítaný aj rozptyl tejto dynamiky ktorý je označený ako rozptylTI.

Priestorová dynamika popisuje frekvenciu zmien intenzity(viz. vzorec 3.2):

$$SI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |I_L(x_{i-1}, y_j) - I_L(x_i, y_j)| + |I_L(x_i, y_{j-1}) - I_L(x_i, y_j)|}{m*n}, \quad (3.2)$$

Kde význam I_L , x_i , y_i , m , n je rovnaký ako v predchádzajúcom vzorci .

V prvom rade bol vypočítaný rozdiel susedných pixelov v horizontálnom smere, teda po riadkoch, v ďalšom kroku sa vypočítal rozdiel susedných pixelov vo vertikálnom smere, tj. po stĺpcoch. Rozdiely v jednotlivých smeroch sa sčítali naprieč celou sekvenciou a v poslednom kroku sa sčítala celková horizontálna a vertikálna zmena naprieč sekvenciou a toto číslo sa podelilo rozmerom sekvencie, tj. 1920x1080, čím sme sa dostali k výslednej hodnote priestorovej dynamiky ktorá bola ešte spriemerovaná (v kóde označenie prumerSI) a bol vypočítaný aj rozptyl(v kóde rozptylSI) . Priestorová dynamika je teda definovaná ako rozdiel susedných pixelov v horizontálnom aj vertikálnom smere. Ukážku výpočtu priestorovej dynamiky môžete nájsť v priloženom kóde pre výpočet priestorovej a časovej dynamiky v prostredí MATLAB.

```
clear all
close all
v = VideoReader('avatar91501.avi');
v1 = VideoReader('avatar9150r.avi');
for i=1:242-1
video = read(v,i);
video1 = read(v,i+1);
gre = int32(rgb2gray(video));
gre1 = int32(rgb2gray(video1));
si_horizontal=abs(gre(:,1:end-1)-gre(:,2:end));
si_vertical=abs(gre(2:end,:) -gre(1:end-1,:));
si_all(i)=(sum(sum(si_vertical))+sum(sum(si_horizontal)))/(size(gre,1)
*size(gre,2));
ti_all=abs(gre-gre1);
ti_all_sum(i)=(sum(sum(ti_all)))/(size(gre,1)*size(gre,2));
end
prumerSI=mean(sa_all);
prumerTI=mean(ta_all_sum);
rozptylSI=std(sa_all);
rozptylTI=std(ta_all_sum);
```

3.2.3 Ostatné parametre

Táto podkapitola uvádza výpočet jasovej zložky a ostatných parametrov(SSIM a percentilov jasu). Ostatné parametre boli vypočítané pre možné budúce pokračovanie výskumu v oblasti vplyvu parametrov na hodnotenie respondentov ale neboli podrobené skúmaniu závislosti MOS na ich hodnotách, zatiaľ čo u jasovej zložky sa skúmala závislosť MOS na jej hodnote. Tento parameter bol určený len ako dodatočný(sekundárny) k primárnym parametrom.

U výpočtu jasovej zložky sa postupovalo opäť cez prostredie MATLAB kde bol napísaný kód. Podobný postup ako u predošlých parametrov kde sa najskôr načítala

sekvencia ktorá bola podrobená výpočtu cez doplnok VideoReader pričom opäť musel byť vopred známy celkový počet obrazov ktorý sekvencia obsahovala. Nasledovalo známe prevedenie zo zložiek RGB do odtieňov šedej. Ďalej bola sekvencia upravená pomocou príkazu reshape a vypočítaný medián jasovej zložky naprieč celou sekvenciou spolu s percentilom v 20% a 80%. Zároveň v poslednom kroku bol opäť vypočítaný aj rozptyl hodnôt priemernej jasovej zložky a jednotlivých percentilov.

```
v = VideoReader('OCEANWONDERLAND0310left.avi');
for i=1:225
video = read(v,i);
gre = double(rgb2gray(video));
res=reshape(gre, [1920*1080,1]);
M(i) = median(res);
Y(i) = prctile(res,20);
X(i)= prctile(res,80);
end
priemerMedian000=mean(M);
priemerpercentil20000=mean(Y);
priemerpercentil80000=mean(X);
RozptylMedian001=std(M);
Rozptylpercentil20000=std(Y);
Rozptylpercentil80000=std(X);
```

Výpočet SSIM bol obdobný k výpočtu časovej dynamiky, akurát sa neporovnával rozdiel dvoch po sebe nasledujúcich snímkov ale rozdiel ľavého a pravého snímku skúmanej sekvencie. Vďaka programu MATLAB bol však výpočet SSIM oveľa jednoduchší keďže toto prostredie ma defaultne obsiahnutú funkciu pre výpočet tohto parametru. Samotný výpočet je uvedený ukážke kde je opäť nutné načítať sekvencie pomocou doplnku VideoReader a preformátovanie z RGB do snímku v odtieňoch šedej.

Hodnoty percentilov aj SSIM v práci obsiahnuté nie sú, sú len priložené vo forme tabuľky v excelovskom súbore na elektronickom médiu.

```
v1 = VideoReader('avatar64r.avi')
v = VideoReader('avatar64l.avi')
for i=1:242
video00 = read(v,150);
video01 = read(v1,150);
gre02 = rgb2gray(video00);
gre03 = rgb2gray(video01);
[ssimval, ssimmap] = ssim_index(gre02,gre03);
gre_all_sum(i)=sum(sum(ssimval));
end
priemerSSIM=mean(acr_all_sum);
rozptylSSIM=std(acr_all_sum);
```

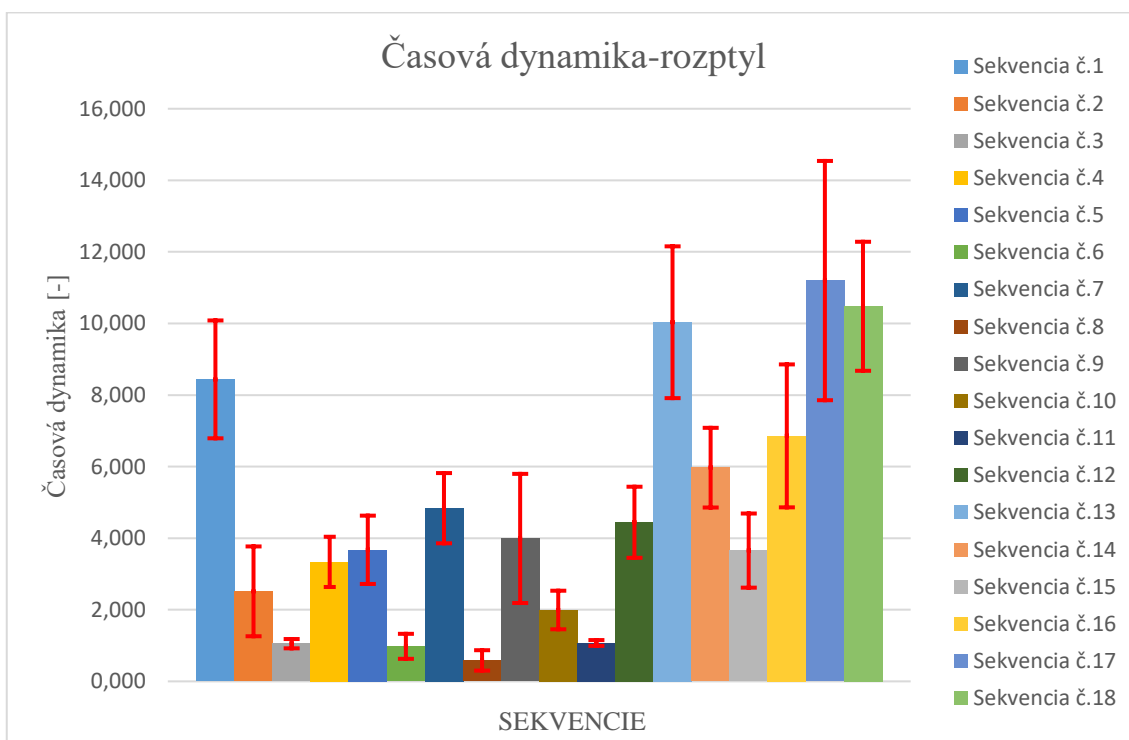
3.3 Vypočítané parametre

V tabuľke 3.2 sú uvedené všetky parametre u ktorých bude skúmaná závislosť MOS na hodnotách týchto parametrov, menovite hĺbkovej, časovej a priestorovej dynamiky spolu s ich rozptylmi. Takisto je uvedená aj hodnota jasovej zložky(mediánu jasu) a pre informáciu aj počet snímkov u každej sekvencie. Zároveň v grafoch 3.1, 3.2, 3.3 a 3.4 sú graficky zobrazené hodnoty priestorovej, časovej a hĺbkovej dynamiky a takisto aj

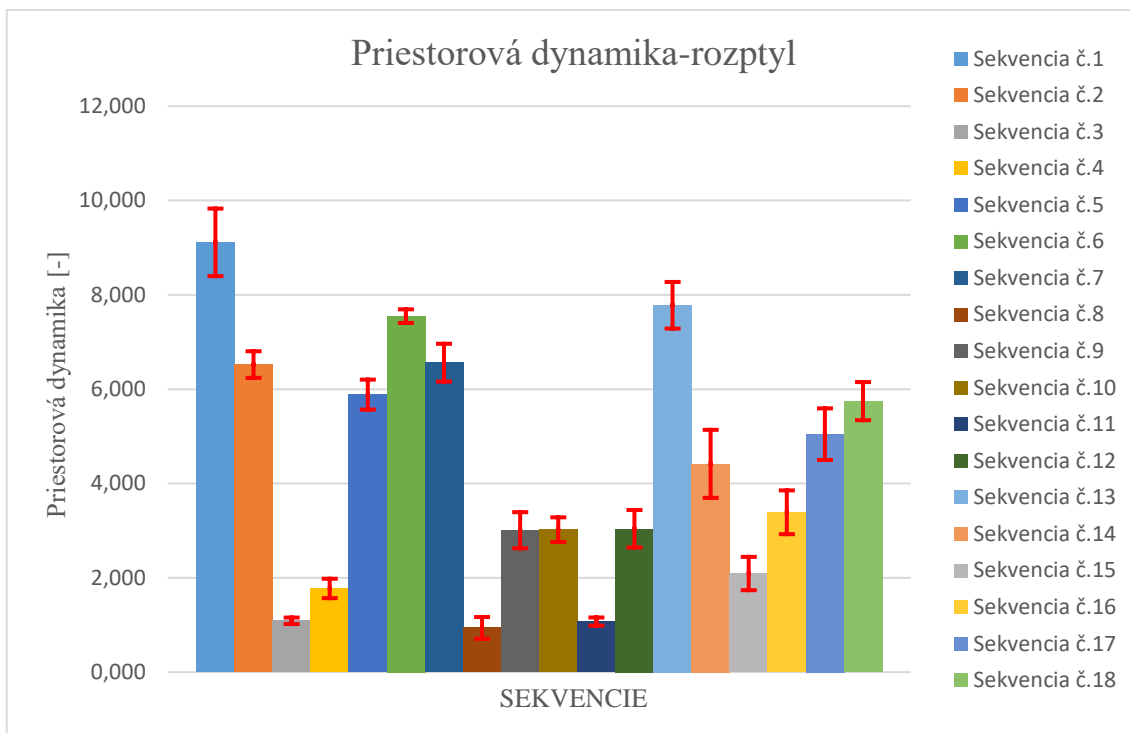
jasovej zložky pre každú sekvenciu zvlášť spolu aj s rozptylom. Rozptyl nie je zobrazený u hĺbkovej dynamiky a mediánu jasú keďže pri určovaní/výpočte týchto parametrov sa zistilo že rozptyl je u oboch minimálny(max. jednotky %). Väčší rozptyl ako u mediánu jasú a hĺbkovej dynamiky je zrejme u priestorovej a hlavne časovej dynamiky. Zatiaľ čo u priestorovej dynamiky je to niečo v okolí max. 20%, u časovej dynamiky je rozptyl značne vyšší, rádovo v desiatkach percent, v niektorých prípadoch až 50%.

č.sekvencie	počet snímkov	hĺbková dynamika	časová dynamika	rozptyl čas. dynamiky	priestorova dynamika	rozptyl priest.dynamiky	jas-medián
Ocean 225	239	65,0	8,44	1,65	9,11	0,72	128,09
Ocean 240	240	100,0	2,52	1,25	6,52	0,28	90,60
Ocean 345	243	18,0	3,34	0,70	1,77	0,21	95,93
Ocean438	239	48,0	3,68	0,95	5,88	0,32	75,80
Ocean520	240	83,0	4,84	0,98	6,56	0,40	95,89
Ocean645	242	33,0	0,59	0,29	0,94	0,23	94,76
Ocean690	240	24,0	1,99	0,54	3,02	0,26	102,72
Ocean840	238	74,0	1,07	0,08	1,07	0,09	97,63
Ocean930	243	47,0	10,03	2,12	7,78	0,49	84,36
Ocean1543	241	100,0	5,97	1,11	4,42	0,72	140,63
Ocean1700	239	33,0	6,86	2,00	3,39	0,46	97,30
Ocean2000	242	40,0	11,20	3,34	5,05	0,55	97,67
Avatar35	241	18,0	1,05	0,13	1,09	0,07	113,66
Avatar64	241	48,0	0,98	0,35	7,55	0,14	37,32
Avatar85	242	21,0	3,99	1,80	3,01	0,38	76,54
Avatar118	239	100,0	4,45	0,99	3,04	0,40	90,47
Avatar2255	240	65,0	3,65	1,04	2,09	0,35	35,87
Avatar9150	242	30,0	10,48	1,80	5,75	0,40	83,89

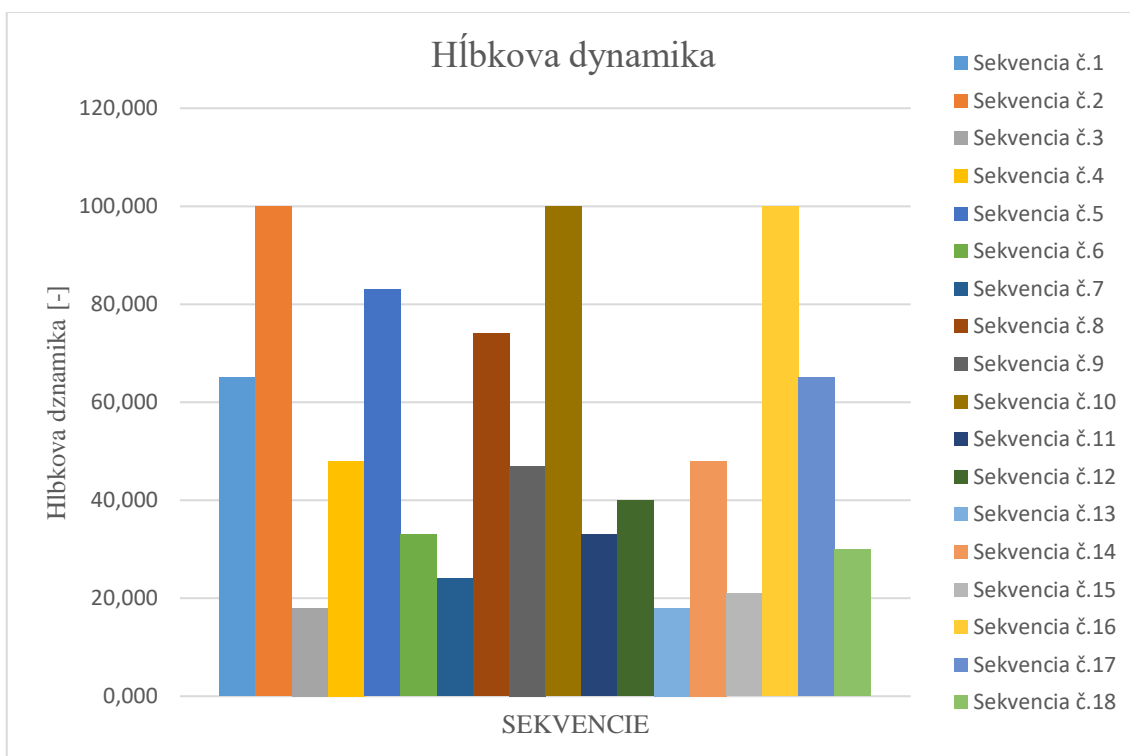
Tabuľka 3.1 Vypočítané parametre sekvencií



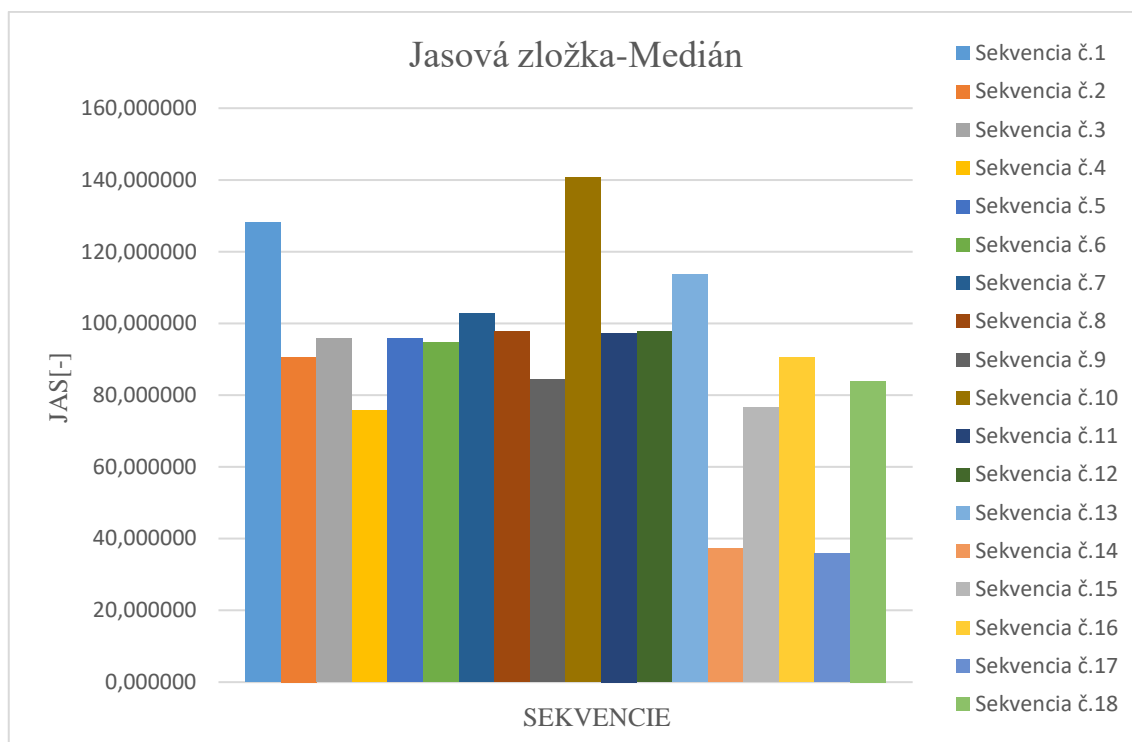
Graf 3.1 Časová dynamika sekvencií s rozptylom



Graf 3.2: Priestorová dynamika sekvencií s rozptylom



Graf 3.3: Hĺbková dynamika sekvencií

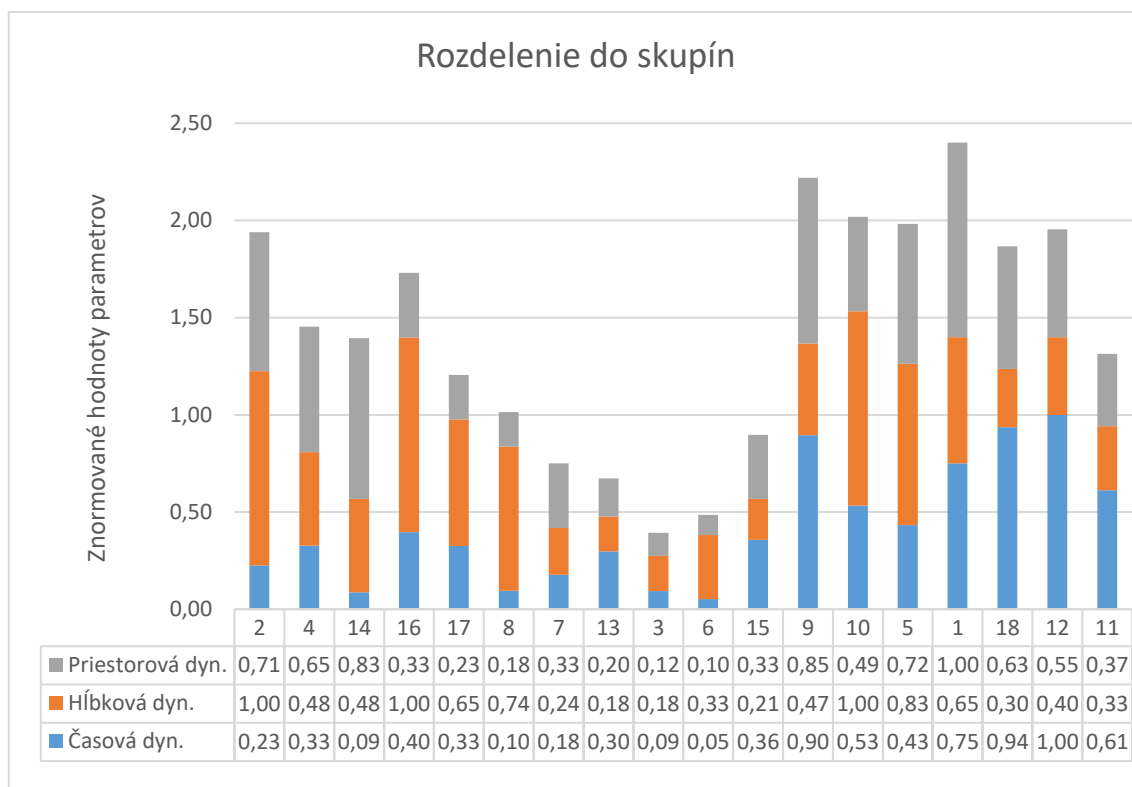


Graf 3.4: Medián jasovej zložky sekvencií

3.4 Rozradenie do skupín

Sekvencie do tohto testovania boli vyberané s ohľadom na rôznu hĺbkovú dynamiku, priestorovú a časovú dynamiku. Jasová zložka sa ako určujúci parameter pre rozdelenie do skupín nebrala do úvahy keďže v čase priebehu testov sa s jasovou zložkou ako parametrom ešte nepočítalo. Z dôvodu viacerých skúmaných parametrov sa sekvencie rozdelili do skupín s určitými vysokými (resp. nízkymi) hodnotami jednotlivých parametrov po 3-5 sekvenciách v 1 skupine.

Parametre vypočítané pre dané sekvencie (je to vždy priemer znormovaných vypočítaných hodnôt, keďže všetky sekvencie sa presne hodnotami nerovnajú) sú vždy v tabuľke príslušnej skupiny (tab.3.x). Sekvencie sú označené vždy jednoduchým číslom ktoré prislúcha vždy ku konkrétnemu názvu danej sekvencie. Zároveň hodnoty základných parametrov (parametrov podľa ktorých prebiehalo rozdelenie sekvencií do skupín) sú uvedené pre každú scénu zvlášť aj v grafe 3.5, pričom sekvencie sú za sebou zoradené aj podľa skupín (scéna 2, 4 a 14-skupina č.1; 16, 17 a 8-skupina č.2 a pod.)



Graf 3.5 Rozdelenie do skupín podľa pomerov jednotlivých parametrov

Prvá skupina sekvencií je súbor videí s väčšou priemernou priestorovou a hĺbkovou dynamikou. Časová dynamika dosahuje nižších hodnôt (viz tab.3.3). Patria tu sekvencie č. 2,4 a 14 v grafe 3.3 (Ocean240, Ocean438 a Avatar 64).

Skupina sekvencií č.	Časová dynamika	Priestorová dynamika	Hĺbková dynamika
1	0,65	0,76	0,74

Tabuľka 3.2 Vypočítané parametre pre skupinu sekvencií č.1

Druhá skupina sekvencií obsahuje videá s väčšou priemernou hĺbkovou dynamikou. Časová a priestorová dynamika u tejto skupiny dosahuje nižších hodnôt (viz tab. 3.4.) Referenčná skupina pre porovnanie so skupinou č.1 (priestorová dynamika) a skupinou č.3 (hĺbková dynamika). Patria tu sekvencie č. 8,16 a 17 (Ocean840, Avatar118 a Avatar 2255).

Skupina sekvencií č.	Časová dynamika	Priestorová dynamika	Hĺbková dynamika
2	0,27	0,23	0,8

Tabuľka 3.3 Vypočítané parametre pre skupinu sekvencií č.2

Nasledujúca skupina sekvencií bola vybraná vzhľadom na predošlú skupinu(č.2).U tejto skupiny sa vypočítali nízke úrovne časovej a priestorovej dynamiky, naopak hĺbková dynamika tu je nižšia(viz tab. 3.5). Pomocou tejto skupiny sa porovnáva vplyv hĺbkovej dynamiky na celkovú kvalitu sledovania pri menších hodnotách časovej a priestorovej dynamiky. Patria tu sekvencie č. 3, 6, 7, 13 a 15 (Ocean345, Ocean645, Ocean690, Avatar35 a Avatar85).

Skupina sekvencií č.	Časová dynamika	Priestorová dynamika	Hĺbková dynamika
3	0,20	0,22	0,23

Tabuľka 3.4 Vypočítané parametre pre skupinu sekvencií č.3

Táto skupina bola zložená zo sekvencií kde je priestorová, hĺbková časová dynamika veľká (viz tab. 3.6). Vďaka tejto skupine sa porovnáva opäť vplyv hĺbkovej dynamiky(skupinač.5) na kvalitu sledovania stereoskopického videa. Zároveň sa použila pre porovnanie so skupinou č.1 na zobrazenie vplyvu časovej dynamiky. Patria tu sekvencie č.1, 5, 9 a 10(Ocean225, Ocean520, Ocean930 a Ocean1543).

Skupina sekvencií č.	Časová dynamika	Priestorová dynamika	Hĺbková dynamika
4	0,21	0,73	0,65

Tabuľka 3.5 Vypočítané parametre pre skupinu sekvencií č.4

Posledná skupina je charakteristická nižšou hĺbkovou dynamikou, naproti tomu má vyššie hodnoty časovej a priestorovej dynamiky(viz tab. 3.7). U tejto skupiny sa v porovnaní so skupinou č.4 opäť vyvodzuje vzťah meniacej sa hĺbkovej dynamiky ku kvalite sledovania stereoskopického videa za podmienky vyšších hodnôt časovej a priestorovej dynamiky. Patria sem sekvencie č.11, 12 a 18(Ocean 1700, Ocean2000 a Avatar9500).

Skupina sekvencií č.	Časová dynamika	Priestorová dynamika	Hĺbková dynamika
5	0,85	0,52	0,34

Tabuľka 3.6 Vypočítané parametre pre skupinu sekvencií č.5

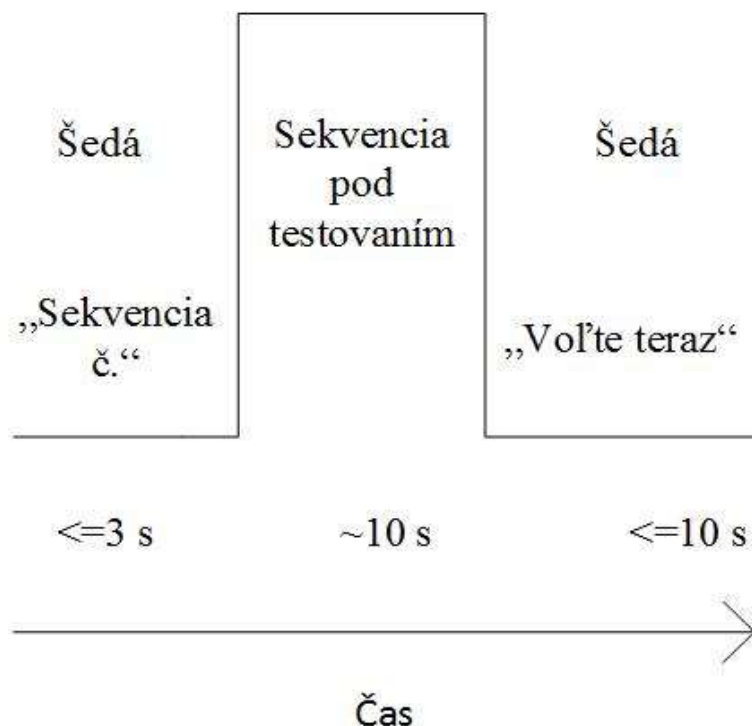
4 PRÍPRAVA TESTU

4.1 Norma ITU – R BT.2021

Pri príprave tohto subjektívneho testovania sa vychádzalo z normy ITU -R BT.2021 ktorá popisuje metodológiu pre testovanie stereoskopických 3DTV systémov vrátane obecných testov, hodnotiacich meradiel a odporúčaných podmienok sledovania. V danej norme sú hlavnými posudzovanými parametrami pre hodnotenie stereoskopického videa 3 hlavné parametre: Kvalita obrazu, kvalita hĺbky a vizuálny komfort. Norma vychádza primárne z normy ITU -R BT. 500 (subjektívne testovanie 2D obrazu) odkiaľ preberá až 6 metodík ktoré sa využívajú na odporúčané subjektívne testovanie stereoskopického obrazu:

- metóda single-stimulus (SS);
- metóda double-stimulus impairment scale (DSIS);
- metóda double-stimulus continuous quality scale (DSCQS);
- metóda stimulus-comparison (SC);
- metóda single-stimulus continuous quality evaluation (SSCQE);
- metóda simultaneous double stimulus for continuous evaluation (SDSCE).

V prvom kole testovania sa rozhodlo pre použitie metódy Single Stimulus(SS) a v druhom kole testovania pre metódu Stimulus Comparison(SC). V prvom kole boli sekvencie z jednotlivých skupín pustené vo vopred danom poradí. V druhom kole testovania boli pustené len sekvencie ktoré mali u respondentov známku 4(po predbežných výsledkov bola stanovená táto známka keďže väčšina pozorovateľov hodnotila sekvencie ktoré u nich mali pozitívne ohlasy ale neodhodlali sa dať známku vyššiu z prípadného očakávania sekvencie ktorá by u nich mohla mať vyššie hodnotenie. Tento krok sa robil z dôvodu zvýšenia presnosti keďže známka č.4 bola prakticky najfrekvencovanejšou hodnotou . Pre metódu Single stimulus norma predpisuje testovať vždy s prestávkami len jednu sekvenciu na začiatku a na konci ktorej musí byť šedá obrazovka. Úvodná šedá časť sekvencie by mala byť dlhá najviac 3 sekundy (viz obr. 4.1) a môže byť na nej nejaké označenie sekvencie(číslo),prípadne upozornenie pozorovateľov že sa začína testovanie, zatiaľ čo šedá obrazovka po sekvencií môže byť dlhšia (odporúča sa čas max.10 s).Tu môže byť zobrazený napr. pokyn k pozorovateľovi aby začal s hodnotením sekvencie. Pre posúdenie kvality obrazu sa používa diskretná 5-stupňová a štandardná ITU kontinuálna stupnica. Hodnotiacimi sú „Vynikajúce“ , „Dobré“ , „Primerané“ , „Slabé“ a „Zlé“. Pre posúdenie kvality vizuálneho komfortu sa používa diskretná 5-stupňová a kontinuálna komfortná stupnica. Komfortnou stupnicou sú „Veľmi pohodlné“ , „Pohodlné“ , „Miernepohodlné“ , „Nepohodlné“ a „Extrémnepohodlné“. Výstupom tejto metódy je u jedného hodnotiaceho tzv. opinion score(OP),u viacerých hodnotiacich mean opinion score(MOS),v prípade že by sa jednalo o testovanie s referenciou je výstupom difference opinion score(DOS) resp. difference mean opinion score(DMOS). [1]



Obrázok 4.1 Časový popis sekvencie metódy Single Stimulus, prevzaté z [1]

V druhom kole testovania sa bude používať metóda Single Comparison (SC). Táto metóda porovnáva pár sekvencií medzi sebou pričom sú tieto sekvencie zväčša pustené súčasne. Hneď po sledovaní týchto sekvencií môže byť respondent opýtaný ktorú z týchto sekvencií uprednostňuje v kontexte testovacieho scenára. Počet rozhodnutí je závislý na počte testovaných systémov resp. na počte testovaných parametrov. Testovacia sekvencia by sa taktiež mala začínať trojsekundovým oknom na ktorom môže byť napísané napr. „Testovacia sekvencia sa začína“. Ďalej nasleduje testovacia sekvencia ktorá by mala trvať približne 10 sekúnd. Sekvencie môžu byť zobrazené naraz na jednom displeji alebo postupne po sebe s trojsekundovou prestávkou. Potom by malo nasledovať okno dlhé najviac 10 sekúnd. Výstupnými dátami môžeme podľa hodnotení zoradiť vo vyhodnotení sekvencie od najlepšej po najhoršiu. Medzi sebou budú porovnávané len snímky s hodnotou známky 4 a nebudú im priradzované známky ani hodnotenie, budú len zaradené do radu od najhoršie hodnotenej po najlepšie hodnotenú sekvenciu.

4.2 Nástroje štatistickej analýzy

Táto časť je pre úspešnosť práce kľúčová keďže získané výsledky sa musia správne spracovať z dôvodu vyhodnotenia, relevantného výstupu s určitou výpovednou hodnotou výstupu tejto práce. Pre vyhodnotenie výsledkov bola opäť použitá norma ITU - R BT. 500 (subjektívne testovanie 2D obrazu) ktorá okrem iného udáva metodiku štatistickej analýzy výsledkov subjektívneho hodnotenia. [11]

Prvým krokom k analýze je výpočet tzv. „mean score“ resp. priemerného hodnotenia. Pojem bol spomenutý v predošlej kapitole, tzv.: Mean Opinion Score (MOS), voľne preložené priemerné hodnotenie pozorovateľa. MOS počítame pre každú

sekvenciu zvlášť. Vypočíta sa ako súčet hodnotení každého pozorovateľa pre danú sekvenciu a delí sa počtom pozorovateľov.

MOS nám v rámci štatistickej analýzy umožňuje zobrazit' vplyv jednotlivých skúmaných parametrov(hĺbkovej, priestorovej, časovej dynamiky a jasovej zložky) na kvalitu obrazu a videa v 3D.

Dostaneme ho podľa vzorca 4.1:

$$\overline{u_{jkr}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_{ijkr}, \quad [-] \quad (4.1)$$

Kde:

u_{ijkr} – hodnotenie pozorovateľa i , pre testovaciu podmienku j , sekvenciu/obraz k , opakovanie r

N – počet pozorovateľov

Norma zároveň aj udáva výpočet tzv. intervalu spoľahlivosti. Pri prezentovaní výsledkov testovania by malo MOS u každej sekvencie mať vypočítaný aj spomínaný interval spoľahlivosti ktorý získame deriváciou z tzv. štandardnej odchýlky a veľkosti každej vzorky pozorovateľov. Je žiadúce využívať odporúčaný 95%-ný interval spoľahlivosti ktorý je daný (viz. vzorec 4.2):

$$[u_{jkr} - \delta_{jkr}, u_{jkr} + \delta_{jkr},] \quad (4.2)$$

Kde:

$$\delta_{jkr} = 1,96 \frac{S_{jkr}}{\sqrt{N}}, \quad [-] \quad (4.3)$$

Štandardná odchýlka pre každú prezentáciu S_{jkr} dostaneme ako(viz vzorec 4.4):

$$S_{jkr} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\overline{u_{jkr}} - u_{ijkr})^2}{(N-1)}}, \quad [-] \quad (4.4)$$

Kde:

u_{ijkr} – hodnotenie sekvencie jedného pozorovateľa

$\overline{u_{jkr}}$ – priemerné hodnotenie sekvencie

Podobne pre každú testovaciu podmienku má byť vypočítaná spomínaná štandardná odchýlka. Všetky hodnotenia testu by sa mali pri prezentácii výsledkov práce nachádzať v intervale spoľahlivosti(norma určuje 95% intervalu spoľahlivosti) aby sa z výsledkov odstránili tí pozorovatelia ktorí mali hodnotenie extrémne odlišné od priemeru (MOS). Avšak z dôvodu malého počtu respondentov je tento interval(štandardná odchýlka) ovplyvnený skôr rozdielmi medzi sekvenciami ako odchýlkami v hodnotení v rámci účastníkov testovania.

4.3 Predtest

Predtým než sa prešlo k hodnoteniu sekvencií bolo nutné vykonať predtestovanie účastníkov. Je potrebné zistiť samotné zrakové predispozície a schopnosti zúčastnených, ich stereoskopický a farbocitlivý vnem resp. či sú zúčastnení pre náš test vhodný. Ako zrakový test sa použil v tejto práci tzv. Randot stereotest (viz obr. 4.2). Je to vektorový stereotest u ktorého sa identifikujú tvary z pozadia náhodných bodiek. Dodávajú sa okuliare bez ktorých nemožno nič vidieť aby sa eliminovalo hádanie. Bežne sa používa na testovanie zraku detí ale aj dospelých. Randot stereotest pomáha testovať zrak, hlavne hĺbkové vnímanie a normálne stereoskopické videnie. Pomáha odhaľovať tupozrakosť či škúlenie. [12]



Obrázok 4.2 Randot Test, prevzaté z [17]

5 POPIS TESTOVANIA

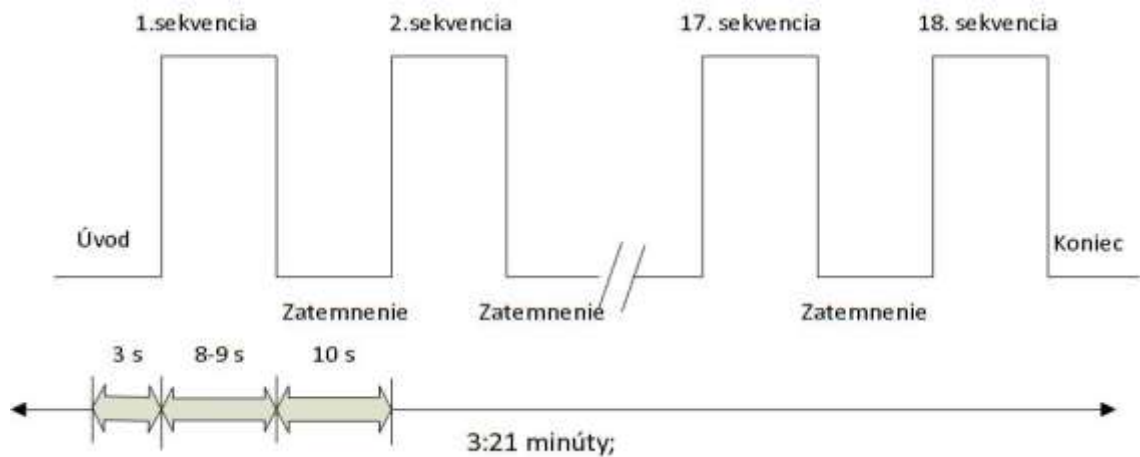
V tejto kapitole sa práca zaoberá popisom testovania, rozložením a popisom testovacieho stanovišťa. Podľa normy ITU-BT-R 2021 by sa vlastného merania malo zúčastniť aspoň 30 účastníkov. Z dôvodu nemožnosti takéhoto počtu účastníkov a celkovým problémom či už z časových alebo organizačných dôvodov sa zúčastnilo 15 pozorovateľov. Zároveň bolo dbané na to aby sa k testovaniu nedostali respondenti u ktorých bola pomocou predtestu odhalená vážna refrakčná chyba ktorá by výsledky testovania skresľovala. Testovanie sa uskutočňovalo počas 2 týždňov v laboratóriu SE 7.105 na ústave Rádioelektroniky(UREL).

Počas testovania museli byť vytvorené vhodné podmienky pre sledovanie 3D, napr. zatemnenie miestnosti z dôvodu nerušenia sledovania obsahu prílišným svetlom ale zároveň aby testovacia miestnosť nebola príliš tmavá. Norma ITU-BT-R 2022 v tomto ohľade predpisuje určité podmienky pre uskutočňovanie testov v laboratórnych podmienkach:

- a) Osvetlenie miestnosti – nízke
- b) Chromaticita pozadia – D65
- c) Maximum jasu 70-250 cd/m² (V najlepšom prípade by mal byť využitý ovládač intenzity podsvietenia.)
- d) Horizontálny pozorovací uhol by mal byť u tohto rozlíšenia 31°.
- e) Pomer kontrastu monitora ≤ 0.02 (Kontrast môže byť veľmi ovplyvňovaný luminanciou okolitého prostredia.)
- f) Pomer jasu podsvietenia monitora k maximu luminancie snímku ≈ 0.15

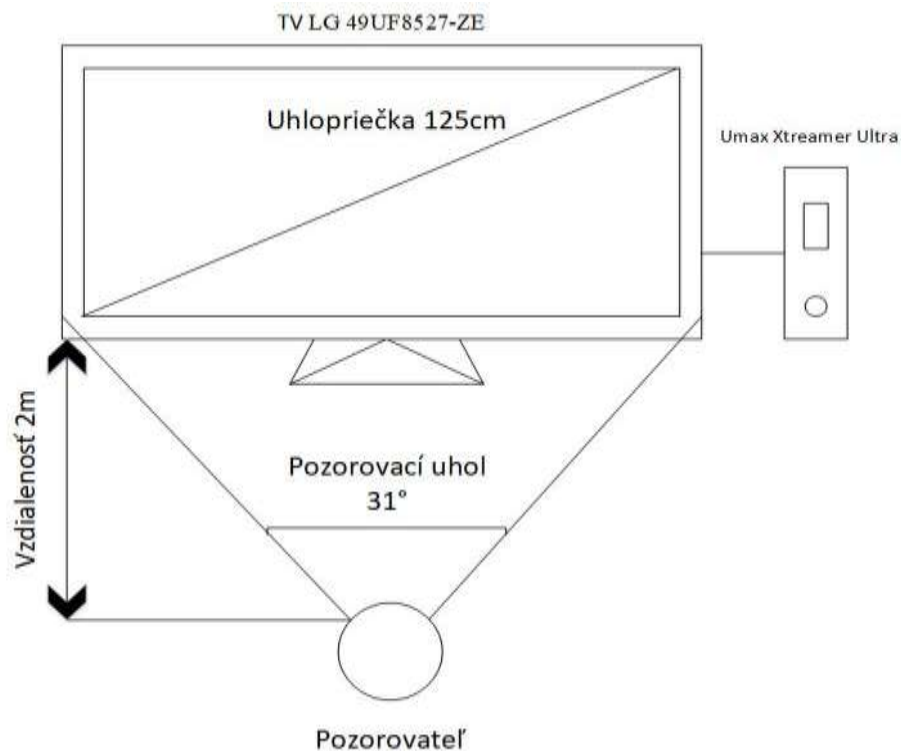
Respondentom bol predložený formulár s dvomi otázkami. Prvá z nich v znení: Aký veľký bol pre Vás "3D zážitok"?(ako veľmi ste sa cítili vtiahnutý(á) do scény?) -ktorá bola doplnená upresňujúcimi informáciami o tom že pod touto otázkou si majú respondenti predstaviť celkový dojem zo scény. Podľa normy sa hodnotilo 5-škálovou stupnicou od 1 do 5 pričom stupnica je v poradí od najhoršieho(č.1) až po najlepšie hodnotené(č.5). Stupne budú nasledujúce: Zlý , Slabý, Primeraný , Dobrý a Vynikajúci. Druhou otázkou bude: Ako veľmi Vám bola scéne príjemná? -ktorá bola doplnená inštrukciami že sa jedná o celkovú komfortnosť pri sledovaní tejto scény, či respondentov zo sledovania nebolí hlava/oči, či nie sú pre nich sekvencie a ich sledovanie nejakým spôsobom rušivé. Tu je tiež zvolená podľa normy 5-škálová stupnica so stupňami: Extrémne nepohodlné, Nepohodlné, Mierne nepohodlné, Pohodlné, Veľmi pohodlné.

Testovacia sekvencia je v dĺžke 3:21 minúty pričom sa skladala zo všetkých použitých sekvencií (18) spomenutých v podkapitole 3.2. Úvodný šedý snímok trvá 3 sekundy, samotné sekvencie trvajú 8-9 sekúnd, následné šedé scény po skončení jednotlivých častí v trvaní 10 sekúnd ktoré sú vyhradené na hodnotenie(viz obr. 5.1). Testovacia sekvencia bola spustená 2-krát, vždy s rozdielnym playlistom. [1], [13]



Obrázok 5.1 Časový rozvrh prvého kola testovania

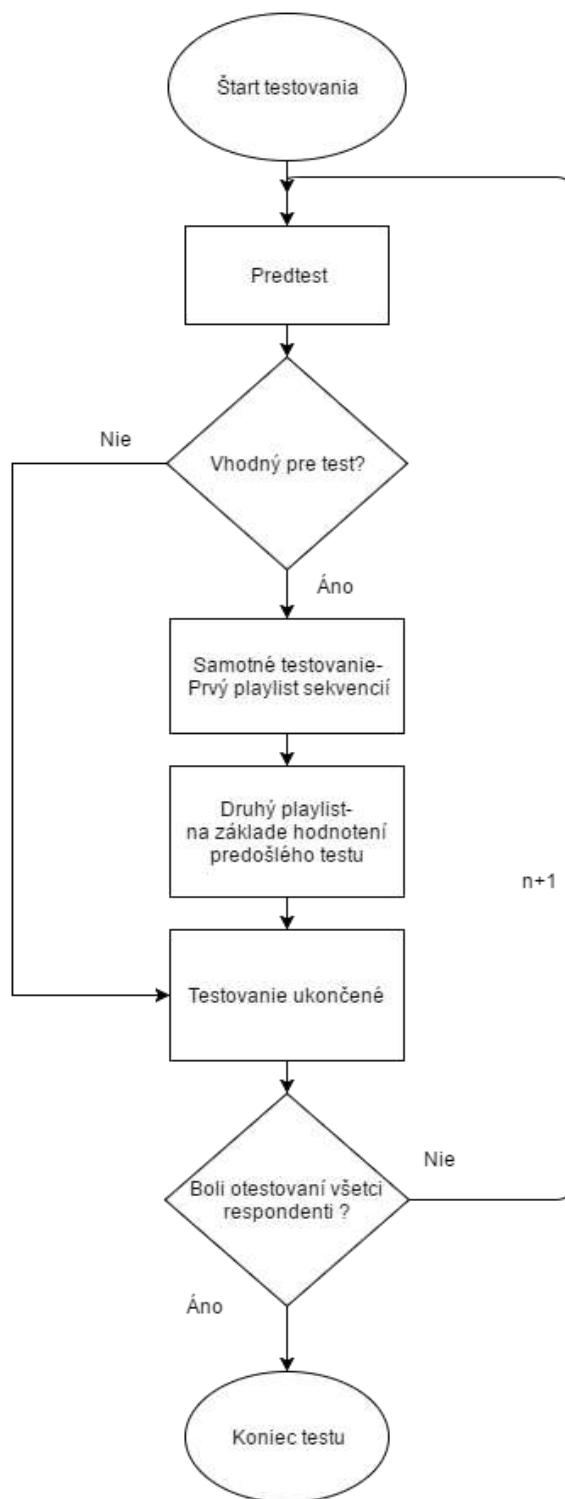
Po ohodnotení testovacej sekvencie nasledovalo opakovanie, druhá testovacia sekvencia so zmeneným playlistom. V tejto časti sa respondenti zamerali na zaradenie sekvencií do radu, podľa hodnotenia ktoré spravili v prvom kole si prezreli sekvencie ešte raz a vytvorili rad od najlepšej po najhoršiu sekvenciu v rámci hodnoty známky 4 ktorá sa ukázala neskôr ako najfrekventovanejšia a ktoré udelili sekvenciám v predošlom kole. Na nasledujúcich obrázkoch je zobrazené zapojenie testovacieho pracoviska (viz obr. 5.2).



Obrázok 5.2 Zapojenie testovacieho pracoviska

Testovanie prebehlo na televízore značky LG 49UF8527-ZE s uhlopriečkou 125cm. Vzďialenosť TV od pozorovateľa bola podľa normy ITU-R BT.2021 určená pri rozmere 125cm na približne 2m. Zároveň bolo použité multimediálne centrum Umax Xtreamer

Ultra s SSD harddiskom. Výška hlavy pozorovateľa bola nastavená približne na stred výšky obrazovky TV a horizontálny pozorovací uhol dosahoval približne 30 stupňov. Na obrázku je jednoduchý diagram priebehu testu(viz obr. 5.3).



Obrázok 5.3 Diagram priebehu testu

6 VÝSLEDKY TESTOVANIA

6.1 Spracovanie hodnotenia respondentov

Respondenti zaznamenávali svoje hodnotenie na predpripravené papierové formuláre ako už bolo uvedené v kapitole č.5 Popis testovania. Tieto údaje boli neskôr spracované do digitálnej podoby. V tabuľke 6.1 sú uvedené výsledky hodnotenia ohľadom 3D zážitku(Aký veľký bol pre Vás "3D zážitok"?) u jednotlivých sekvencií. V tabuľke 6.2 zase výsledky týkajúce sa komfortu(Ako veľmi Vám bola scéna príjemná?).

3D efekt																		
Resp./sek.č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Resp. č.1	4	3	2	4	4	2	2	3	4	4	3	4	2	5	3	4	3	4
Resp. č.2	3	4	1	4	4	2	2	2	3	4	2	3	2	4	1	4	3	4
Resp. č.3	3	3	2	4	4	3	3	4	5	4	3	5	4	3	5	5	4	5
Resp. č.4	4	4	3	3	5	2	2	3	4	5	3	4	4	5	4	4	5	4
Resp. č.5	3	4	2	4	5	3	3	4	5	4	3	3	3	4	4	4	3	5
Resp. č.6	4	2	2	5	5	3	2	4	4	4	4	4	3	4	3	5	4	4
Resp. č.7	3	3	1	4	5	3	2	3	5	4	2	5	1	4	4	3	4	5
Resp. č.8	3	4	1	3	4	3	2	2	4	5	2	5	1	3	4	4	3	4
Resp. č.9	3	3	1	4	5	3	2	4	4	3	1	4	3	3	4	3	4	4
Resp. č.10	4	5	1	4	4	3	3	4	4	3	3	4	3	4	4	3	3	4
Resp. č.11	3	4	1	4	4	3	2	5	5	3	2	5	3	5	4	4	3	4
Resp. č.12	3	2	1	3	4	2	3	5	5	4	2	5	3	4	4	5	5	5
Resp. č.13	3	2	1	4	4	3	3	5	5	4	3	5	3	4	4	5	4	5
Resp. č.14	4	3	2	4	4	3	3	4	3	4	3	4	3	5	4	3	4	4
Resp.t č.15	4	3	1	3	4	1	3	3	4	5	2	5	1	4	5	4	4	4
MOS	3,4	3,3	1,5	3,8	4,3	2,6	2,5	3,7	4,3	4,0	2,5	4,3	2,6	4,1	3,8	4,0	3,7	4,3
Štand. odch.	0,5	0,8	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,9	0,7	0,6	0,7	0,7	0,9	0,7	0,9	0,7	0,7	0,5
Int. spoľah.	0,2	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,5	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2

Tabuľka 6.1 Výsledky hodnotenia 1. otázky-3D efekt

V oboch prípadoch sa hodnotilo na 5-škálovej stupnici od 1 do 5 ako je uvedené v predošlej kapitole 5 Popis testovania. U oboch otázok číslo 1 znamená najhoršiu variantu(u otázky č.1:zlý 3D zážitok/otázka č.2:extrémne nepríjemné na sledovanie) a číslo 5 najlepšiu známku(u otázky č.1:vynikajúci 3D zážitok/otázka č.2:veľmi príjemné na sledovanie).

Komfort																		
Resp./sekv.č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Resp. č.1	2	4	5	4	3	4	4	4	3	2	4	4	3	5	3	3	3	4
Resp. č.2	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	1	5	5	5	5	5	5
Resp. č.3	5	4	4	3	4	3	4	4	3	5	2	3	4	5	5	5	4	4
Resp. č.4	4	5	4	3	4	3	4	4	4	5	3	2	4	5	5	4	5	3
Resp. č.5	5	3	5	3	3	5	5	5	5	3	5	1	5	4	5	4	4	5
Resp. č.6	3	4	5	2	3	4	5	5	3	1	5	3	5	3	4	3	4	2
Resp. č.7	4	4	5	4	5	2	2	3	5	4	3	1	1	2	4	3	3	5
Resp. č.8	2	3	5	2	4	5	5	4	5	1	3	4	4	3	4	4	3	4
Resp. č.9	4	4	4	3	3	3	5	5	5	3	1	2	3	3	2	2	4	4
Resp. č.10	4	5	5	3	1	4	4	4	2	2	2	2	4	3	4	2	3	4
Resp. č.11	4	5	5	4	2	4	4	5	2	1	2	1	4	4	4	3	3	5
Resp. č.12	3	3	5	3	3	4	4	5	5	2	3	2	3	3	2	3	5	5
Resp. č.13	2	4	5	2	1	3	5	5	4	1	4	5	3	4	4	1	4	5
Resp. č.14	3	2	5	3	2	4	3	4	4	4	1	3	4	3	4	4	5	4
Resp. č.15	4	4	5	4	3	1	5	3	3	2	3	4	4	4	5	5	4	4
MOS	3,6	3,9	4,8	3,2	3,0	3,6	4,3	4,3	3,9	2,7	3,1	2,5	3,7	3,7	4,0	3,4	3,9	4,2
Štand. odch.	1,0	0,9	0,4	0,8	1,1	1,1	0,9	0,7	1,1	1,4	1,3	1,3	1,0	0,9	1,0	1,1	0,8	0,8
Int. spoľah.	0,5	0,4	0,2	0,4	0,6	0,5	0,4	0,4	0,6	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4

Tabulka 6.2 Výsledky hodnotenia 2. otázky-komfort scény

Z hodnotenia respondentov bolo podľa vzorca (4.1) vypočítané priemerné hodnotenie pozorovateľa alebo anglicky tzv. Mean opinion score (ďalej len MOS). Ďalej bola podľa vzorca (4.4) vypočítaná štandardná odchýlka S_{jkr} ktorá je nutná pre určenie dôverného intervalu. Ako posledné sme vypočítali interval spoľahlivosti, presnejšie δ_{jkr} . Interval spoľahlivosti potom získame pričítaním/odčítaním δ_{jkr} k/od MOS/ u_{jkr} .

Testovanie malo zároveň aj svoju druhú časť kedy boli respondentom znovu pustené sekvencie ktoré ohodnotili z 5-škálovej stupnice známku 4. Táto známka bola zvolená po predbežných výsledkoch kde sa ukázalo že číslo 4 je najfrekvencovanejšie hodnotenie u viacerých sekvencií. Respondenti dostali papieriky s číslami sekvencií tak ako boli za sebou pustené a mali za úlohu zoradiť sekvencie do radu od najhoršie hodnotenej po najlepšie hodnotenú podľa toho ako sa im daná scéna celkovo páčila (bez rozlišovania 3D efektu/komfortu, jednoduchá atraktívnosť scény a celkový pocit z nej). Zoradenie je uvedené v tabuľke 6.3. Zľava doprava sú sekvencie zoradené od najhoršej po najlepšiu. V tabuľke je uvedený počet hodnotení 4-kou a zároveň vypočítané priemerné skóre v % v rámci zoradovania. Z tabuľky si môžeme všimnúť napr. že sekvencie č.15, 16, 5 či 12 sa u respondentov ktorí im udelili známku 4 dostali aj k lepším hodnoteným. Týka sa to hlavne sek. č.5, 16 a 15 ktoré boli prakticky u každého respondenta hodnotené najlepšie. Tieto sekvencie majú zároveň aj vysoké hodnotenie MOS (3,8-4,33). Ďalej tu máme skupinu pozostávajúcu z č.4, 8, 9 a 17. Tieto čísla podľa počtu známok veľmi často dostali hodnotenie 4, majú jemne nadpriemerné až vyššie skóre MOS (3,67-4,27) avšak často sa ocitli v strede radu alebo občasne na krajoch). Zaujímavá je skupina so sekvenciami č.10, 14 a 18 ktoré napriek svojmu vysokému MOS (4,0-4,33) dosiahli len slabšie výsledky, respondenti ich často radili k najhorším hodnoteným, občas priemerne

hodnoteným, ich percentuálny priemer pohybuje okolo 27-39,5%. Sekvencie č.1 a 2 vzhľadom na priemerný MOS (3,27-3,40) vcelku očakávané výsledky okolo 20% kedy ich pozorovatelia v drvivej väčšine umiestňovali k najhoršie hodnoteným. Zaujímavosťou je však sekvencia č.13 ktorej MOS je veľmi malý (iba 2,67) no aj napriek tomu dostala od dvoch respondentov známku č.4(vyššiu známku nedostala) a aj obaja títo respondenti ju zaradili pred sekvencie s oveľa lepším MOS.

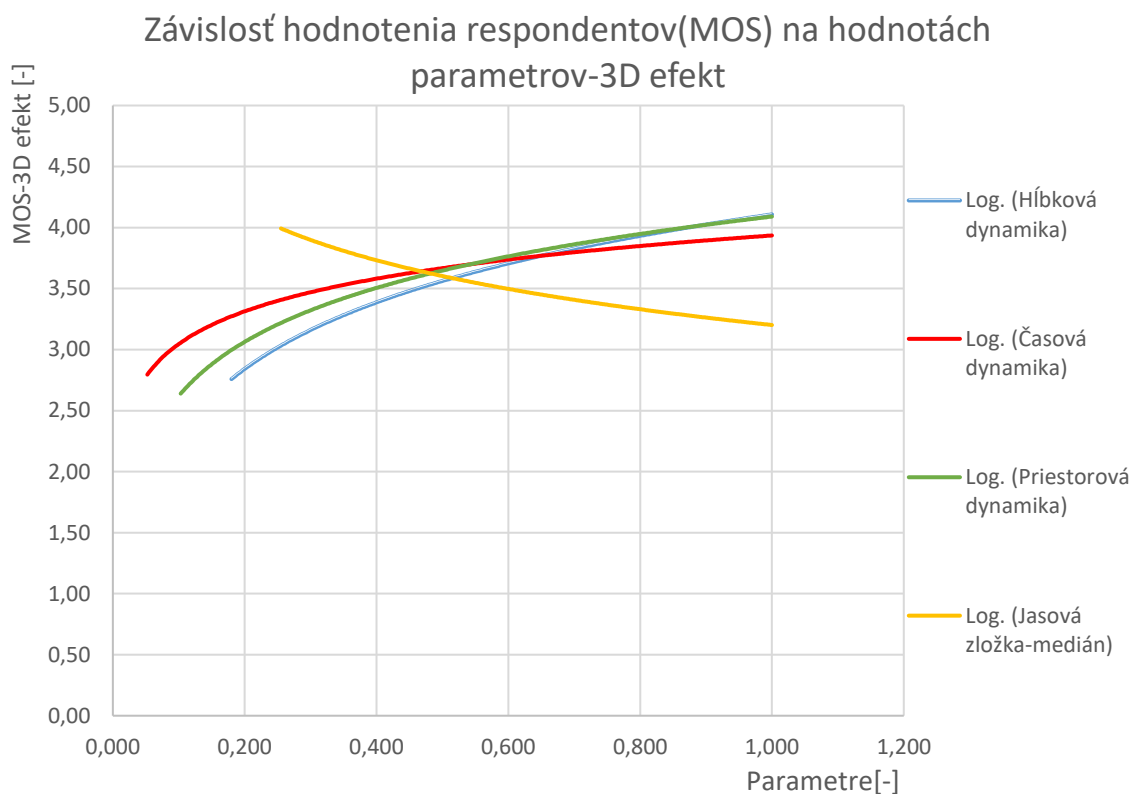
Hodnotené č.4															
Najhoršie hodnotené	←													→	Najlepšie hodnotené
Respondent č.1	18	2	14	4	10	5	16								
Respondent č.2	10	1	18	14	9	12	4	5	16						
Respondent č.3	10	17	8	4	13	5									
Respondent č.4	2	18	1	9	13	12	15	16							
Respondent č.5	10	2	14	8	4	16	15								
Respondent č.6	18	1	10	14	17	8	12								
Respondent č.7	10	17	14	4	15										
Respondent č.8	2	18	9	5	15	16									
Respondent č.9	18	17	4	9	12	8	15								
Respondent č.10	14	1	9	18	4	8	15	12	5						
Respondent č.11	2	18	4	16	15	5									
Respondent č.12	10	14	15	5											
Respondent č.13	14	10	4	17	5	15									
Respondent č.14	1	18	10	4	17	8	12	5	16						
Respondent č.15	1	14	18	9	17	16	5								
Číslo sekvencie	1	2	4	5	8	9	10	12	13	14	15	16	17	18	
Počet hodnotení	6	5	10	10	6	6	9	6	2	9	9	8	7	10	
Priemerné hodnotenie(%)	22,6	20,6	59,4	91,6	68,6	50,5	29,8	80	72,9	39,5	89,7	92,3	51,7	27,3	

Tabuľka 6.3 Výsledky hodnotenia-zoradenie sekvencií so známkou 4 do radu

Sekvencie 3, 6, 7, a 11 v tabuľke absentujú(počet hodnotení 0) z dôvodu že vôbec neboli ohodnotené známkou 4 a ich pomyselne hodnotenie je 0%. Táto časť nám potvrdzuje niektoré teoretické predpoklady a to že sekvencie s vyššími hodnotami MOS sa umiestnili aj vyššie v rade oproti sekvenciám ktoré mali hodnotu MOS nižšiu. Napriek tomu ako je to u subjektívnych testov zvykom sa našli aj prekvapenia, konkrétne sekvencia č.18, 14 a 10 ktoré sa aj napriek vysokej hodnote MOS pravidelne u väčšiny respondentov umiestňovali medzi najhoršie hodnotenými(v rade na ľavej strane).

6.2 Vyhodnotenie vplyvu parametrov v rámci jednotlivých sekvencií

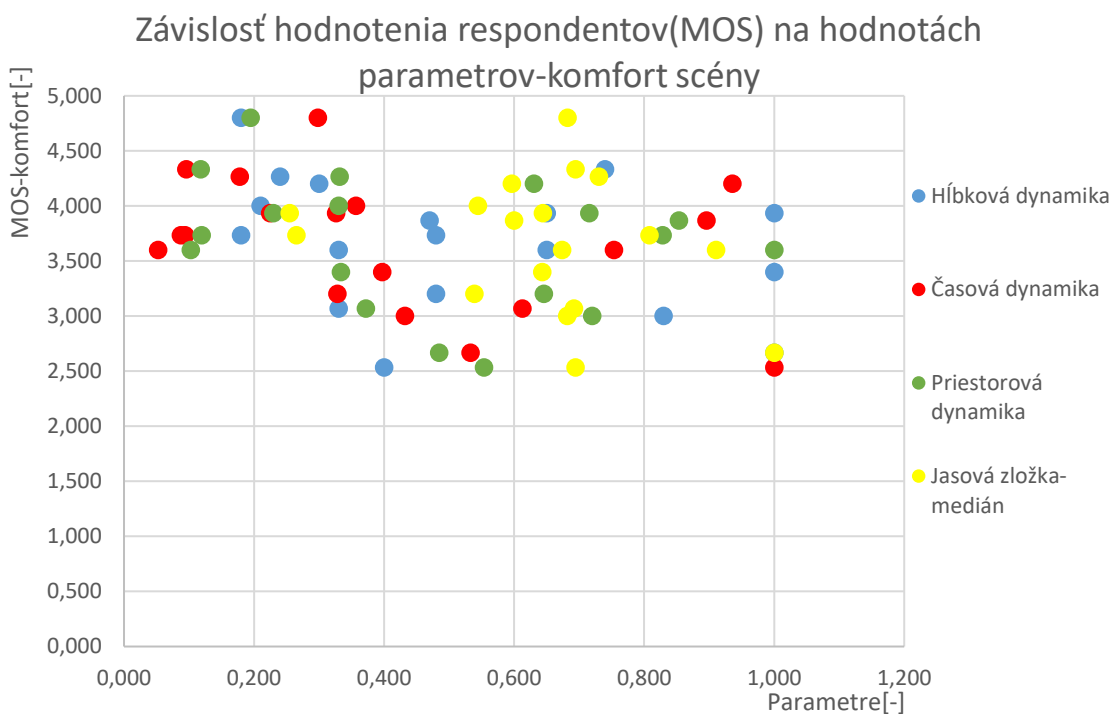
V danej časti sa práca bude zaoberať hlavnou časťou a teda vyšetrením vplyvu časovej, priestorovej a hĺbkovej dynamiky a jasovej zložky na kvalitu obrazu a videa



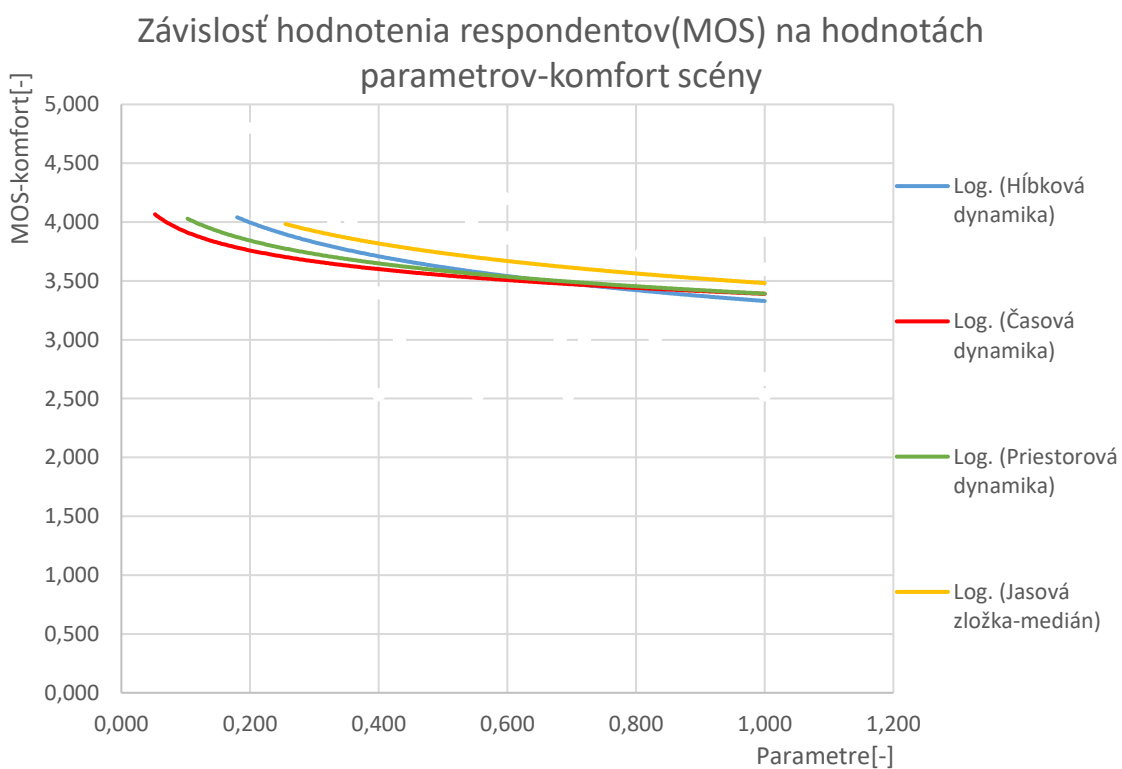
Graf 6.2 Závislosť MOS na hodnotách parametrov-3D zážitok

6.2.2 Komfort scény

Pri komforte scény u jednotlivých sekvencií závislosť MOS na objektívnych parametroch nie je taká jednoznačná ako pri 3D efekte v predošlých charakteristikách (viz graf 6.3), napriek tomu po preložení bodov dostávame charakteristiky (viz graf 6.4) ktoré majú u všetkých parametrov podobný klesajúci trend a teda MOS klesá s rastúcimi hodnotami jednotlivých parametrov. Najväčšiu strmlosť pozorujeme opäť pri hĺbkovej dynamike, najmenšia strmlosť je pravdepodobne u časovej dynamiky. Za zmienku stojí aj fakt že u 3D efektu sa našla sekvencia nachádzajúca sa aj pod úrovňou hodnoty MOS 2,0 (slabý až zlý 3D zážitok), pri druhej časti zaoberajúcej sa komfortom nám MOS nekleslo pod 2,5 (neprijemné až extrémne neprijemné), teda žiadna sekvencia v celkovom hodnotení nebola respondentom vyložene neprijemná.



Graf 6.3 Závislosť MOS na hodnotách parametrov-komfort



Graf 6.4 Závislosť MOS na hodnotách parametrov-komfort

6.3 Vyhodnotenie vplyvu parametrov v rámci skupín

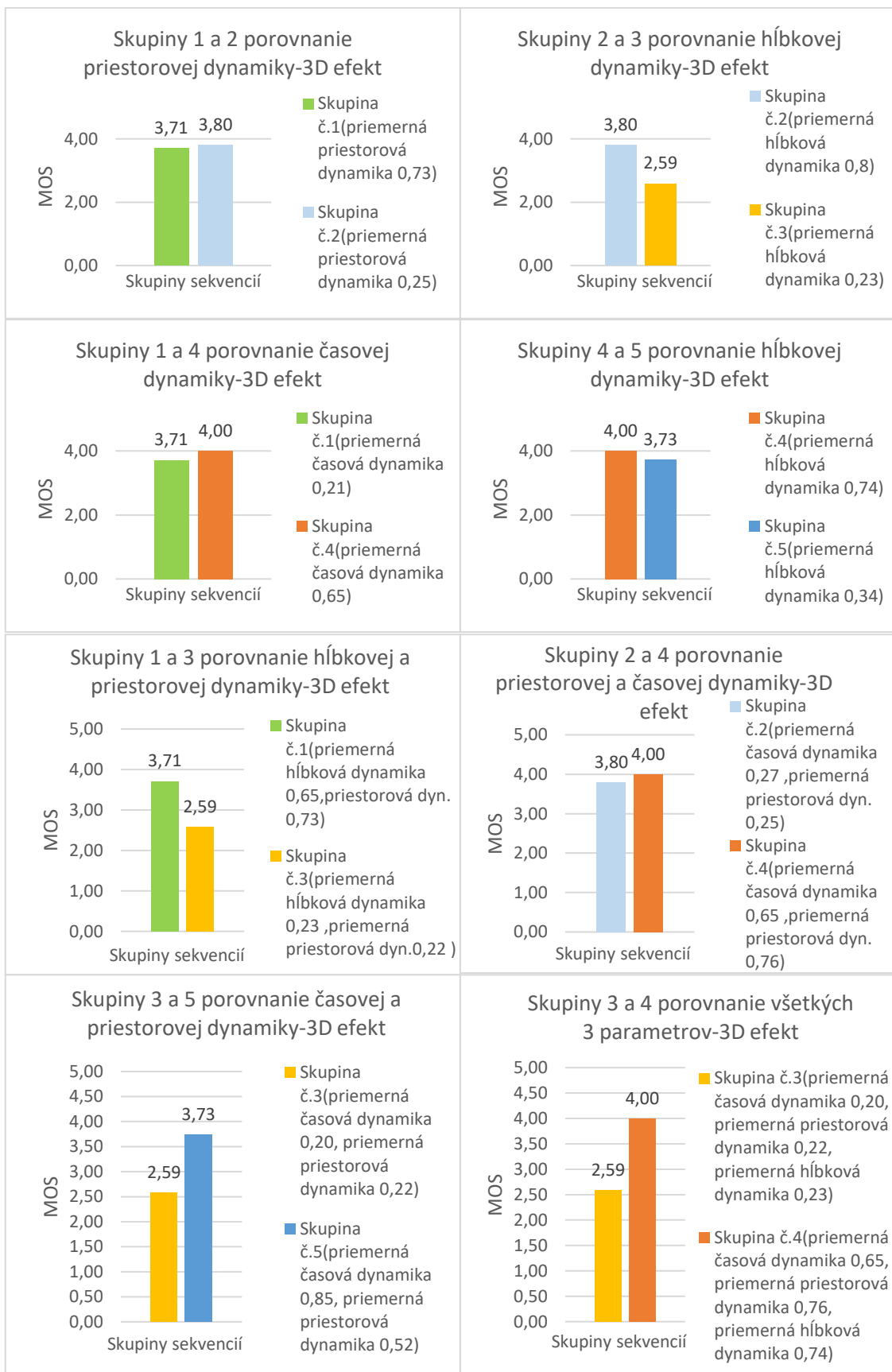
V kapitole 6.2 bol rozoberaný vplyv parametrov na MOS u jednotlivých sekvencií, táto časť sa zameriava na riešenie tejto problematiky v rámci skupín sekvencií a ich priemerného MOS. Na nasledujúcich dvoch stranách sú uvedené porovnania jednotlivých parametrov alebo skupiny parametrov s určitými nízkymi/vysokými hodnotami. Na základe týchto rozdielnych hodnôt sa určuje ich vplyv na celkové MOS skupiny sekvencií s podobnými hodnotami. Princípom je porovnávanie dvoch skupín medzi sebou ktoré majú buď jeden alebo oba parametre odlišné a zároveň pri jednom odlišnom parametri sú tie dva zvyšné podobné. Rovnaký princíp je uplatnený aj v skupinách s dvoma odlišnými parametrami kde je tretí parameter podobnej hodnoty u oboch skupín. Toto pravidlo neplatí iba u porovnania troch odlišných parametrov. Opäť sú uvedené grafy pre obe časti testovania, teda pre 3D efekt/zážitok a komfort scény.

6.3.1 3D efekt

Skupiny boli vytvorené medzi sebou pre porovnanie pričom majú rozličné hodnoty parametrov (vid. graf 6.5). Pri porovnaní samotnej priestorovej dynamiky sa dá vidieť že MOS sa s rozličnou hodnotou tohto parametru moc nemení. Väčší rozdiel je už u časovej a hĺbkovej dynamiky (porovnanie skupín 1-4 a 4-5), napriek tomu tento rozdiel je stále malý. Avšak pri porovnaní skupín 2-3 vidíme prepád MOS v skupine ktorá má menšiu priemernú hĺbkovú dynamiku. Podobný pokles MOS je zrejмый aj pri porovnaní skupín 1-3 kde má časová dynamika nízke hodnoty a skupiny majú medzi sebou rozdiel v priestorovej a hĺbkovej dynamike, pričom možno opäť vidieť nižšiu hodnotu MOS u skupiny s nižšími hodnotami spomenutých parametrov ako u tej s vyššími hodnotami. Pri obdobných hodnotách hĺbkovej dynamiky v porovnaní skupín 2-4 dosiahli obe skupiny aj napriek rozdielnym hodnotám zvyšných dvoch parametrov podobné a vysoké MOS čo prisudzujem vysokej úrovni hĺbky. Vplyv vysokej úrovne hĺbkovej dynamiky možno vidieť aj v porovnaní skupín 3-4 kde majú skupiny odlišné všetky parametre a skupina s vysokými hodnotami parametrov ma oveľa vyššie hodnotenie ako skupina s malými hodnotami. Podobné výsledky dosahuje taktiež porovnanie skupín 3-5 ktoré pozostávajú zo sekvencií s nízkou hĺbkovou dynamikou, skupina s vysokou priestorovou a časovou dynamikou dosahuje značne lepšieho výsledku oproti skupine s nízkymi hodnotami spomenutých parametrov. Najväčší vplyv má podľa výsledkov hodnotenia na MOS 3D efektu pravdepodobne hĺbková dynamika a kombinácia všetkých parametrov.

6.3.2 Komfort scény

V tejto časti sú rozdiely MOS vzhľadom na jednotlivé parametre minimálne (vid. graf 6.6), pričom skupiny s nižšími hodnotami parametrov majú čiastočne vyššie skóre ako skupiny s vyššími hodnotami. Jednoznačnejšia situácia nastáva pri porovnaní skupín 2-4 a 3-5 kde s vysokými hodnotami časovej a priestorovej dynamiky pri podobnej hĺbkovej dynamike je nižšie MOS, naopak u skupiny s nižšími hodnotami je MOS značne vyššie. Podobná situácia je aj pri porovnaní skupín 3-4 kde skupina s nižšími parametrami (všetky 3) ma značne vyššie MOS. Môžeme teda dedukovať že MOS komfortu je nepriamo úmerné a aj najviac závislé na rastúcich hodnotách kombinácie časovej a priestorovej dynamiky, v menšej miere hĺbkovej dynamiky.



Graf 6.5 Porovnanie vplyvu parametrov na MOS v rámci skupín-3D efekt



Graf 6.6 Porovnanie vplyvu parametrov na MOS v rámci skupín-komfort

6.4 Vytvorenie absolútneho parametra

Cieľom práce je posúdiť vplyv testovaných aspektov. Z tohto dôvodu sa hľadá parameter ktorý najviac ovplyvňuje kvalitu obrazu a vnemu v 3D TV. Bol navrhnutý nový parameter „J“ ktorý v sebe zahŕňa všetky parametre u ktorých bola v tejto práci zisťovaná závislosť výsledkov hodnotenia respondentov na hodnotách týchto parametrov. Spomínaný parameter bol vytvorený lineárnou kombináciou pôvodných parametrov, jediná zmena bola u mediánu jasou kde sa táto zložka pričítala ako prevrátená hodnota z dôvodu že v podkapitole 6.2.1, resp. u 3D efektu sa zistila úplne opačná charakteristika závislosti MOS na jasovej zložke ako u ostatných parametrov. Jednotlivé parametre sa pred lineárnym kombinovaním so zvyšnými násobili určitým číslom aby sme dosiahli úroveň kde nám daný parameter najviac ovplyvní 3D zážitok z sekvencie. Po postupnej zmene váhovania parametrov a priebežných výsledkoch sa dospelo k pomeru kde sú všetky parametre váhované 1,0, teda všetky parametre sa násobia 1,0 a len hĺbková dynamika sa násobí v tomto prípade zvolenou konštantou 10,0 (viz. vzorec 6.1):

$$J = \frac{(SI * 1 + PI * 1 + DPR * 10)}{MB * 1} \quad [-] \quad (6.1)$$

Kde:

SI – Priestorová dynamika (Spatial information)

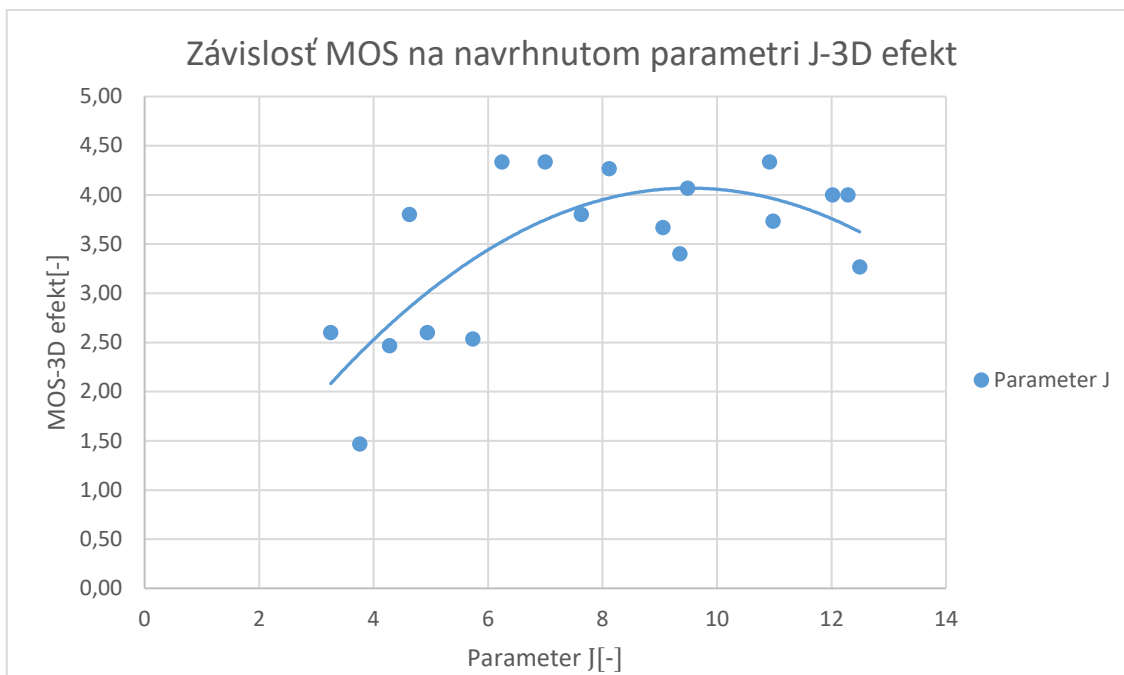
PI – Časová dynamika (Perceptual information)

DPR – Hĺbková dynamika (Depth map range)

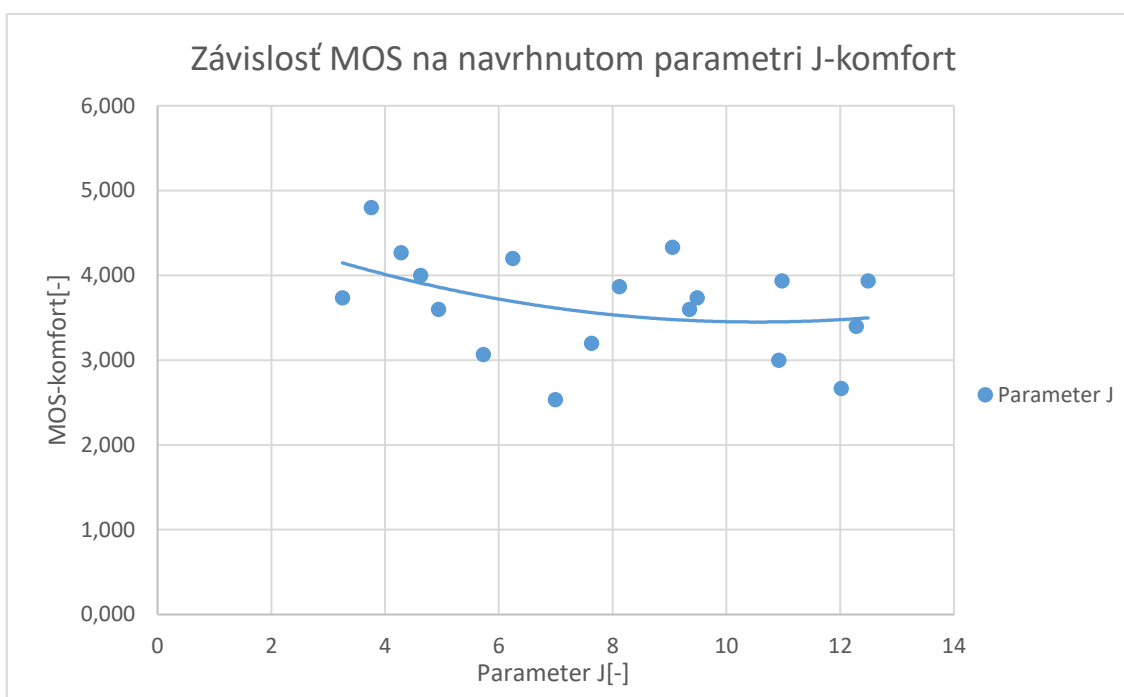
MB – Medián Jasovej zložky (Median brightness)

Dôvody pre najväčší vplyv hĺbky na sledovanie stereoskopických videí sa uvádzali už v kapitole 6.2 a 6.3 kde zjavne vidno najväčší vplyv hĺbkovej dynamiky na MOS, napr. zo strmosti charakteristík kde u oboch skúmaných aspektov(3D efekt, komfort scény) bola najstrmšia práve spomínaná charakteristika hĺbkovej dynamiky. Takisto u porovnávaní medzi skupinami sa ukázal vplyv hĺbkovej dynamiky na MOS predovšetkým u 3D efektu. Na nasledujúcich grafoch 6.7 a 6.8 je uvedený vplyv vytvoreného parametru J na MOS u 3D efektu a komfortu scény.

Ako možno vyčítať z grafu 3D efektu, nad určitou hranicou parametru J(hodnota parametru 6) sa už MOS takmer s istotou zvýši nad 3,0 a v takom prípade hovoríme o minimálne primeranom 3D efekte pre diváka, na druhú stranu ak prekročíme hranicu hodnoty parametru J=12,0 môžeme pozorovať určitú tendenciu že so zvyšujúcou sa hodnotou parametru J klesá MOS jednotlivých sekvencií.



Graf 6.7 Závislosť MOS na parametri J-3D efekt



Graf 6.8 Závislosť MOS na parametri J-komfort scény

U komfortu scény nie je možné pozorovať takú jednoznačnú závislosť ako v prípade 3D efektu avšak možno určiť klesajúcu tendenciu MOS v závislosti na zväčšujúcej sa hodnote parametra J. Táto tendencia prevažuje do hodnoty parametra $J = 9$ pričom od tejto hodnoty sa závislosť vyrovnáva a nadobúda lineárny charakter, teda nad určitou hodnotou parametra J je MOS na tomto parametri nezávislé.

7 ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo naštudovať aspekty ktoré ovplyvňujú kvalitu obrazu a vnemu v 3D TV. Navrhnuť scenár subjektívnych testov pre testovanie vplyvu obsahu videosekvencií, vytvoriť databázu testovacích sekvencií a vypočítať ich parametre. V experimentálnej časti previesť vlastné subjektívne testy priestorového vnemu 3D obrazu a videa. Zároveň previesť analýzu a štatistické vyhodnotenie dosiahnutých výsledkov, porovnať výsledky subjektívnych testov s výsledkami objektívnych metrik a posúdiť celkový vplyv testovaných aspektov.

V práci sú popísané parametre sekvencie ktoré boli hlavným predmetom skúmania (hlbková, priestorová, časová dynamika). Zároveň bol skúmaný aj vplyv jasovej zložky. Skúmanie vplyvu objektívnych parametrov sekvencie bolo vybrané z dôvodu veľkého množstva subjektívnych testov zameraných na testovanie 3D zobrazovacích technológií či skúmania vplyvov rôznych veľkostí uhlopriečok na hodnotenie respondenta, pričom danou témou sa zaoberalo len malé množstvo vedeckých štúdií. Z dostupných testovacích sekvencií boli vypočítané dané parametre scény a následné sekvencie rozdelené do jednotlivých skupín spojených podobnými či rozdielnymi hodnotami týchto parametrov. Taktiež bol navrhnutý predtest respondentov ktorí zabezpečuje určenie zrkových predispozícií a eliminácie nevhodných respondentov. Ďalej bol podľa normy ITU –R BT.2021 a s pomocou normy ITU –R BT.2022 bol navrhnutý scenár pre subjektívne testy vplyvu obsahu scény na priestorový efekt v 3D. Test bol navrhnutý podľa metódy Single stimulus (SS) a Single comparison (SC), pričom je v ňom obsiahnutých 18 sekvencií s celkovým časom trvania 3:21 minúty a zároveň vybrané sekvencie s hodnotením známku 4 sa opakovane hodnotili v druhom kole testu pre spresnenie výsledkov a získanie ďalších potenciálne užitočných výsledkov.

Výsledky testu naznačujú značný vplyv všetkých parametrov (hlbkovej, časovej, priestorovej dynamiky a aj jasovej zložky) na celkové priemerné hodnotenie respondentov-MOS (Mean opinion score) pri otázke týkajúcej sa 3D efektu aj komfortu scény. Zatiaľ čo u prvých troch spomenutých parametrov u 3D efektu pozorujeme že so zvyšujúcimi hodnotami týchto parametrov sa zvyšuje aj hodnotenie MOS, teda zvyšuje sa 3D efekt, naproti tomu u jasovej zložky výsledky naznačujú opačnú závislosť, teda so zvyšujúcou hodnotou mediánu jasu klesá veľkosť 3D efektu. U komfortu scény závislosti všetkých štyroch parametrov majú prakticky rovnaký charakter, s ich zvyšujúcimi hodnotami klesá komfort sledovania scény. Charakteristika závislosti MOS na hlbkovej dynamike u 3D efektu je najstrmšia, teda MOS 3D efektu sa mení najviac práve s hlbkovou dynamikou. Rovnaký prípad nastáva aj u komfortu scény kde je charakteristika závislosti hlbkovej dynamiky opäť najstrmšia. Celkovo najväčší vplyv na MOS má zo všetkých štyroch parametrov práve hlbková dynamika. Naopak najmenej strmou charakteristikou je v prípade komfortu scény podľa výsledkov časová dynamika, možno teda predpokladať že meniaci časová dynamika ovplyvňuje komfort pri sledovaní scény menej ako ostatné parametre. U 3D efektu ma najmenej strmú charakteristiku jasová zložka. Jas teda ovplyvňuje 3D efekt najmenej spomedzi všetkých parametrov. V rámci porovnania skupín (porovnávané len 3 parametre-priestorová, časová a hlbková dynamika) výsledky naznačujú podobný trend, so zväčšujúcimi sa hodnotami spomenutých parametrov u 3D efektu rastie MOS, u komfortu scény MOS naopak klesá. Najväčší vplyv meniacich sa hodnôt parametrov na MOS sa ukázal v prípade 3D efektu aj komfortu scény v kombinácií s vysokými/nízkymi hodnotami všetkých troch

parametrov. MOS 3D efektu rástlo s vysokými hodnotami všetkých troch parametrov, najviac však s hĺbkovou dynamikou, naopak MOS komfortu scény rástlo s nízkymi hodnotami týchto parametrov. Najväčší vplyv na 3D efekt a komfort sledovania scény by som teda prisúdil spomedzi všetkých parametrov práve hĺbkovej dynamike. Tento vplyv zároveň potvrdilo aj vytvorenie tzv. „absolútneho parametru J“ kde možno pozorovať z dôvodu váhovania hodnoty hĺbkovej dynamiky vyšším číslom oproti ostatným parametrom najväčší vplyv na MOS jednotlivých sekvencií.

Do druhého kola testovania sa dostali sekvencie ktoré mali minimálne 1-krát hodnotenie číslom 4. Toto číslo bolo vybrané pre najväčšiu frekvenciu tejto známky. Toto mohlo byť zapríčinené pochybnosťou respondentov pre udelenie hodnotenia 5 aj u sekvencií ktoré by touto známkou ohodnotili z dôvodu očakávania sekvencie ktorá by u nich vyvolala ešte lepšie preferencie ako súčasná sekvencia. Podľa môjho názoru by sa tento jav mohol eliminovať opakovaním testovania, teda pustením sekvencií 2-krát, pričom respondent by mal už určitú predstavu o všetkých prehrávaných sekvenciách a mohol lepšie prispôsobiť svoje hodnotenie, teda aj udelenie najvyššej známky sekvencií ktorá by podľa jeho subjektívneho pocitu mala vynikajúci 3D efekt. Druhé kolo testovania poukázalo na zaujímavosť že aj sekvencie s vysokým hodnotením z dôvodu subjektívneho testovania môžu byť pri porovnaní so sekvenciami so značne nižším MOS hodnotené v druhom kole horšie. Zároveň bol získaný poznatok že niektoré sekvencie môžu byť z dôvodu podobného subjektívneho zážitku u všetkých respondentov opakovane zaradené lepšie pri porovnaní s inými sekvenciami s približne rovnakým MOS. Tento výsledok prisudzujem práve subjektívnemu testovaniu kde v druhom kole pri porovnávaní sekvencií medzi sebou mohli dané sekvencie jednoducho pôsobiť pre respondenta atraktívnejšie, z dôvodu že respondent už nehodnotil samostatne 3D efekt a komfort scény u daných sekvencií samostatne ale hodnotil sekvenciu ako celok a porovnával s ostatnými sekvenciami.

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] International Communication Union, „Subjective methods for the assessment of stereoscopic 3DTV systems,“ *Recommendation ITU-R BT.2021-1*, (02/2015).
- [2] SLÍŽ, M. *Hodnocení vlivu různých aspektů na kvalitu v 3DTV: Subjektivní testy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 77 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Libor Boleček.
- [3] „História 3D filmov,“ [Online]. Dostupné na: <http://www.3dgrafika.wbs.cz/Historie-3D-filmu.html>. [Cit. 15 11 2016].
- [4] „História stereoskopie,“ [Online]. Dostupné na: <https://en.wikipedia.org/wiki/Stereoscopy>. [Cit. 25 10 2016].
- [5] VLACHOVÁ, J. *Stereoskopické promítání*, Praha: Univerzita Karlova v Praze, Matematicko-fyzikální fakulta, 2012. 102 s. Vedoucí diplomové práce RNDr. Jana Hromadová, Ph.D., KDM
- [6] „Binokulárne a stereoskopické videnie,“ [Online]. Dostupné na: http://www.optida.sk/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=55. [Cit. 5 11 2016].
- [7] „Common Vision Defects,“ [Online]. Dostupné na: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/vision/eyedef.html>. [Cit. 5 10 2016].
- [8] „Refrakčné chyby,“ [Online]. Dostupné na: http://www.optida.sk/index.php?option=com_content&view=article&id=53&Itemid=58. [Cit. 28 10 2016]
- [9] „3D zobrazovanie,“ [Online]. Dostupné na: <http://cs.gali-3d.com/>. [Cit. 30 10 2016].
- [10] ŠINDELÁŘ, Martin. *Quality evaluation of stereoscopic images by subjective method*, Pilsen, 2013. Diploma thesis. University of West Bohemia. Lecturer Ing. Ivo Veřtát, Ph.D.
- [11] International Communication Union, „Methodology for the subjective assessment of the quality,“ *Recommendation ITU-R BT.500-13*, 01/2012.
- [12] „Randot Stereo test,“ [Online]. Dostupné na: <http://precision-vision.com/product/randot-stereo-test/>. [Cit. 18 11 2016].
- [13] International Communication Union, „General viewing conditions for subjective assessment of quality of SDTV and HDTV television pictures on flat panel displays,“ *Recommendation ITU-R BT.2022-1*, 08 (08/2012).
- [14] „Obrázok vo formáte JPG,“ [Online]. Dostupné na: <https://i.ytimg.com/vi/J4mCop8DosA/maxresdefault.jpg>. [Cit. 1 12 2016].
- [15] „Obrázok vo formáte JPG,“ [Online]. Dostupné na: <http://cs.gali-3d.com/stereoskopie-pasivni-3d/>. [Cit. 12 11 2016].
- [16] „Obrázok vo formáte JPG,“ [Online]. Dostupné na: <http://www.samsung.com/cz/article/everything-3d-guide-explore-the-wonder/>. [Cit. 4 12 2016].
- [17] „Obrázok vo formáte JPG,“ [Online]. Dostupné na: <https://www.bibonline.co.uk/wp-content/uploads/2012/02/Randot-stereotest-1024x640.jpg>. [Cit. 20 11 2016].

ZOZNAM SKRATIEK

Matlab – Matrix laboratory

SC – Single comparison

SS – Single stimulus

MOS – Mean opinion score

SSIM – Structural similarity index measurement

PRÍLOHA

A.1 Fotka testovacieho stanoviska



A.2 Formulár

Subjektívne testy 3D

1. Meno:

2. Vek

Prvá časť testu

Hodnotenie jednotlivých sekvencií príslušnou známkom na základe dosiahnutého subjektívneho 3D zážitku/komfortu scény počas sledovania sekvencie.

3. Aký veľký bol pre Vás "3D efekt"?(1-zlý 3D efekt,5-vynikajúci 3D efekt)

V každom riadku označte iba jednu elipsu.

	1	2	3	4	5
Sekvencia č.2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.6	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.7	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.8	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.9	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.10	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.11	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.12	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.13	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.14	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.15	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.16	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.17	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.18	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4. Ako veľmi Vám bola scéna príjemná?(1-extrémne nepríjemná,5-veľmi príjemná)

V každom riadku označte iba jednu elipsu.

	1	2	3	4	5
Sekvencia č.2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.6	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.7	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.8	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.9	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.10	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.11	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.12	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.13	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.14	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.15	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.16	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.17	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sekvencia č.18	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Druhá časť testu

V tejto časti zoradíte niektoré sekvencie ktoré sa budú opakovať z predošlej časti do radu od najhoršie hodnotenej po najlepšie hodnotenú do radu.

5. Zoradte sekvencie do radu od najhoršie hodnotenej po najlepšie hodnotenú
