

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS
INFORMATIKOS STUDIJŲ PROGRAMA

TOMAS BUMBULEVIČIUS

SRITIES IŠSKYRIMO VAIZDŲ SEKOJE METODŲ TYRIMAS
Magistro darbas

Darbo vadovas
doc. dr. A. Ostreika

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS
INFORMATIKOS STUDIJŲ PROGRAMA

TOMAS BUMBULEVIČIUS

SRITIES IŠSKYRIMO VAIZDŲ SEKOJE METODŲ TYRIMAS

Magistro darbas

Darbo vadovas
doc. dr. A. Ostreika

Recenzentas
doc. dr. T. Blažauskas

KAUNAS, 2015

AUTORIŲ GARANTINIS RAŠTAS

DĖL PATEIKIAMO KŪRINIO

2015 -gegužės-22 d.

Kaunas

Autorius, Tomas Bumbulevičius, patvirtina, kad Kauno technologijos universitetui pateiktas baigiamasis magistro darbas (toliau vadinama – Kūrinys) „Srities išskyrimo vaizdo medžiagoje metodų tyrimas“ pagal Lietuvos Respublikos autorių ir gretutinių teisių įstatymą yra originalus ir užtikrina, kad

- 1) jį sukūrė ir parašė Kūrinyje įvardyti autoriai;
- 2) Kūrinys nėra ir nebus įteiktas kitoms institucijoms (universitetams) (tiek lietuvių, tiek užsienio kalba);
- 3) Kūrinyje nėra teiginių, neatitinkančių tikrovės, ar medžiagos, kuri galėtų pažeisti kito fizinio ar juridinio asmens intelektinės nuosavybės teises, leidėjų bei finansuotojų reikalavimus ir sąlygas;
- 4) visi Kūrinyje naudojami šaltiniai yra cituojami (su nuoroda į pirminį šaltinį ir autorių);
- 5) visi Kūrinyje panaudota kitų autorių medžiaga nepažeidžia jų teisių bei yra aiškiai apibrėžiama;
- 6) neprieštaruoja dėl Kūrinio platinimo visomis oficialiomis sklaidos priemonėmis.
- 7) atlygins Kauno technologijos universitetui ir tretiesiems asmenims žalą ir nuostolius, atsiradusius dėl pažeidimų, susijusių su aukščiau išvardintų Autorių garantijų nesilaikymu;
- 8) Autoriai už šiame rašte pateiktos informacijos teisingumą atsako Lietuvos Respublikos įstatymų nustatyta tvarka.

Autorius

(vardas, pavardė)

(parašas)

SANTRAUKA

Multimedijos technologijų panaudojimas televizijoje ir kino industrijoje sparčiai auga kiekvienais metais. Srities išskyrimas vaizdo medžiagoje tapo įprasta procedūra skaitmeniniame vaizdų sekos apdorojime. Nors rinkoje yra realizuota įvairaus pobūdžio srities išskyrimo metodai, jų analizės ir tobulinimo poreikis išlieka. Šio magistrinio darbo tikslas – statistiniais parametrais įvertinti srities išskyrimą vaizdų sekose apsunkinančius veiksnius. Nustačius šias priežastis galima objektyviai nustatyti vaizdo medžiagos kokybę bei atsižvelgti į jų minimalizavimą vaizdų sekos kūrimo metu. Tiriamojo darbo pirmoje dalyje pristatomos matematinės spalvų erdvės bei atliekama srities išskyrimo metodų analizė. Šios dvi temos yra susiję tarpusavyje, kadangi spalvinės informacijos komponentai yra panaudojami srities išskyrimui vaizdo medžiagoje. Siekiant įgyvendinti išsiskirtą darbo tikslą, antrame skyriuje aprašytas srities išskyrimo metodų realizavimo procesas *RGB* ir *HSV* spalvų erdvėms. Pristatomi funkciniai ir nefunkciniai reikalavimai, panaudos diagramos ir metodų struktūra. Be to, šiame skyriuje atliekamas statistinių vertinimo programų palyginimas, parenkama funkcionaliausia programinė įranga. Trumpai apžvelgiami pagrindiniai statistiniai parametrai, kuriais tiriami duomenų rinkiniai. Šias testines vaizdų sekas įvairiomis sąlygomis generuojama kompiuterine programine įranga. Sukūrus srities išskyrimą vaizdų sekose atliekančius metodus ir suplanavus testavimo eigą, eksperimentinėje dalyje atliktas statistinių parametru palyginimas skirtingiems duomenų rinkiniams. Vaizdo medžiagos apdorojimui pritaikyti įvairūs panaudos atvejai. Gauti rezultatai testuojami *SSIM*, *3SSIM*, *PNSR* ir *MSU Blur* statistiniais įverčiais. Statistinių parametru pagalba buvo nustatyta, jog metodų realizavimas skirtingomis spalvų erdvėmis *RGB* ir *HSV* generuoja praktiškai identiškus rezultatus. Testavimo metu gauti statistiniai parametrai leido įrodyti srities išskyrimą vaizdų sekose apsunkinančius veiksnius. Didžiausią įtaką rezultatų struktūrai turėjo vaizdo judesio suliejimas. Intensyviai pasireiškiant šiam procesui, išskirtos srities struktūra nuo originalaus failo skyrėsi labiausiai. Šį pokytį akivaizdžiausiai atskleidė statistinis parametras *3SSIM*, lyginantis objektų kraštines, tekstūras ir gradientines sritis.

SUMMARY

The usage of multimedia technologies in the television and film industry is growing rapidly each year. The isolation of the area in the video material has become a standard procedure in the digital image processing sequence. Despite the fact, that the market is being realized in the field of different kinds of extraction methods, the need for their analysis and improvement remains. This master thesis is written in order to evaluate the statistical which burden background extraction from video footage. After clarifying these reasons it is allowed to objectively determine the image quality, and take into account their minimization during the development of videos. The first part of the research is featured in the mathematical area of isolation and the color space analysis methods. These two topics are related to each other, whereas the color information is used in the field of a extracting object from video background. In order to achieve master thesis's objectives, the second section of the work describes the process of the realization of the extraction methods and the *RGB* and *HSV* color spaces. In addition, this section includes the most functional program choice. Statistical parameters were also briefly reviewed, which examined data sets. These videos are being generated with various conditions through motion graphics software. The results obtained were tested with *SSIM*, *3SSIM*, *PNSR* and *MSU Blur* statistical estimates. With the help of statistical parameters, it was found that the video extraction methods of different color spaces *RGB* and *HSV* generates nearly identical results. At the time of testing the statistical parameters have clarified the most difficult extraction aspects. The greatest influence on the structure of the results had the video motion blur. Intensive effect of this process, the structure of the original file in the isolated area, was the most different. These results clearly revealed during a tests with statistical parameter *3SSIM* which compares borders of the objects, textures and gradient smooth areas.

TURINYS

Įvadas.....	11
1. Srities išskyrimo vaizdų sekoje metodų analizė.....	12
1.1. Spalvų aiškinimas ir jų matematinis atvaizdavimas.....	12
1.2. Srities išskyrimo metodų pristatymas.....	17
1.3. Išgautų vaizdo šablonų kraštinių tobulinimas.....	20
1.4. Srities išskyrimo metodų panaudojimas.....	22
1.5. Tiriamosios dalies išvados.....	23
2. Srities išskyrimo metodų realizavimas.....	24
2.1. Bendrieji reikalavimai sprendimui.....	24
2.2. Programinė įranga ir programavimo kalba.....	25
2.3. Funkciniai reikalavimai.....	25
2.4. Nefunkciniai reikalavimai.....	25
2.5. Metodo realizavimas statiniams vaizdams.....	26
2.6. Metodo realizavimas vaizdų sekoms.....	32
2.7. Sprendimo testavimo planas.....	33
2.8. Kompiuteriu sugeneruota geometrinės formos animacija.....	34
2.9. Reikalavimai vaizdų sekos išvesties failams.....	36
2.10. Testavimo įrankis ir statistiniai duomenys.....	37
2.11. Testavimo techninė įranga.....	41
2.12. Realizavimo ir testavimo dalies išvados.....	41
3. Realizuoto metodo eksperimentinė dalis.....	42
3.1. Realizuotų metodų palyginimas.....	42
3.2. Srities išskyrimo testavimas su skirtingais duomenų rinkiniais.....	45
3.3. Rezultatų palyginimas.....	51
3.4. Eksperimentinės dalies išvados.....	53
4. Rezultatai ir išvados.....	54
5. Literatūros sąrašas.....	55
6. Priedai.....	56
Kalendorinis planas.....	57

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Raudonos spalvos reikšmės skirtingomis notacijomis.....	14
1.2 lentelė. Spalvų reikšmės pagal tris <i>RGB</i> dedamąsias (<i>R,G,B</i>).....	14
1.3 lentelė. Spalvų reikšmės pagal tris <i>HSV</i> dedamąsias (<i>H,S,V</i>).....	16
1.4 lentelė. Spalvų reikšmės pagal tris <i>HSL</i> dedamąsias (<i>H,S,L</i>).....	16
2.1 lentelė. Techninės ir programinės įrangos reikalavimai <i>MATLAB</i> programiniam paketui. ...	26
2.2 lentelė. Sukurtos testinės animacijos specifikacija.	34
2.3 lentelė. Objekto animacijos judėjimo planas.	34
2.4 lentelė. Vaizdo judesio suliejimo nustatymai <i>AAE CC</i> programinėje įrangoje.	35
2.5 lentelė. Vaizdo medžiagos statistinių parametru įvertinimo programinės įrangos palyginimas.	37
2.6 lentelė. Testavimui naudojama techninė įranga.	41
2.7 lentelė. Statistinių parametru palyginimas.	41
3.1 lentelė. Statistiniai rezultatai atlikus srities išskyrimą su <i>RGB</i> ir <i>HSV</i> metodais.	43
3.2 lentelė. Išskirto paviršiaus ploto mažinimo metodų testavimo rezultatai.....	44
3.3 lentelė. Statistinių parametru reikšmės atliekant srities išskyrimą su vaizdo medžiaga be pridėtinių netolygumų.	45
3.4 lentelė. Testavimo rezultatai atliekant išskyrimą vaizdo medžiagoje su judėjimo suliejimu.	47
3.5 lentelė. Testavimo rezultatai atliekant išskyrimą vaizdo medžiagoje su filmavimo juostos triukšmu.	49
3.6 lentelė. Testavimo rezultatai atliekant išskyrimą vaizdo medžiagoje su pritaikyta tekstūra.	50

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. RGB spalvų erdvės geometrinis atvaizdavimas.	14
1.2 pav. HSL ir HSV spalvų erdvių geometrinis atvaizdavimas.	16
1.3 pav. Schematinis intensyvumo išskyrimo metodo aiškinimas.	18
1.4 pav. Skirtuminio vaizdo metodo veikimo principas: a – originalus kadras; b – originalaus kadro fonas; c – naujo kadro fonas; d – galutinė kompozicija.	20
1.5 pav. Suliejimo metodo spindulio parametras.	21
1.6 pav. Kraštinių suliejimas: a – nesulietos, lygaus kontūro šablono kraštinės; b – šablono kraštinės po suliejimo metodo pritaikymo.	21
1.7 pav. Kraštinių korekcijos metodas.	22
1.8 pav. Žaliojo fono panaudojimas kuriant filmą „John Adams“: a – pradinė scena su žaliuoju fonu; b – scena, kurioje bus atliekamas komponavimas; c – galutinis komponavimo rezultatas.	22
1.9 pav. Žaliojo fono panaudojimas kuriant filmą: a – veikėjai nufilmuojami prie žaliojo fono; b – nufilmuojama aplinka, pasitelkiant žaliąjį foną; c – komponuojamo dangaus nuotrauka; d – sukomponuotas galutinis rezultatas.	23
1.10 pav. Žaliojo fono panaudojimas kuriant filmą <i>The Great Gatsby</i> : a – pradinė scena su žaliuoju fonu; b – tarpinis komponavimo etapas; c – galutinis komponavimo rezultatas.	23
1.11 pav. Mėlynojo fono panaudojimas kuriant filmą <i>The Great Gatsby</i> : a – pradinė scena su mėlynu fonu; b – tarpinis komponavimo etapas; c – galutinis komponavimo rezultatas.	23
2.1 pav. Metodų realizavimo schema. 1 – statiniams vaizdams; 2 – vaizdų sekoms.	24
2.2 pav. Statinio vaizdo išskyrimo metodo panaudos diagrama.	27
2.3 pav. Spalvų pasiskirstymą atvaizde vizualizuojanti histograma.	29
2.4 pav. <i>Diamond(3)</i> tipo struktūrinis elementas.	30
2.5 pav. Struktūrinio elemento <i>diamond</i> panaudojimas <i>imerode()</i> funkcijoje, reikšmės 1,2 ir 3.	31
2.6 pav. Srities išskyrimo panaudos atvejų diagrama vaizdų sekoms.	32
2.7 pav. Animacijos judėjimo schema.	34
2.8 pav. Objektas be netolygumo faktorių.	35
2.9 pav. Objektas su vaizdo suliejimu.	35
2.10 pav. Objektas su filmo juostos triukšmu.	36
2.11 pav. Objektas su pritaikyta tekstūra.	36
2.12 pav. Originalios raiškos kadras iš vaizdo medžiagos failo statistinių įverčių tyrimui.	38
2.13 pav. Originalios vaizdo medžiagos palyginimas su 50% sumažintos kokybės failu, <i>PNSR</i>	39
2.14 pav. Originalios vaizdo medžiagos palyginimas su 50% sumažintos kokybės failu, <i>SSIM</i>	39
2.15 pav. Originalios vaizdo medžiagos palyginimas su 50% sumažintos kokybės failu, <i>3SSIM</i>	40
2.16 pav. Originalios vaizdo medžiagos palyginimas su šablono filtru pakoreguotu failu, <i>MSU Blur</i>	40
3.1 pav. Apdorojamos ir testuojamos vaizdo medžiagos kadrai.	42
3.2 pav. Spalvų pasiskirstymo atvaizdavimas RGB ir HSV spalvų erdvėse be papildomų netolygumų, 100–asis kadras.	43
3.3 pav. Statistinio parametro <i>3SSIM</i> reikšmių grafikas srities išskyrimą atlikus RGB (raudona linija) ir HSV (mėlyna linija) metodais.	43
3.4 pav. Statistinio parametro <i>3SSIM</i> reikšmių grafikas srities išskyrimą atlikus dviem skirtingais atvejais.	44
3.5 pav. Srities išskyrimas atliekant vieno (raudona linija) ir dviejų (mėlyna linija) aktyviųjų taškų korekciją.	46
3.6 pav. Srities išskyrimas atliekant vieno aktyviojo taško korekciją, tačiau pritaikant spindulio(1) suliejimą (raudona linija) ir spindulio(2) suliejimą (mėlyna linija).	46

3.7 pav. Spalvų pasiskirstymo atvaizdavimas <i>RGB</i> ir <i>HSV</i> spalvų erdvėse su vaizdo judėjimo suliejimu, 100–asis kadras.....	47
3.8 pav. Statistinio įverčio <i>3SSIM</i> rezultatai atlikus išskyrimo procesą vaizdo medžiagoje su judėjimo suliejimu.....	48
3.9 pav. Originalus failas ir du rezultatų kadrai, išskyrimui pritaikant <i>p1b2-150</i> ir <i>p1b2-200</i> reikšmes.....	48
3.10 pav. Spalvų pasiskirstymo atvaizdavimas <i>RGB</i> ir <i>HSV</i> spalvų erdvėse su filmavimo juostos triukšmu, 100–asis kadras.....	48
3.11 pav. Statistinio įverčio <i>3SSIM</i> rezultatai atlikus išskyrimo procesą vaizdo medžiagoje su filmavimo juostos triukšmu.....	49
3.12 pav. Spalvų pasiskirstymo atvaizdavimas <i>RGB</i> ir <i>HSV</i> spalvų erdvėse su pritaikyta tekstūra, 100–asis kadras.....	50
3.13 pav. Statistinio įverčio <i>3SSIM</i> rezultatai atlikus išskyrimo procesą vaizdo medžiagoje su pritaikyta tekstūra.....	50
3.14 pav. <i>3SSIM</i> statistinio įverčio reikšmės, kuomet visiems vaizdo medžiagos rinkiniams pritaikomi <i>p1b1-250</i> išskyrimo nustatymai.....	51
3.15 pav. <i>3SSIM</i> statistinio įverčio reikšmės, kuomet visiems vaizdo medžiagos rinkiniams pritaikomi <i>p1b1-150</i> išskyrimo nustatymai.....	51
3.16 pav. <i>SSIM</i> statistinio įverčio reikšmės, kuomet visiems vaizdo medžiagos rinkiniams pritaikomi <i>p1b1-250</i> išskyrimo nustatymai.....	52
3.17 pav. <i>SSIM</i> statistinio įverčio reikšmės, kuomet visiems vaizdo medžiagos rinkiniams pritaikomi <i>p1b1-150</i> išskyrimo nustatymai.....	52

TERMINŲ IR SANTRUMPŲ ŽODYNAS

Santrumpa, terminas	Paiškinimas
AAE	<i>Adobe After Effects</i> programinė įranga
RGB	Skaitmeniniuose įrenginiuose naudojama spalvų erdvė
YUV	Vaizdo signalo priėmimo sistemose naudojama spalvų erdvė
HSI	Spalvų erdvė, naudojama skaitmeniniame apdorojime
HSV	Spalvų erdvė, naudojama skaitmeniniame apdorojime
HSL	Spalvų erdvė, naudojama skaitmeniniame apdorojime
CMYK	Spalvų erdvė, naudojama spaudoje
MP4	Vaizdo medžiagos saugojimo formato tipas
PSNR	Statistinis parametras parodantis signalo maksimumo taškų santykį su triukšmu
SSIM	Statistinis parametras nusakantis struktūrinio panašumo indeksą
3SSIM	Statistinis parametras nusakantis struktūrinį panašumo indeksą pagal tris parametrus
MSU	Maskvos Valstybinis Universitetas
MATLAB	Programinės įrangos paketas
Luma Key	Srities išskyrimo pagal intensyvumą metodas
Chroma Key	Srities išskyrimo pagal spalvą metodas
Difference Key	Srities išskyrimo pagal vaizdų skirtumą metodas
SPD	Galios spektrinis pasiskirstymas
GUI	Vartotojo grafinė sąsaja
Shutter angle	Fotografijoje ir filmografijoje naudojamas terminas apibūdinantis išlaikymo kampą

ĮVADAS

Devynioliktojo amžiaus pabaigoje vaizdo kameros objektyvui pirmą kartą sėkmingai įrašius matomus vaizdus į kino juostą, niekas nė neįtarė, kuo šios technologijos gali virsti ateityje. Nepaisant to, naujovių poreikis ir siekiamumas atvėrė naujus horizontus. 1930 metais buvo sukurta *judančio šablono* (angl. *travelling matte*) technika, kuri leido komponuoti kelias vaizdo medžiagas tarpusavyje ar tiesiog uždenkti nereikalingą vaizdo medžiagos regioną [1]. Tai davė pradžią šių dienų filmavimo bei skaitmeninės medžiagos apdorojimo sistemų vystymuisi. Srities išskyrimas vaizdo medžiagoje tapo įprasta procedūra televizijoje, kino industrijoje ar realaus laiko apdorojimo sistemose. Prie vienos spalvos fono nufilmuoti elementai programinės įrangos pagalba skaitmeniniu būdu gali būti atskiriami nuo juos supančio fono. Tokiu atveju išskirti objektai įkomponuojami kitoje aplinkoje. Šis skaitmeninis vaizdo medžiagos apdorojimas leidžia kurti ne tik elementarias, tačiau ir realiomis sąlygomis neįgyvendinamas kompozicijas. Nors rinkoje yra realizuoti įvairaus pobūdžio srities išskyrimo metodai, jų analizės, tobulinimo bei įgyvendinimo poreikis išlieka [2].

Skaitmeniniu būdu apdorotos vaizdo medžiagos kokybės įvertis yra subjektyvus. Kiekvienas asmuo rezultatus gali interpretuoti individualiai, todėl objektyviai įvertinti srities išskyrimo kokybę yra sudėtinga. Šio magistrinio darbo tikslas – statistiniais parametrais įvertinti srities išskyrimą vaizdų sekose apsunkinančius veiksnius. Nustačius šias priežastis galima objektyviai nustatyti vaizdo medžiagos kokybę bei atsižvelgti į jų minimalizavimą vaizdų sekos kūrimo metu.

Rezultatams gauti planuojama įgyvendinti žemiau pateiktus uždavinius:

1. Nustatyti pagrindinių srities išskyrimo metodų veikimo principą, matematinį modelį;
2. Realizuoti srities išskyrimo metodą pagal spalvą;
3. Srities išskyrimo metodui nustatyti optimalesnį spalvų erdvės panaudojimą;
4. Parinkti statistinius parametrus metodo testavimui;
5. Sukurti duomenų rinkinius vaizdų srities išskyrimo testavimui;
6. Atlikti gautų statistinių parametrų palyginimą.

Pirmame skyriuje pristatomos matematinės spalvų erdvės bei atliekama srities išskyrimo metodų analizė. Antrame skyriuje aprašomas metodo realizavimas ir testavimo plano sudarymas. Sukuriami funkciniai ir nefunkciniai reikalavimai srities išskyrimo pagal spalvą metodo realizavimui. Šis atliekamas dvejoms spalvų erdvėms – *RGB* ir *HSV*. Metodų testavimui sukuriama duomenų rinkiniai, kurių pagalba tiriamos statistinių parametrų vertės skirtingomis sąlygomis. Siekiant palyginti gautus rezultatus parenkami statistiniai parametrai. Šių parametrų pagalba galima įvertinti vaizdų sekos struktūrą po skaitmeninio srities išskyrimo vaizdo medžiagoje. Trečiajame skyriuje, eksperimentinėje dalyje, atliekamas realizuotų metodų testavimas simuliuojant įvairius panaudos atvejus. Kiekvieno skyriaus pabaigoje pateikiamos apibendrinamosios išvados. Darbo pabaigoje pristatomi išsikeltų uždavinių rezultatai ir išvados.

1. SRITIES IŠSKYRIMO VAIZDŲ SEKOJE METODŲ ANALIZĖ

Multimedijos technologijų panaudojimas televizijoje bei kino industrijoje auga kiekvienais metais. Šių dienų filmų kūrimas yra neįsivaizduojamas be srities išskyrimo metodų bei komponavimo technikų pritaikymo. Dėl šios priežasties elitinės vaizdo medžiagos apdorojimo programos turi įdiegtus pagrindinius srities išskyrimo metodus [1]. Šiose programose aptinkami tokie metodai kaip intensyvumo išskyrimo (*angl. Luma Key*), spalvos išskyrimo (*angl. Chroma Key*), vaizdo skirtumo metodai (*angl. Difference Key*). Vaizdo medžiagos filmavimui naudojami žali arba mėlyni fonai. Jie pasirinkti ne atsitiktinai - šių atspalvių nėra žmogaus kūne. Kitų spalvų fonai taip pat gali būti naudojami, tačiau tuomet turi būti atsižvelgta į svarbų aspektą – filmuojamame objekte nepatariama fono atspalvio detalių. Jei į tai nebus atsižvelgta, srities išskyrimo procese objektas praras tas dalis, kurių spalvinės reikšmės atitinka fonines. Šiuos metodus panaudojus vaizdų sekoms, gaunamas šablonas, kuriame juodos sritys atitinka permatomą regioną, baltos – visiškai nepermatomą, o pilkos – pusiau permatomą. Atlikus pradinio vaizdo apdorojimą su sukurtu šablonu, gaunama išskirta vaizdo medžiagos sritis [3].

Paminėti metodai tinka atlikti nesudėtingus, elementarius srities išskyrimo uždavinius. Nepaisant to, šių metodų panaudojimas garantuoja kokybiškus rezultatus tik tais atvejais, kuomet vaizdo medžiagoje nufilmuoti objektai yra aiškių formų, neturi pusiau permatomų sričių bei minimaliai juda scenoje (generuojamas mažas vaizdo judesio suliejimas). Sudėtingesnėms užduotims realizuoti bazinėse programų versijose įdiegtų metodų dažnu atveju nepakanka. Į pagalbą pasitelkiami papildomi programinės įrangos plėtiniai, pasižymintys platesniu funkcionalumo spektru. Vienas iš populiariausių rinkoje – *Keylight* metodas. Šis metodas yra įdiegtas bazinėje *Adobe After Effects* versijoje, tačiau kitoms rinkoje esančioms vaizdo apdorojimo gigantėms, plėtinys parduodamas atskirai – kainos svyruoja nuo \$200 iki \$3300 JAV dolerių, priklausomai nuo programos paketo. [šaltinis] Žinoma, *Keylight*¹ nėra vienintelis efektyvus plėtinys srities išskyrimui vaizdo medžiagoje, tačiau visų jų kainos yra pakankamai aukštos (*Boris Continuum Complete*² - ~\$800, *dvMatte Pro*³ - \$200). Kitaip tariant, papildomi įskiepai programoms palengvina srities išskyrimo procesą, tačiau tuo pačiu ženkliai padidina išlaidas.

Srities išskyrimo metodų realizavimas yra pagrįstas spalvų mokslu. Vaizdo medžiagą sudaryta iš aktyviųjų taškų (*angl. pixels*), o kiekvienas iš jų turi spalvines vertes. Dėl šios priežasties skyriaus pradžioje aprašomos pagrindinės matematinės spalvų erdvės. Atlikus jų analizę pristatomi trys baziniai srities išskyrimo metodai: intensyvumo išskyrimo metodas, spalvos išskyrimo metodas bei skirtuminio vaizdo metodas. Kiekvienas iš jų yra apibūdinami, pristatomi metodų matematiniai veikimo principai. Metodų funkcionalumas neapsiriboja vien tik srities išskyrimo funkcija. Taip pat suteikiama galimybė koreguoti išskirto šablono kontūro detalumą, suliejimą. Skyriaus pabaigoje pateikiami praktiniai srities išskyrimo metodų panaudojimų pavyzdžiai ir aprašomos darbo išvados.

1.1. Spalvų aiškinimas ir jų matematinis atvaizdavimas

Pirmasis bandymas atvaizduoti skaitmeninį vaizdą įvyko 1957 metais, kuomet Russelas A. Kirschas sukūrė prietaisą, leidžiantį skaitmeniniu būtu išsaugoti nuskanuotos nuotraukos atvaizdą [3]. Tai buvo atlikta panaudojant monochromatinę nuotrauką. Sparčiai tobulėjant skaitmeninio atvaizdavimo technologijoms, ekranus užpildė spalvoti vaizdai. Šios tendencijos iškėlė naujus iššūkius ir problemas atliekant atvaizdų apdorojimą. Įvairūs atvaizdus fiksuojantys ir atvaizduojantys įrenginiai turi baigtines vaizdavimo ribas. Dėl šios priežasties sukurtos skirtingos vaizdavimo technologijos ir algoritmai leidžia išsaugoti spalvinę informaciją skaitmeninėje laikmenoje.

Novatoriški Niutono eksperimentai tiriant saulės šviesą atskleidė faktą, jog šviesos spalva priklauso nuo jos spektrinių komponentų. Vėliau, Grassmannas ir Maxwellas pateikė matematinį pagrindą – spalva yra sudaryta iš trijų nepriklausomų kintamųjų [9]. Taip pat buvo pademonstruota,

¹ Nuoroda į įskiepio puslapį: <https://www.thefoundry.co.uk/products/plugins/keylight/>

² Nuoroda į įskiepio puslapį: <http://www.borisfx.com/bcc/>

³ Nuoroda į įskiepio puslapį: <http://www.dvgarage.com/dvmatte-pro>

jog bet kuris spalvos mišinys gali būti gaunamas iš trijų pagrindinių spalvų komponentų. Tai yra vadinama trispalve generalizacija. Skirtingo ilgio ir stiprumo optiniai spinduliai sukuria spalvos pojūtį. Šios šviesos šaltinio charakteristikos apibrėžiamos sąvoka *galios spektrinis pasiskirstymas* (angl. *spectral power distribution, SPD*). Žmonės suvokia pagrindinius spalvų komponentus taip:

1. Ryškumas/intensyvumas – vizualinis pojūčio atributas, kuris nusako paviršiaus ploto savybę skleisti šviesą. Kuo didesnis šviesos srautas krenta į paviršių, tuo ryškesnis tampa jo atvaizdas;
2. Atspalvis – atributas susijęs su skirtingų spalvų suvokimu: raudonos, geltonos, žalios, mėlynos, t.t. Jei šviesos bangų galios pasiskirstyme atsiranda ilgio pokytis, spalvos atspalvis taip pat pakinta;
3. Spalvingumas – nurodo suvokiamo atspalvio grynumą. Šis įvertis parodo paviršiaus ploto spalvingumą lyginant su ryškumu. Kuo labiau *SPD* yra koncentruotas į atitinkamą bangos ilgį, tuo sotesnė yra spalva. Norint sumažinti spalvingumo lygį, pridėjama balta spalva, kuri įtakoja *SPG* galią visiems bangų ilgiams.

Iš viršuje apibūdintų trijų atributų, ryškumas arba intensyvumas yra achromatinis spalvos komponentas. Atspalvis ir spalvingumas formuoja chromatinę spalvos atvaizdavimą [9].

Optinėje spalvotoje kameroje yra trys sensoriai. Kiekvienas iš jų veikia skirtingose optinių bangų zonose: su trumpomis bangomis (mėlynoje zonoje), su vidutinio ilgumo bangomis (žalioje zonoje) ir su ilgomis bangomis (raudonoje zonoje). Šiame poskyryje pristatomos pagrindinės matematinės spalvų erdvės, naudojamos informacijos atvaizdavimui skaitmeniniuose įrenginiuose. Išskiriamos trys pagrindinės erdvės: *RGB* (naudojama kompiuterinėje grafikoje), *YIQ*, *YUV* arba *YcbCr* (naudojama vaizdų sistemoje) bei *CMYK* (naudojama spaudoje). Nei viena iš šių spalvų erdvių nėra tiesiogiai susijusios su intuityviu spalvos ryškumo, atspalvio bei spalvingumo pojūčiu. Siekiant palengvinti programavimo bei vartotojų naudojimo poreikius, spalvų erdvės perkoduojamos į *HSI* bei *HSV* modelius. Visos spalvų erdvės gali būti gaunamos iš *RGB* spalvų erdvėje kaupiamos informacijos, kuri naudojama tokiuose įrenginiuose kaip kameros ar skaitytuvai [4]. Žemiau plačiau bus pristatomi *RGB*, *HSI* ir *YcBcR* spalvų modeliai.

1.1.1. *RGB* spalvų erdvė

Iš raudonos, žalios bei mėlynos komponentų sudaryta spalvų erdvė vadinama *RGB* (angl. *Red, Green, Blue*). Ši erdvė plačiai naudojama kompiuterinėje grafikoje. Kiekvieno atvaizde esančio aktyviojo taško (angl. *pixel*) spalvinė reikšmė yra nusakoma vektoriumi (*R, G, B*), kurio dedamosios atitinka raudonos, žalios bei mėlynos spalvos vertes. Atlikus šių reikšmių suliejimą, gaunamos spalvos, atitinkančios žmogaus suvokiamą vaizdą. Skaitmeninio atvaizdavimo įrenginiuose spalvos vaizduojamos tokiu pačiu sumaišymo principu. Šios spalvos yra pagrindiniai komponentai, iš kurių gaunamos bet kokios kitos spalvos. Jei visi spalvų dedamieji komponentai yra lygūs nuliui, tuomet spalva yra juoda; jei atitinka maksimumo reikšmes, rezultatas yra balta spalva [5].

RGB spalvų erdvėje režiai tarp minimalios ir maksimalios reikšmių gali būti kvantuojami įvairiais būdais:

- Atitmetinis – nuo 0.0 iki 1.0, su trupmeninėmis reikšmėmis šiame intervale. Toks atvaizdavimo būdas naudojamas teorinėse analizėse ir sistemose, kurios naudoja slenkančio kabelio atvaizdavimą;
- Procentinis – kiekvieno komponento reikšmė taip pat gali būti užrašoma procentine reikšme, nuo 0% iki 100%;
- Skaitmeninis, 8-bitai kanalui – kompiuterinėse sistemose, komponentų reikšmės dažniausiai saugomos sveikų skaičių intervale nuo 0..255. Kiekvienai spalvai skiriama po 8 bitus (256 reikšmes);
- Skaitmeninis, 16-bitų per kanalą – sistemose, kurios apdoroja didesnius sveikųjų skaičių intervalus, gali būti ir didesni bitų kiekiai kanalui. Pavyzdžiui 16 bitų talpina 0..65535 reikšmių.

Kaip pavyzdį, galima pateikti pilnai apšviestos raudonos spalvos reikšmes skirtingomis notacijomis, lentelėje 1.1.

1.1 lentelė. Raudonos spalvos reikšmės skirtingomis notacijomis.

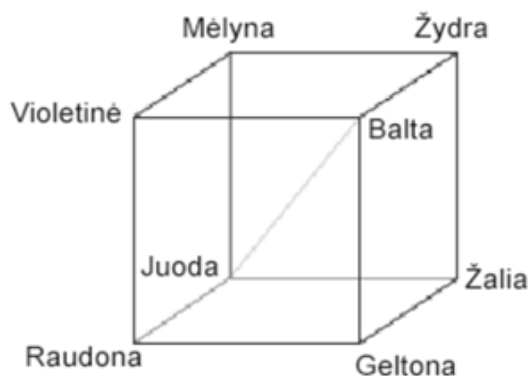
Notacija	RGB reikšmės
Aritmetinė	(1.0, 0.0, 0.0)
Procentinė	(100%, 0%, 0%)
Skaitmeninė 8-bitai kanalui	(255, 0, 0)
Skaitmeninė 16-bitų kanalui	(65535, 0, 0)

RGB spalvų reikšmės aštuonių bitų kanalui kinta nuo nulio iki 255. Parenkant skirtingas komponentų vertes gaunama bet kuri spalvos spektro spalva. Pagrindinių spalvų reikšmės yra pateikiamos lentelėje 1.2.

1.2 lentelė. Spalvų reikšmės pagal tris *RGB* dedamąsias (*R,G,B*).

	Spalvos intervalas	Balta	Geltona	Žydra	Žalia	Violetinė	Raudona	Mėlyna	Juoda
R	0..255	255	255	0	0	255	255	0	0
G	0..255	255	255	255	255	0	0	0	0
B	0..255	255	0	255	0	255	0	255	0

Kadangi *RGB* spalvų erdvė yra nusakoma trimis komponentais, geometriškai ją galima atvaizduoti trimačiu kubu, Dekarto koordinatinių sistemoje. 1.1 pav. pavaizduotas kubas atvaizduoja spalvų pasiskirstymą erdvėje. Spalvų vertės kinta diapazone nuo 0 iki 1. Juoda spalva atitinka koordinatinių pradžios tašką (0, 0, 0). Intensyvumo vertės didėja veikiant išilgai visų trijų ašių. Priešingas koordinatinių taškas (1, 1, 1) atitinka baltą spalvą. *RGB* koordinatės nusako tam tikrą spalvą, pagal gretimais esančias plokštumas ar briaunas. Šis metodas leidžia skaičiuoti atstumus iki viršūnių – kuo mažesnis atstumas iki viršūnės, tuo didesnė įtaka esamai spalvai. Vienodi kiekvienos spalvos parametrai atvaizduoja pilkus atspalvius. PAV. pavaizduotos 100% sotumo spalvų reikšmės. Kitaip tariant, koordinatinių reikšmės, lygios 0 arba 1 [5].



1.1 pav. *RGB* spalvų erdvės geometrinis atvaizdavimas.

RGB spalvų erdvė yra labiausiai paplitęs spalvų atvaizdavimo būdas kompiuterinėje grafikoje, kadangi vaizduoklių ekranai naudoja raudoną, žalią bei mėlyną spalvas sukurti reikalingus tonus. Nepaisant to, *RGB* nėra efektyvi kuomet susiduriama su realaus pasaulio atvaizdais. Pagrindinė problema atvaizduojant spalvas *RGB* erdvėje iškylla jos matematiniam suvokime. Kiekviena iš pagrindinių komponentų atitinka spalvos kiekį, tačiau tai nesuteikia galimybės suvokti spalvos pagal tris žmogiškuosius faktorius: šviesumą, atspalvį ir spalvingumą. Pavyzdžiui, norint pakeisti atitinkamo aktyvaus taško ryškumą arba spalvą, turi būti atliekama veiksmų seka:

1. Iš kadro buferio reikia nuskaityti visų trijų atributų reikšmes;
2. Intentyvumas ar spalvos tonas turi būti perskaičiuojamas visoms trimis reikšmėms;
3. Naujos reikšmės įrašomos atgal į kadro buferį.

Jei sistema turėtų tiesioginį priėjimą prie intensyvumo ar spalvos tono atributų, apdorojimas galėtų būti paprastesnis. Dėl šios priežasties yra naudojamos ir kitos spalvų erdvės, kurios suteikia tiesioginę prieigą prie pagrindinių spalvos atributų.

1.1.2. *HSL* ir *HSV* spalvų erdvės

Aptariant *RGB* spalvų erdvę paaiškėjo, jog ji labiau pritaikyta naudoti skaitmeniniuose įrenginiuose ir yra mažiau intuityvi. Siekiant palengvinti skaitmeninį darbą su spalvomis, 1970 metais buvo sukurtos *HSL* ir *HSV* spalvų erdvės. Šios erdvės tapo plačiai naudojamos skaitmeninės grafikos programose, spalvų paletėse, skaitmeninio atvaizdų apdorojimo programose. Naujosios spalvų erdvės suteikė intuityvesnę spalvų suvokimo galimybę. Jei *RGB* geometriniam atvaizdavimui naudojamas Dekarto koordinatėse esantis kubas, tai *HSL* ir *HSV* išdėsto spalvų reikšmes cilindro formoje. Kampas tarp centrinės vertikaliosios ašies atitinka atspalvį (angl. *hue*, *H*) (1.1), o atstumas nuo vertikaliosios ašies (spindulys), nusako spalvingumą (angl. *saturation*, *S*) (1.2). Geometrinės cilindro figūros aukštis nusako trečią spalvų erdvės reikšmę – ryškumą (angl. *luminance*, *L*) (1.3).

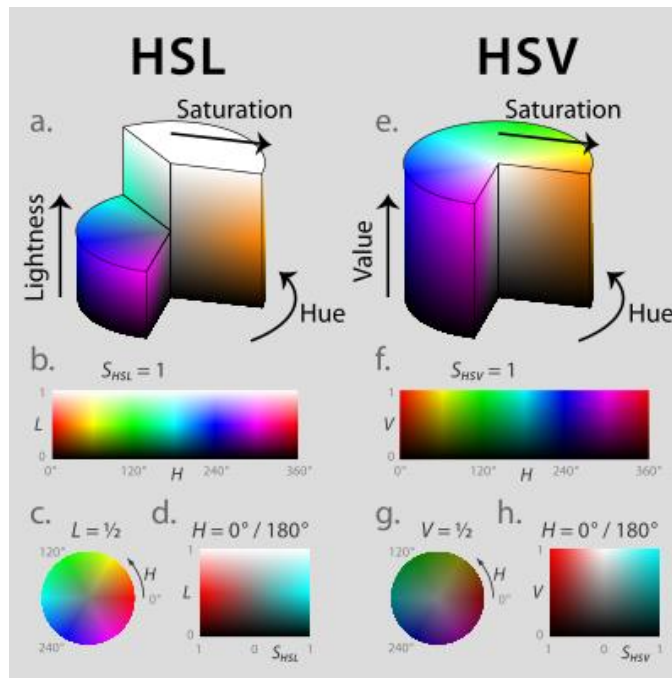
Matematiškai, *RGB* spalvų erdvės perkodavimas į *HSV* aprašomas taip [4]:

$$H = \cos^{-1} \left\{ \frac{0.5 \times [((R - G) + (R - B))]}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B) \times (G - B)}} \right\} \quad (1.1)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} \times [\min(R, G, B)] \quad (1.2)$$

$$V = \frac{1}{3} \times (R + G + B) \quad (1.3)$$

Abi spalvų erdvės yra atvaizduojamos kaip geometriniai cilindrai. Spalvų pasiskirstymas pateikiamas PAV. Nulio laipsnių kampas (0°) atitinka pagrindinę raudonos spalvos dedamąją. Kampui didėjant po 120° gaunamos kitos pagrindinės spalvos (120° – žalia, 240° – mėlyna). Kampui pasiekus dviejų radianų vertę (apsisukus 360°), spalva vėl grįžta prie pradinės, raudonos komponentės. Tiek *HSL* tiek *HSV* spalvų erdvėse centrinė vertikalioji ašis atitinka neutralius, achromatinius atspalvius. Juodos spalvos vertė cilindro apačioje atitinka 0, baltos, viršuje – 1. Abejų erdvių atvejais pirminių (raudonos, žalios, mėlynos) ir antrinių (geltonos, žydros, purpurinės) spalvų bei jų mišinių sodriausios ir spalvingiausios reikšmės išsidėstę ties išorine cilindro briauna. Maksimali atspalvio reikšmė atitinka 1. Esminis skirtumas tarp *HSL* ir *HSV* pasireiškia per trečiąjį jų komponentą – apšvietos/ryškumo/intensyvumo reikšmę. Kuomet spalvos sodrumas lygus 1, *V* reikšmė taip pat lygi vienetui. Kitokia situacija yra su *HSL*, kur tokiu pačiu sodrumo atveju, spalvos intensyvumas yra dvigubai mažesnis. *HSV* atveju atliekant sodriausių spalvų sumaišymą su balta spalva, gaunami blankesni atspalviai, o atliekant maišymą su juoda – sodrumas išlieka nepatikęs. *HSL* atveju, tiek atspalviai tiek šešėliai turi pilną sodrumą. Jis keičiasi tik tuomet, kada atliekamas maišymas kartu su baltos ir juodos spalvos tonais. Tokiu atveju sodrumas turi vertę mažesnę nei 1.



1.2 pav. HSL ir HSV spalvų erdvių geometrinis atvaizdavimas.⁴

Lentelėse 1.3 ir 1.4 pateiktas 75% HSV bei HSI spalvų reikšmės. Jos atspindi V ir L skirtumą. Nustačius vienodas V ir L reikšmes, gaunamos skirtingos spalvos, pavaizduotos 1.2 pav. [8].

1.3 lentelė. Spalvų reikšmės pagal tris HSV dedamąsias (H,S,V).

	Spalvos intervalas	Balta	Geltona	Žydra	Žalia	Violetinė	Raudona	Mėlyna	Juoda
H	0°..360°	-	60°	180°	120°	300°	0°	240	-
S	0..1	0	1	1	1	1	1	1	0
V	0..1	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0

1.4 lentelė. Spalvų reikšmės pagal tris HSL dedamąsias (H,S,L).⁵

	Spalvos intervalas	Balta	Geltona	Žydra	Žalia	Violetinė	Raudona	Mėlyna	Juoda
H	0°..360°	-	60°	180°	120°	300°	0°	240	-
S	0..1	0	1	1	1	1	1	1	0
L	0..1	0.75	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0

1.1.3. YUV, YIQ, YCbCr spalvų erdvės

Kiekviena spalvų erdvė turi savitus kodavimo principus, tačiau televizijos signalų imtuvuose naudojamas plačiausias spalvų erdvių spektras. Priklausomai nuo imtuvo tipo, transliavimo standartų ir skaitmeninių vaizdo komponentų standartų, yra sukurta įvairios YUV (angl. *Y-luminance*, *U-blue luminance*, *V-red luminance*) variacijos.

⁴ Nuoroda į atvaizdą: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a0/Hsl-hsv_models.svg/1000px-Hsl-hsv_models.svg.png

YUV spalvų erdvė yra naudojama komponuojant televizijos signalą PAL (angl. *National phase Alternation Line*), $NTSC$ (angl. *National Television System Committee*) ir $SECAM$ (angl. *Sequential Color with Memory*) televizijos standartuose. Juoda/balta vaizdus transliuojančios sistemos naudojo tik Y (angl. *luma*) komponento informaciją, kuris perduoda šviesos intensyvo reikšmes. Norint rodyti spalvotą vaizdą, buvo pridėti U ir V komponentai. Nepaisant to, juoda/balta transliuojančios sistemos vistiek tebegalėjo atvaizduoti joms būdingą vaizdą. Signalo imtuvai, priimančys spalvotą vaizdą, koduodavo gaunamą informaciją taip generuodami spalvotą vaizdą. Bazinis RGB spalvų erdvės perkodavimas į YUV išreiškiamas tokiomis vertėmis:

$$Y = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B \quad (1.4)$$

$$U = -0.147 \times R - 0.289 \times G + 0.436 \times B \quad (1.5)$$

$$V = 0.615 \times R - 0.515 \times G - 0.100 \times B \quad (1.6)$$

YIQ spalvų erdvė gauta iš YUV ir yra alternatyviai naudojama atkuriant $NTSC$ spalvotą vaizdo signalo standartą. Visose YUV spalvų erdvių variacijose, pirmasis komponentas Y atitinka šviesos intensyvumo reikšmę (angl. *luminance* (Y)). Detalizuojant YIQ , I komponentas atitinka vidinę fazę, o Q – kvadratūrą (tai yra moduliacijos metodas naudojamas perduoti spalvinę informaciją). Bazinė formulė perskaičiuoti RGB spalvų erdvę į YIQ užrašoma formulėmis (1.7), (1.8) ir (1.9)

$$Y = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B \quad (1.7)$$

$$I = 0.596 \times R - 0.275 \times G - 0.321 \times B \quad (1.8)$$

$$Q = 0.212 \times R - 0.523 \times G + 0.311 \times B \quad (1.9)$$

$YCbCr$ spalvų erdvėje Y komponentas nurodo šviesos intensyvumo įvertį, o Cb ir Cr atitinka mėlynos bei raudonos spalvų chromatinius komponentus. Kompiuterinėse sistemose, kuriuose spalvinė informacija koduojama 8 bitų duomenimis, matematiškai RGB spalvų erdvės perkodavimas į $YCbCr$ aprašomas taip [4]:

$$Y = 0.257 \times R + 0.504 \times G + 0.098 \times B + 16 \quad (1.10)$$

$$Cb = -0.148 \times R - 0.291 \times G + 0.439 \times B + 128 \quad (1.11)$$

$$Cr = 0.439 \times R - 0.368 \times G - 0.071 \times B + 128 \quad (1.12)$$

1.2. Srities išskyrimo metodų pristatymas

Srities išskyrimas (angl. *keying*) yra vienas dažniausiai naudojamų vaizdo efektų skaitmeninėje gamyboje. Šią techniką pritaikius vaizdo medžiagai, joje esantis objektas išskiriamas iš fono, taip sukuriama šablona (angl. *matte*). Pašalintos informacijos sritys vaizde įgauna permatomumą, išskirtas objektas nebeturi jį supančio fono. Visą procesą galima įvardinti ir dvejetainė išraiška – pašalintos medžiagos sritys įgyja reikšmę lygią 0 (visiškai permatoma), o likęs atvaizdas įgyja reikšmes, lygias vienetai (visiškai nepermatoma).

Rinkoje esančius srities išskyrimo metodus galima suskirstyti į tris skirtingas grupes:

1. Profesionalios efektų sistemos – aukšto lygio gaminiai, kurie parduodami su specifine $UNIX$ technine įranga. Dėl šios priežasties, jie vadinami *sistemomis*. Spalvų skirtumo arba $3D$ regiono šalinimo metodai įgalina naudotojus pritaikyti platų nustatymų rinkinį. Be to, šios sistemos pateikia sudėtingą GUI atvaizdavimą. Programų pavyzdžiai: *discreet/autodesk Flint, Flame, Inferno, Quantel iQ*. Kainos prasideda nuo 50.000USD.
2. Vartotojams skirta programinė įranga – vaizdo medžiagos apdorojimo paketuose įdiegti regiono šalinimo metodai. Jų veikimo principas pagrįstas HLS (angl. *Hue, Lightness, Saturation*) šalinimu. Programų pavyzdžiai: *Adobe After Effects, discreet/autodesk Combustion, Apple Shake*. Kainos prasideda nuo 50USD.

3. Atskiri plėtiniai programinei įrangai – tai metodai, kurie paroduodami atskirai vaizdo apdorojimo programinei įrangai, kaip funkcionalumo papildymas. Šie metodai kuriami spalvų skirtumo bei 3D regiono šalinimo technologija. Plėtinių pavyzdžiai: *Ultimate*, *Primatte*, *Keylight*. Kainos prasideda nuo 500USD. [tzikeyer/keying_report.pdf]

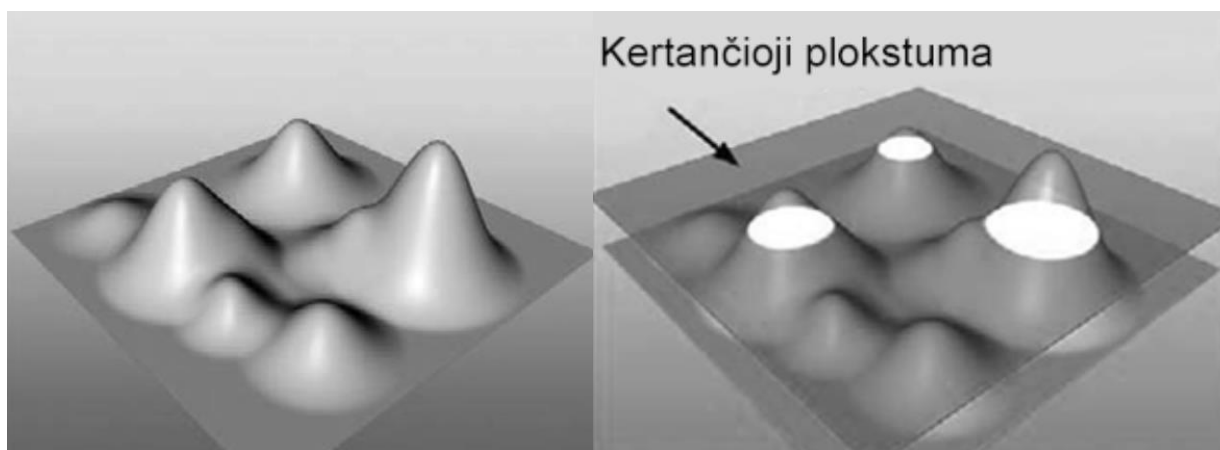
Toliau skyriuje bus orientuojamasi į vartotojams skirtos programinės įrangos metodų analizę. Šis pasirinkimas pagrįstas lėšų atžvilgiu, kadangi tiek profesionalių efektų sistemų tiek atskirų plėtinių kainos yra didesnės, lyginant su pilnais programiniais paketais. Skyriuje nebus analizuojama konkrečios programinės įrangos panaudojimas išbandant šiuos metodus.

1.2.1. Intensyvumo išskyrimo metodas

Vienas iš primityviausių fono išskyrimo būdų yra intensyvumo išskyrimo metodas. Šis pavadinimas skirtas atsižvelgiant į vaizdų sekos prigimtį, kur vaizdo signalas yra skaitmenizuojamas į intensyvumo ir spalvos kanalus. Intensyvumo dalis naudojama sukurti šabloną, kuris atskirtų fone esančią medžiagą pagal du kriterijus - analizuojamoje medžiagoje esančius šviesius bei tamsius atspalvius. Kitaip tariant, intensyvumo išskyrimo metodas panaikina tonus, kurie yra atitinkamame ryškumo spektre [18]. Šioje dalyje aptariamas intensyvumo išskyrimo metodo veikimo principas, jo matematinė išraiška.

Intensyvumo išskyrimo metodas interpretuoja spalvotą raudonos, žalios bei mėlynos *RGB* spalvų atvaizdą ir perskaičiuoja jį į monochromatinį. Gautas vienos spalvos atvaizdas leidžia jį analizuoti kaip šviesių/tamsių plotų visumą. Metode nustatytus intervalą, kuris turėtų būti panaikintas, taškai, kurie turi identišką ar didesnę intensyvumo reikšmę, paverčiami balta spalva, visi kiti – juoda. Šiuo būdu gaunamas griežtų linijų šablonas, kuriame baltą spalvą atitinka išsaugota informacija, o juodą – pašalinama.

Lengviausias būdas suprasti intensyvumo išskyrimo metodą – įsivaizduoti nuotrauką, padėtą ant stalo. Ją sudarantys taškai kalnai – kuo ryškesnė atvaizdo vieta, tuo kalnas yra aukštesnis. Pačios ryškiausios vietos atitinka kalnus, pilkos – kalvas, o tamsios ir juodos – lygumas. Keičiant ryškumo intervalą, kalnų viršūnės *nupjaunamos*, tokiu būdu pašalinant ryškiausias atvaizde esančias spalvas. Intervalo plotyje nustatytas tamsesnes spalvas, panaikinamų spalvų intervalas padidėtų pastumiant kertančią plokštumą vertikaliai žemyn. Šis pavyzdys iliustruojamas atvaizde 1.3 pav..



1.3 pav. Schematinis intensyvumo išskyrimo metodo aiškinimas.

Šis pavyzdys puikiai iliustruoja matinio apšvietimo kanalo metodą. Nukertamos viršūnės parodo, kurios atvaizdo dalys būtų pašalinamos iš vaizdo. Metodas šalina visas intervale esančias reikšmes, todėl yra tikimybė, jog naudojant srities išskyrimo funkciją, bus panaikinta daugiau sričių nei reikia. Norint išvengti visų sričių likvidavimo, galimi du variantai: panaudoti šabloną arba pritaikyti spalvų korekcijos funkciją. Pirmuoju atveju pritaikius šabloną, izoliuojamos atvaizdo vietos, kurios neturėtų būti paveiktos metodo. Spalvų pakeitimas suteikia galimybę koreguoti esantį vaizdą, taip pašalinant nereikalingas šviesias arba tamsias sritis. Atlikus vieną iš šių žingsnių, galima panaudoti srities išskyrimo pagal intensyvumą metodą, neprarandant dominančių vaizdo medžiagos sričių [6].

Vaizdo medžiaga koduojama *RGB* spalvų erdvėje. Norint turėti prieigą prie intensyvumo lygių, įvykdomas spalvoto vaizdo perskaičiavimas į monochromatinį. Šis procesas atliekamas dauginant kiekvieno spalvos kanalo reikšmę iš nustatytos konstantos. *R*, *G*, *B* atitinka spalvų vertes atvaizde intervale 0..255, padalintas iš 255.

$$Y_{FG} = 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B \quad (1.13)$$

Žemiau (1.4) pateikiama srities išskyrimo struktūra. Šios struktūros pagalba galima apžvelgti srities išskyrimo procesą keičiant slenkstines vertes.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{jeigu } Y_{FG} > Y_H, K = 1 = \text{tik fonas} \\ \text{jeigu } Y_{FG} < Y_L, K = 0 = \text{tik vaizdo medžiaga} \\ \text{jeigu } Y_H \geq Y_{FH} \geq Y_L, \quad K = \frac{Y_{FG} - Y_L}{Y_H - Y_L}, \text{atliekamas pašalinimas} \end{array} \right. \quad (1.14)$$

Srities išskyrimo metodas gali būti apskaičiuojamas nurodant dvi apšvietos reikšmes: Y_H ir Y_L . ($Y_H > Y_L$, kur Y_H – didžiausia apšvietos reikšmė, Y_L – mažiausia apšvietos reikšmė). Vaizdo medžiagos apšvietos lygiui Y_{FG} esant didesniai nei Y_H , pašalinamos; Y_{FG} reikšmės esančios žemiau Y_L , sudaro išliekantį atvaizdą, kuris nėra pašalinamas. Šis procesas atvaizduojamas 1.3 pav..

1.2.2. Spalvos išskyrimo metodas

Spalvos išskyrimo metodas yra kilęs iš vaizdo medžiagos apdorojimo technologijos. Vaizdo signalas skirstomas į intensyvumo (apšvietos), bei spalvų kanalus. Spalvinė vaizdo medžiagos dalis naudojama sukurti šabloną išskiriant atitinkamas sritis. Tokiu pačiu principu pasirinkta spalvos sritis yra išskiriama iš atvaizdo. [1]

Norint išskirti tam tikrą spalvą iš atvaizdo, šis procesas gali būti atliekamas panaudojant skirtingas spalvų erdves. Išskyrimo atlikimui *RGB* spalvų erdvėje ji išskaidoma į atskirus spalvų kanalus. Ši informacija leidžia apskaičiuoti atvaizde esantį intensyvumo lygį bei jį panaudojus atlikti žalios spalvos kanalo išskyrimą.

Iš *RGB* spalvų režimo atvaizdas konvertuojamas į *HSV* (*Hue* - atspalvis, *Saturation* - įsotinimas, *Value* – šviesumas). Spalvų išskyrimo metodui reikia atskirti spalvos įsotino lygius, o tai yra ne *RGB*, bet vienas iš *HSV* atributų. Parinkus pradinę dominuojančią *RGB* spalvą, pridėdami papildomi tonai, kuriuos norima išskirti. Dėl šios funkcijos spalvos išskyrimo metodas yra lankstus norint pašalinti ne tik vieną spalvą, bet ir jai artimus tonus. Atsižvelgiant į įsotino reikšmes, metodas leidžia izoliuoti platesnį atspalvių intervalą.

Atlikus spalvos erdvės perkodavimą iš *RGB* į *HSL*, gaunama prieiga prie spalvos atributo *H*. Jis panaudojamas atskirti pasirinktos spalvos turinį iš vaizdo medžiagos. Tarkime, jog *M* yra šablonas, kuris gaunamas nustačius spalvos tolerancijos reikšmę T_h į pasirinktą šalinamos spalvos *H* reikšmę H_{key} . Jei atvaizdo reikšmė H_{pixel} yra tolerancijos ribose, tuomet M_{pixel} reikšmė nustatoma į 1, kitu atveju – 0 [18].

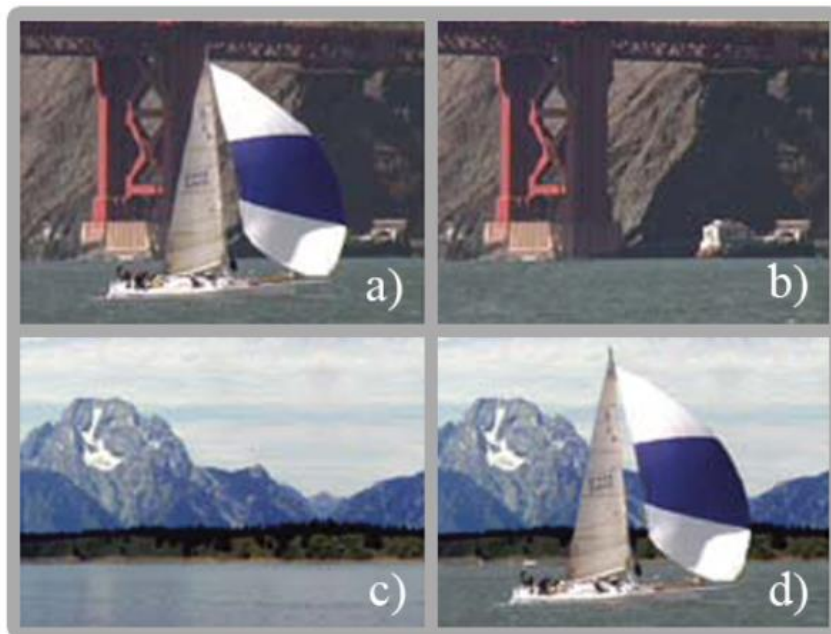
$$M = \begin{cases} 1, \text{ jei } (H_{key} - T_h) < H_{pixel} < (H_{key} + T_h) \\ 0, \text{ kitu atveju} \end{cases} \quad (1.15)$$

Apžvelgus šį metodą, galima paminėti, jog jis nėra aukštos kokybės srities išskyrimo būdas. Nors programinėse įrangose tokio pobūdžio metodai suteikia galimybę nustatyti suliejimą, kurio pagalba šablono kraštinės tampa ne visiškai nepermatomos, vėliau tenka sulieti, koreguoti bei naudoti kitus kraštinių apdorojimo būdus siekiant kokybiškesnio rezultato. Verta paminėti, jog spalvos išskyrimo metodo nepatartina naudoti šalinant mėlynos spalvos tonus. Kadangi sukuriamas aštrių kraštinių šablonas, iškyla problemų išskiriant mėlyną spalvą, pavyzdžiui, plaukų srityje. Siekiant kokybiškesnių rezultatų, galima naudoti kelis spalvos išskyrimo metodus skirtingiems atspalviams išskirti. Tokiu būdu kiekvienas metodas pašalina vis kitą spalvos diapazoną. Gautas rezultato šablonas padengia visas sritis, nesudaro prarastos informacijos sričių regionai.

1.2.3. Skirtuminio vaizdo metodas

Skirtuminio vaizdo metodas veikia kitaip nei prieš tai aptarti srities išskyrimo vaizdo medžiagoje metodai. Šis išskyrimo būdas nustato permatomas sritis atsižvelgiant į dviejų atvaizdų tarpusavio santykį. Vietoje pasirinktos spalvos išskyrimo, šis metodas šalina visą foninį vaizdą, atsižvelgiant į turimus kadrus. Pašalinamas atliekamas tuo atveju, jei aktyviųjų taškų spalvinės vertės sutampa [13].

Šio metodo principas yra rasti skirtumą tarp dviejų atvaizdų: norimo išskirti objekto bei atvaizdo be jo. Skirtuminio vaizdo metodas reikalauja dvejų filmavimų, kurių metu kamera turi būti išlaikoma tokiu pačiu rakursu abiejuose filmavimo etapuose. Pirmojo filmavimo metu turi būti atliktas objekto filmavimas fone, antrojo – įrašomas tik fono vaizdas. Statinės scenos atveju užtenka vieno fono kadro vaizdo, be joje esančio objekto. Dinaminio filmavimo atveju, reikia naudoti tokius įrankius kaip kameros sekimas, norint turėti vienodo rakurso vaizdo medžiagą. Be to, nepaisant pastangų suvienodinti foninę medžiagą, jos triukšmo lygiai skiriasi. Du skirtingi filmavimai negeneruoja identiškų aplinkos fizikinių savybių. Dėl šios priežasties skirtuminio vaizdo metodas naudojamas labai retai. 1.4 pav. pavaizduotas skirtumo šablono realizavimas.



1.4 pav. Skirtuminio vaizdo metodo veikimo principas: a – originalus kadras; b – originalaus kadro fonas; c – naujo kadro fonas; d – galutinė kompozicija.

Pirmiausia nufilmuojama pasirinkta scena su objektu. Tai padarius, antrame žingsnyje nufilmuojamas fonas be objekto. Šiuo atveju, scena be laivo. Suderinus pirmo ir antro filmavimo vaizdo medžiagą bei jai pritaikius skirtuminio vaizdo metodą, gaunamas objektas be fono. Šis išskirtas objektas gali būti panaudojamas kitoje kompozicijoje.

1.3. Išgautų vaizdo šablonų kraštinių tobulinimas

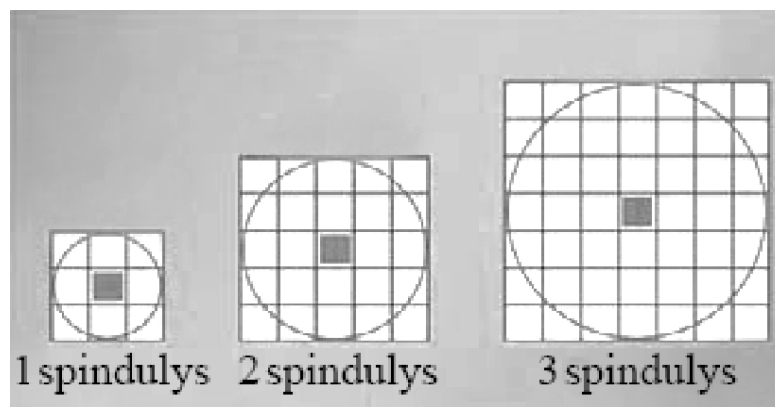
Atliekant srities išskyrimą vaizdo medžiagoje, svarbu išgauti kokybišką šablono kontūrą. Kiekvienas srities išskyrimo metodas turi įdiegtas kraštinių koregavimo funkcijas. Šių funkcijų pagalba galima realizuoti kraštinių suliejimą, šablono dengiamo paviršiaus ploto dydį. Tokiu būdu išgaunamas tikslesnis vaizdo medžiagos segmentas, kurio įkomponavimas naujoje aplinkoje sukuria kokybiškesnį rezultatą.

1.3.1. Kraštinių suliejimas

Siekiant kokybiškesnio šablono įkomponavimo į aplinką, patartina naudoti suliejimo metodus. Visų pirma, jų pagalba sumažinamas vaizdo medžiagoje esančio triukšmo kiekis, taip suteikiant galimybę išgauti šabloną prarandant mažiau detalumo. Srities išskyrimo metodai sukuria šablonus,

kurių kraštinės neatitinka tikrovės, yra pernelyg griežtos formos. Suliejimo metodų pritaikymas padeda išspręsti ar bent jau sumažinti šių veiksnių keliamas problemas [10].

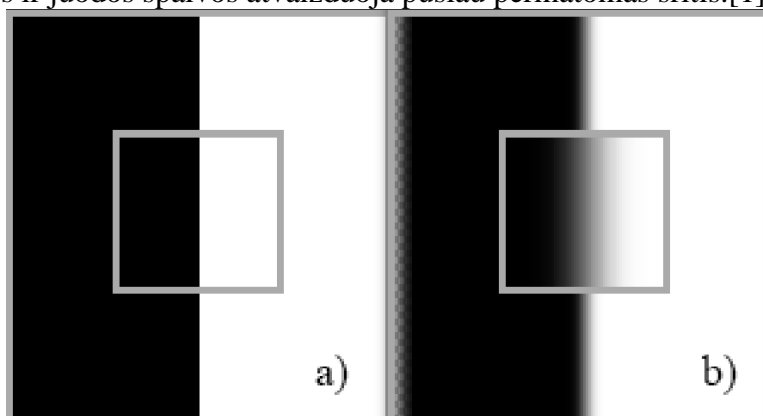
Suliejimo metodai taikomi tuomet, kai panaudojus srities išskyrimo funkcijas gaunamas šablonas be foninės vaizdo medžiagos. Suliejimo metodų pagalba kraštinės paverčiamos dalinai permatomas. Siekiant teisingai panaudoti suliejimo metodus, svarbu suprasti jų veikimo principą, kadangi per didelis suliejimo kiekis sumažina šablono kraštinių kokybę. Dažniausiu atveju šie metodai turi du parametrus: suliejimo spindulį bei suliejimo procentą. Vaizdo suliejimo metodai pakeičia kiekvieną aktyvųjį tašką aplink esančių taškų vidurkio reikšme. Pirmasis parametras, suliejimo spindulys, nurodo kokioje srityje turi būti ieškomi panašūs taškai. Pavyzdžiui: suliejimo spindulio reikšmę nustačius 3, metodas apžvelgia trijų taškų spindulio sritį aplink esamą tašką. Palyginus visus aktyviuosius taškus, jų vidurkio rezultatu pakeičiamas pradinis taškas. Tai yra bendras suliejimo metodų apibūdinimas. 1.5 pav. pateikiama šio pavyzdžio iliustracija.



1.5 pav. Suliejimo metodo spindulio parametras.

Didinant spindulio reikšmę, vidurkio paieškos reikšmių sritis atitinkamai padidėja. Vaizdo apdorojimo programose esančios funkcijos skiriasi savo paieškos bei suliejimo algoritmais, todėl pritaikant metodus reikėtų stebėti kokį rezultatą jie sukuria.

Procentinės metodo parametro reikšmės koregavimas veikia sumaišymo principu. Jis sukuria visiškai sulietą atvaizdą. Keičiant procentinę vertę, atliekamas originalios vaizdo medžiagos maišymas su sulietuoju vaizdu [7]. Tokiu būdu nustačius penkiasdešimties procentų vertę, gaunamas pusiau sulietas vaizdas. Išsiaiškinus bendrąjį suliejimo metodų principą, galima aptarti kokį rezultatą jie suteikia vaizdo medžiagos šablonams. Kuo didesnis suliejimo spindulys yra pasirenkamas, tuo daugiau šablono detalumo prarandama suliejant jo kraštines. Siekiant sumažinti filmo triukšmą bei suteikti šablonui tikslesnes kraštines, rekomenduojama pasirinkti nuo 0.5 iki 10 taškų spindulio suliejimą. 1.6 pav. pavaizduotas supaprastintas suliejimo metodo veikimo principas, pritaikius trijų taškų dydžio spindulį. Tokiu būdu apdorojus šablonus gaunamos šiek tiek sulietos kraštinės. Šį šabloną pritaikius vaizdo medžiagai, balta spalva tampa nepermatoma, juoda – pašalinama, o gradientas tarp baltos ir juodos spalvos atvaizduoja pusiau permatomas sritis.[1]

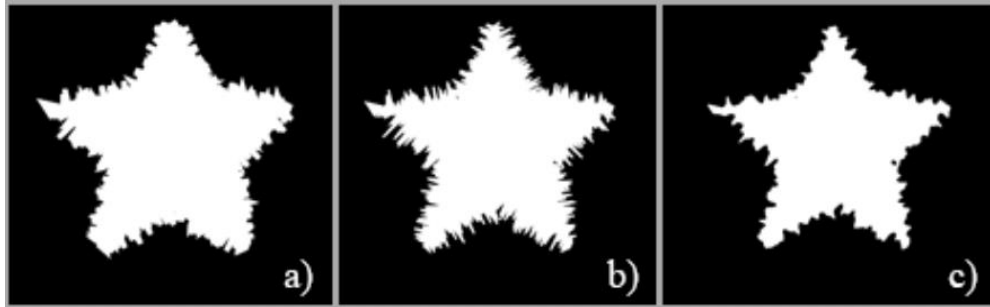


1.6 pav. Kraštinių suliejimas: a – nesulietos, lygaus kontūro šablono kraštinės; b – šablono kraštinės po suliejimo metodo pritaikymo.

1.3.2. Kraštinių korekcija

Dažnai pasitaiko atvejų, kuomet atlikus srities išskyrimą, šablono kraštinėse išlieka foninės medžiagos. Pritaikius suliejimo metodus šablono apimtys išsiplėčia, kadangi aštrioms kraštinėms pridedami aplink esantys sulieti taškai. Ši problema sprendžiama pritaikant kraštinių korekcijos metodus, taip sumažinant arba išplečiant jų paviršiaus plotą.

Vaizdo medžiagos komponavimo programose įdiegtos kraštinių korekcijos funkcijos tikrina visą šablono perimetrą. Priklausomai nuo pasirinkto parametro, jos suteikia galimybę pridėti papildomų taškų prie šablono arba juos pašalinti, taip sumažinant šablono plotą.[10] Šis veiksmas atliekamas panaudojant struktūrinius elementus. Dvejetainiame atvaizde analizuojama vienetų ir nulių seka. Ieškomas intensyvumų skirtumas, t.y. sritys, kuriose juodą spalvą pakeičia balta. Aptikus tokias atvaizdo vietas, atliekama pasirinkto dydžio korekcija objekto centro arba išorės link.



1.7 pav. Kraštinių korekcijos metodas.

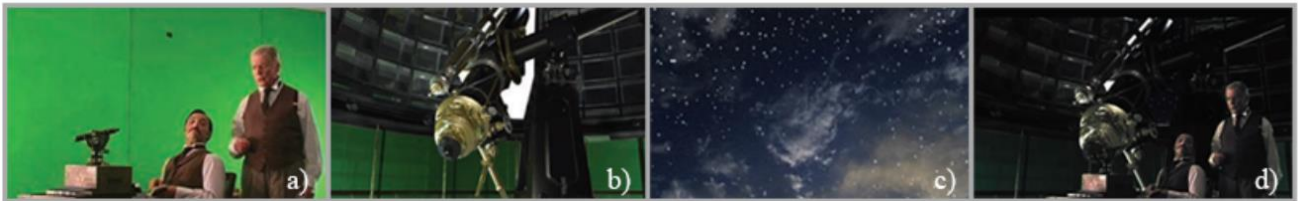
1.7 pav. matomas išskirto šablono paviršiaus ploto korekcijos procesas. Viduriniame paveiksle b) parodytas originalus šablono dydis. Šio kraštinės kraštinės pakoregavus dešimčia taškų į objekto išorę, gaunamas didesnis atvaizdas (a), kai tuo tarpu pastumtas tiek pat taškų į vidinę pusę, šablonas sumažėja (c). Nors kraštinių korekcijos metodas išlaiko briaunų formas, pritaikius dideles parametru reikšmes prarandamas šablono detalumas. Šabloną (a) pritaikius vaizdo medžiagai, gaunamas vaizdas su išskiriamos foninės medžiagos kraštinėmis. Kitaip tariant, pagal nurodytą reikšmė dvejetainiame formate saugomam šablonui atkuriamos išskirtos kraštinės. Šabloną pritaikius originaliai vaizdo medžiagai gaunamas objekto vaizdas, su foninės medžiagos riba. Vaizdo medžiagai pritaikius šabloną (c), objekto paviršiaus plotas sumažėja.

1.4. Srities išskyrimo metodų panaudojimas

Dabartiniame technologijų amžiuje tapo įprasta naudoti vaizdo komponavimo metodus kuriant bet kokio pobūdžio filmus. Panaudojimo sritys yra be galo plačios – galutinis produktas priklauso nuo turimų lėšų kiekio, laiko bei fantazijos. Pavyzdžiui, norint sukurti praėjusių laikų įvaizdį, pridėti arba pašalinti objektus ar atvaizduoti išpūdingas veiksmo scenas pasitelkiama vaizdo efektų kūrimo studijų pagalba. Šiose kompanijose dirba įvairių sričių vaizdo apdorojimo bei kūrimo specialistai. Sujungus jų turimus įgūdžius bei žinias į vieną komandą pasiekiami norimi rezultatai. 1.8 pav. pavaizduotas Kalifornijoje įsikūrusios vaizdo komponavimo studijos *CafeFX* vaizdo komponavimo eiga filme „John Walls“ bei 1.9 pav. *Pendragon Pictures* vienos scenos komponavimas filme „The War Of The Worlds.“



1.8 pav. Žaliojo fono panaudojimas kuriant filmą „John Adams“: a – pradinė scena su žaliuoju fonu; b – scena, kurioje bus atliekamas komponavimas; c – galutinis komponavimo rezultatas.



1.9 pav. Žaliojo fono panaudojimas kuriant filmą: a – veikėjai nufilmuojami prie žaliojo fono; b – nufilmuojama aplinka, pasitelkiant žaliąjį foną; c – komponuojamo dangaus nuotrauka; d – sukomponuotas galutinis rezultatas.



1.10 pav. Žaliojo fono panaudojimas kuriant filmą *The Great Gatsby*: a – pradinė scena su žaliuoju fonu; b – tarpinis komponavimo etapas; c – galutinis komponavimo rezultatas.



1.11 pav. Mėlynojo fono panaudojimas kuriant filmą *The Great Gatsby*: a – pradinė scena su mėlynu fonu; b – tarpinis komponavimo etapas; c – galutinis komponavimo rezultatas.

1.10 pav. ir 1.11 pav. pavaizduotos 2013 metais kurto filmo *The Great Gatsby* produkcijos kūrimo scenos. Vaizdo medžiagos komponavimas ir srities išskyrimas buvo atliktas *Red Wagon Productions* kompanijos. Kino industrijoje naudojamos srities išskyrimo sistemos, todėl jų teikiami rezultatai yra preciziškai kokybiški.

1.5. Tiriamosios dalies išvados

Atlikus tiriamosios dalies analizę apžvelgtos spalvų erdvės. *RGB* ir *HSV* matematinės spalvų erdvės yra dažniausiai panaudojamos srities išskyrimo metodų realizavime. Skaitmeniniai atvaizdai saugomi su *RGB* spalvų informacija, todėl jos panaudojimas yra elementarus. Konversija iš *RGB* į *HSV* naudojama siekiant palengvinti spalvinių komponentų prieigą apdorojimo metu. Šablonų korekcijos metodai leidžia atlikti išskirtų vaizdo objektų patobulinimą keičiant išskirto paviršiaus ploto dydį arba pritaikant šablono kraštinių suliejimą.

Srities intensyvumo, spalvos išskyrimo bei skirtuminio vaizdo metodai yra baziniai, todėl dažnu atveju jų panaudojimo nepakanka norint išgauti nepriekaištingą šabloną iš sudėtingos vaizdo medžiagos. Taip pat akivaizdu, jog kartu su programine įranga parduodami srities išskyrimo metodai yra prieinamiausi eiliniam vartotojui. Tokią tendenciją įtakoja kainų skirtumas. Toliau darbe bus realizuojamas srities išskyrimo metodas pagal spalvą ir atliekami šio metodo generuojamų rezultatų testavimai.

2. SRITIES IŠSKYRIMO METODŲ REALIZAVIMAS

Srities išskyrimą vaizdų sekoje galima atlikti realizavus skirtingus metodus. Atlikus analizę buvo nuspręsta realizuoti spalvos išskyrimo metodą panaudojant *RGB* ir *HSV* spalvų erdves. Skyriuje pristatomas pasirinktų srities išskyrimo vaizdų sekoje metodų realizavimo ir testavimo planas. Aprašomi pagrindiniai reikalavimai sprendimui, suformuliojami funkciniai ir nefunkciniai reikalavimai. Pristatomi įrankiai metodų realizavimui, pateikiamos principinės metodų veikimo schemas.

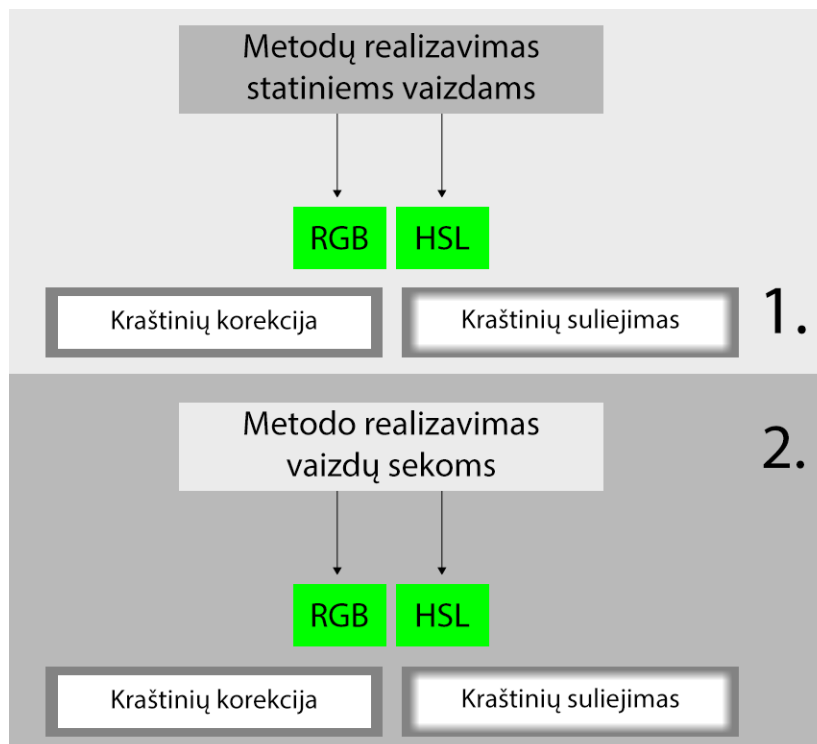
Atlikus realizaciją pateikiamas metodo testavimo planas. Pristatomi statistiniai parametrai, kurių pagalba atliekamas vaizdo medžiagos kokybės įvertinimas. Detaliai aprašomas testavimo duomenų rinkinių kūrimas. Skyriaus pabaigoje pateikiamos metodo realizavimo išvados ir testavimo plano rezultatai.

2.1. Bendrieji reikalavimai sprendimui

Šiame darbe kuriami metodai atlikti srities išskyrimą vaizdų sekoje. Vaizdo medžiagoje perduodamos informacijos kiekis yra nusakomas kadrais per sekundę. Pagal standartus[ŠALTINIS], per sekundę parodomi 24, 25 arba 30 kadrai. Kadangi srities išskyrimo metodai vaizdo medžiagą apdoroja kadras po kadro, būtų neefektyvu realizavimą pradėti nuo vaizdų sekos. Dėl šios priežasties pirminiai darbo reikalavimai išskaidomi į du etapus:

- a. Sukuriamos metodų versijos statiniams vaizdams;
- b. Sukuriami metodai vaizdų sekoms.

Principinė metodų realizavimo schema pateikiama 2.1 pav.. Statiniams vaizdams srities išskyrimas pagal spalvą sukuriamas pagal du spalvų erdvių modelius. Pagal intensyvumo išskyrimą realizuojami du metodai statiniams vaizdams. Atsižvelgiant į gautus rezultatus, metodai kuriami vaizdų sekoms. Visais atvejais metodų realizavimo metu galima pritaikyti kraštinių korekcijos arba suliejimo funkcijas. PAV vaizduojama kraštinių korekcija ir suliejimas atspindi jų veikimo principą. Atliekant korekciją, sumažinamas objekto paviršiaus plotas. Atliekant suliejimą, objekto kraštinės įgyja vidutines reikšmes. Aprašyti metodai realizuojami *MATLAB* programiniame pakete kaip funkcijos. Grafinė vartotojo sąsaja (angl. *GUI*) realizuojama nebuvo, kadangi šie metodai kuriami tik testavimo tikslais.



2.1 pav. Metodų realizavimo schema. 1 – statiniams vaizdams; 2 – vaizdų sekoms.

Aukščiau aprašyti reikalavimai yra abstraktūs ir nesuteikia užtektinai informacijos sprendimo projektavimo etapui. Dėl šios priežasties juos galima detalizuoti į funkcinius ir nefunkcinius reikalavimus.

2.2. Programinė įranga ir programavimo kalba

Sprendimų realizavimui pasirinkta *MATLAB* (iš žodžių *MATrix LABORatory*, iš angl. kalbos *MATricų LABORatorija*) daugiaplatformė programinė įranga. Sukurta kompanijos *MathWorks*, *MATLAB* leidžia atlikti matricų manipuliacijas, panaudoti bibliotekoje esančius realizuotus algoritmus ir metodus, grafiškai atvaizduoti funkcijų rezultatus. Nors pagrindinis šio programinio paketo panaudojimas yra skirtas atlikti skaitinius skaičiavimus, jame yra įdiegti papildomi įrankių rinkiniai, leidžiantys atlikti signalų analizę, simuliacijų animaciją, bei vaizdų apdorojimą [23].

MATLAB programinėje įrangoje naudojama specializuota *Matlab* programavimo kalba. Tai inžinerinės krypties programavimo kalba, kuri yra orientuota į vartotoją. Kintamieji inicijuojami automatiškai, nereikalingas programinių konstruktorių kūrimas. Lengvai realizuojamos tiesinės algebros operacijos ir kintamųjų objektų elementai. Rezultatų atvaizdavimui galima pasirinkti įvairias grafines diagramas. Dėl šių priežasčių metodų realizavimui buvo pasirinktas *MathWorks* programavimo paketas.

2.3. Funkciniai reikalavimai

Metodo suteikiamas funkcionalumas ir veiksmai apibūdinami funkciniais reikalavimais. Žemiau aprašomi metodo naudotojams suteikiami funkciniai sprendimai:

1. Įvesties failų pasirinkimas. Vartotojas programoje nurodo kompiuteryje išsaugotos vaizdo medžiagos fizinį adresą, kuriuo pasiekiami failai. Pirmas adresas atitinka foninę vaizdo medžiagą, kuri bus patalpinama po išskirtu objektu. Antras adresas atitinka vaizdo medžiagą, kurioje bus atliekamas fono šalinimas.
2. Kraštinių korekcijos nustatymas. Vartotojas programos kode gali įvesti skaičių, kuris nuorodo kiek aktyviųjų taškų nuo objekto kraštinių turi būti pašalinama. Tokiu būdu sumažinamas išskirto objekto paviršiaus plotas. Šios reikšmės vertę nustačius 0, paviršiaus plotas nėra mažinamas.
3. Šalinamo atspalvio intensyvumo nustatymas. Vartotojas programoje nurodo intensyvumo režius, pagal kuriuos atliekamas pašalinimas. Šią reikšmę galima nustatyti išanalizavus histogramos vertes. Didžiausią reikšmių kiekį histogramoje turintis regionas atitinka režius, kuriuos parinkus metodus atlieka šios spalvos srities išskyrimą.
4. Kraštinių suliejimo nustatymas. Vartotojas programoje nurodo, kokių spinduliu turi būti atliekamas kraštinių suliejimas. Pagal nustatytą reikšmę atliekamas išskirto šablono filtravimas, apskaičiuojant aktyviųjų taškų vidurkius nurodytu spinduliu.

2.4. Nefunkciniai reikalavimai

Sistemos ir joje naudojamų paslaugų ribojimai apibūdinami nefunkciniais reikalavimais. Žemiau aprašomi reikalavimai programoje naudojamiems įvesties ir išvesties failams.

1. Įvesties failo reikalavimai.
 - Statinių vaizdų apdorojimui naudojami standartiniai plėtiniai (*.jpeg*, *.png*, *.bmp*, *etc.*). Vaizdų sekoms parenkami du vaizdo medžiagos failai. *MATLAB* programinė įranga, priklausomai nuo operacinės sistemos platformos palaiko *.mpg*, *.mp4*, *.avi*, *.wmv*, *.mov* ir kitus standartinius vaizdo failų formatus.
 - Apdorojamoje vaizdų sekoje esantis objektas yra pilnai apšviestas, žalios spalvos fone. Galimi ir kitokie žalios spalvos intensyvumai, tačiau geriausi rezultatai gaunami tuomet, kada foninė medžiaga yra pilnai apšviesta.
 - Naudojama vaizdo medžiagos rezoliucija atitinka 960x540 aktyviųjų taškų dydį;
2. Išvesties failo reikalavimai. Vaizdų seka išsaugoma *.mp4* formatu, koduojama *h.264* koduote.
3. Resursų naudojimo reikalavimai. Programos vykdymui privaloma kompiuteryje įdiegti *MATLAB* programinį paketą. Jo techninės įrangos specifikacija aprašoma lentelėje 2.2.

2.1 lentelė. Techninės ir programinės įrangos reikalavimai *MATLAB* programiniam paketui [23].

Operacinės sistemos platforma	Operacinė sistema	Procesoriaus resursai	Disko talpa	Operatyvioji atmintis	Vaizdo plokštė
<i>Windows</i>	Nuo Windows Server 2003 R2 Service Pack 2 Windows 8.1	Bet kuris <i>Intel</i> arba <i>AMD x86</i> procesorius, palaikantis <i>SSE2</i>	1 GB instaliuojant tik <i>MATLAB</i> 3-4 GB instaliuojant pilną programinį paketą	2 GB	Rekomenduojama vaizdo plokštė palaikanti <i>OpenGL 3.3</i> su 1 GB <i>GPU</i> atminties
<i>Linux</i>	Ubuntu 14.04 LTS and 14.10 Red Hat Enterprise Linux 6 and 7 SUSE Linux Enterprise Desktop 11.3+ Debian 7.x				
<i>Mac</i>	Mac OS X 10.10 (Yosemite) Mac OS X 10.9.5 (Mavericks)				

2.5. Metodo realizavimas statiniams vaizdams

Vaizdų seka – tai kiekvieną sekundės dalį besikeičiančių kadro rinkinys. Tokiai vaizdo medžiagai pritaikius srities išskyrimo metodą, jo realizavimo laikas būtų žymiai ilgesnis negu vieno statinio kadro. Dėl šios priežasties pirmuoju etapu metodai kuriami statiniams vaizdams. Kuomet metodo veikimas generuoja laukiamus rezultatus, jį galima panaudoti realizuojant vaizdų sekos apdorojimo funkciją. Visi darbe kuriami metodai statiniams vaizdams realizuojami pagal tokį veiksmų planą:

1. Sukuriama srities išskyrimo funkcija;
2. Sukuriama/pritaikoma paviršiaus ploto sumažinimo funkcija;
3. Sukuriama/pritaikoma kraštinių suliejimo funkcija.

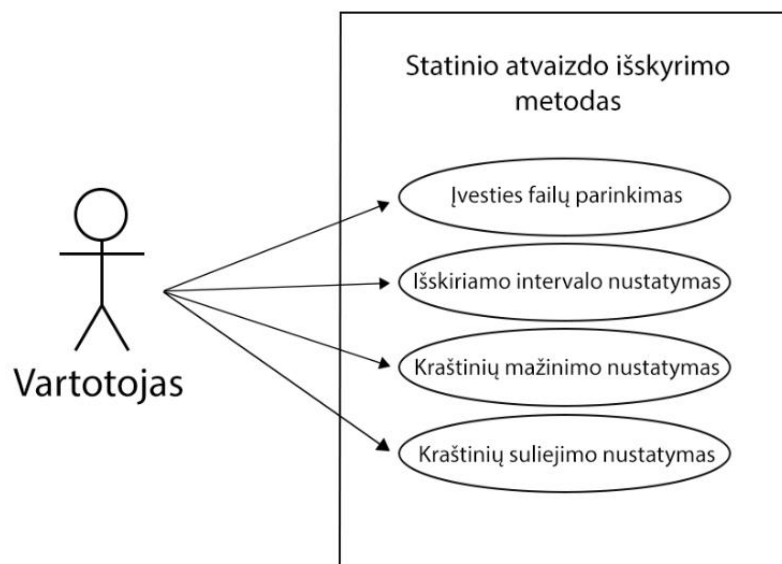
Šiame darbe orientuojamasi į srities išskyrimą panaudojant skirtingas matematinių spalvų erdves. Dėl šios priežasties kitos funkcijos yra tik pagalbinės, padedančios išgauti galutinį rezultatą. Ploto sumažinimo ir kraštinių suliejimo funkcijos realizuojamos tik pirmuoju atveju. Kitų metodų kūrimui atkartojama pirminė realizacija.

2.5.1. Panaudos atvejų diagrama

Visiems srities išskyrimo metodams galima pritaikyti tokį patį panaudos principą. Jis pateikiamas 2.2 pav.. Vartotojas turi galimybę įtakoti metodo veikimą keturiais žingsniais:

1. Įvesties failų parinkimo metu vartotojas nurodo fizinius adresus kompiuterio atmintyje, nurodančius į du atvaizdus. Reikalavimai jiems yra neriboti. Tinka bet kokio dydžio ir formato, atsižvelgiant į lentelėje 2.2 pateikiamus reikalavimus statiniams vaizdams.

2. Išskiriamo intervalo nustatyme, atitinkamai pagal spalvų erdvės panaudojimą, vartotojas parenka intervalą išskyrimui. Atvaizde esančios spalvų reikšmės iki nustatytos išskyrimo ribos išlieka. Viršijančios slenkstinę ribą yra pašalinamos.
3. Vartotojas gali nurodyti aktyviųjų taškų kiekį, kuris būtų pašalinamas aplink išskirto objekto kraštines. Tokiu būdu išskirto objekto paviršiaus plotas sumažėja atitinkamai pagal aktyviųjų taškų kiekio nustatymą.
4. Vartotojas gali nurodyti suliejimo nustatymą. Ši funkcija atlieka išskirto šablono filtravimą pritaikant suliejimo skaičiavimus.



2.2 pav. Statinio vaizdo išskyrimo metodo panaudos diagrama.

Pagrindinis skirtumas tarp realizuojamų metodų yra išskiriamo intervalo nustatyme. Skirtingi skaičiavimai konvertuojant spalvų erdves įtakoja ne vienodus vartotojo nustatymų parinkimus šios funkcijos realizavimui. Optimaliausio rezultato ieškojimas yra iteracinis procesas, kurio metu vartotojui gali prireikti metodą realizuoti kelis kartus, siekiant nustatyti tinkamiausias nustatymų vertes. Rezultatai pasirinktinai vaizduojami kompiuterio ekrane [12].

Metodo veikimo principas statiniam atvaizdai pateikiamas supaprastinta struktūra:

1. Atvaizdo nuskaitymas:
 - Parenkamas statinis atvaizdas srities išskyrimui;
 - Parenkamas statinis atvaizdas fonui.
2. Apdorojimo nustatymų parinkimas:
 - Išskiriamos srities intervalo reikšmė;
 - Kraštinių korekcijos aktyviųjų taškų reikšmė;
 - Kraštinių suliejimo reikšmė.
3. Atvaizdo dydžio apskaičiavimas:
 - Apskaičiuojamas išskiriamame atvaizde esančių aktyviųjų taškų skaičius;
 - Apskaičiuojamas foniniame atvaizde esančių aktyviųjų taškų skaičius;
 - Atliekamas abiejų atvaizdų aktyviųjų taškų eilučių ir stulpelių skaičių palyginimas. Jei jie skiriasi, atliekamas suvienodinimas.
4. Atliekami veiksmai su spalvų edvėmis, atitinkamai pagal koduotę.
5. Atliekamas kraštinių apdorojimas:
 - Pagal nustatytą aktyviųjų taškų kiekį atliekama kraštinių korekcija;
 - Pagal nustatytą reikšmę atliekamas išskirto objekto kraštinių suliejimas.
6. Gaunamas atvaizdas po apdorojimo:
 - Kiekvienam spalvų kanalui pritaikomi 4 ir 5 etapuose sukurti šablonai;
 - Rezultatas atvaizduojamas kompiuterio ekrane.

Tolimesniuose poskyriuose bus pristatomi srities išskyrimo funkcijos pagal skirtingus spalvų kodavimus. Taip pat, detaliau aptariami darbe panaudoti kraštinių apdorojimo metodai – korekcija ir suliejimas.

2.5.2. Srities išskyrimas pagal spalvą panaudojant RGB spalvų kodavimą

Vaizdo medžiaga kompiuteriuose saugoma ir vaizduojama *RGB* spalvų koduote. Dėl šios priežasties *RGB* spalvų panaudojimas vaizdo apdorojime nereikalauja papildomų perkodavimų. Srities išskyrimas pagal spalvą gali būti realizuojamas įvairiais būdais, tačiau visi iš jų reikalauja *RGB* spalvų komponentų išskyrimo. Įvykdžius šį žingsnį, galima atlikti veiksmus su atskirais spalvų kanalais.

Srities išskyrimą pagal spalvą panaudojant *RGB* spalvų kodavimą galima išskirti į penkias dalis:

1. Komponentų išskyrimas;
2. Atvaizdo intensyvumo apskaičiavimas;
3. Intensyvumo išskyrimas iš žalios spalvos kanalo;
4. Slenkstinių reikšmių nustatymas;
5. Šablono sukūrimas.

Pagrindinė priežastis, dėl kurios metodų realizavimui buvo pasirinktas *MATLAB* programavimo paketas – supaprastinta veiksmų seka su duomenimis. Vos trijų programinio kodo eilučių užtenka išskirti atskirus spalvos komponentus. Be to, duomenims galima atlikti esmines matematinės operacijas. *RGB* spalvų kanalų komponentai išskiriami tokia veiksmų seka:

```
FGR = FG(:, :, 1); //Išskiriamas raudonas spalvos kanalas
FGG = FG(:, :, 2); //Išskiriamas žalias spalvos kanalas
FGB = FG(:, :, 3); //Išskiriamas mėlynas spalvos kanalas
```

Kitas veiksmas šiame procese yra apskaičiuoti atvaizdo intensyvumo reikšmes, panaudojant gautus spalvų komponentus. Tai atliekama pritaikant FORMULĘ.

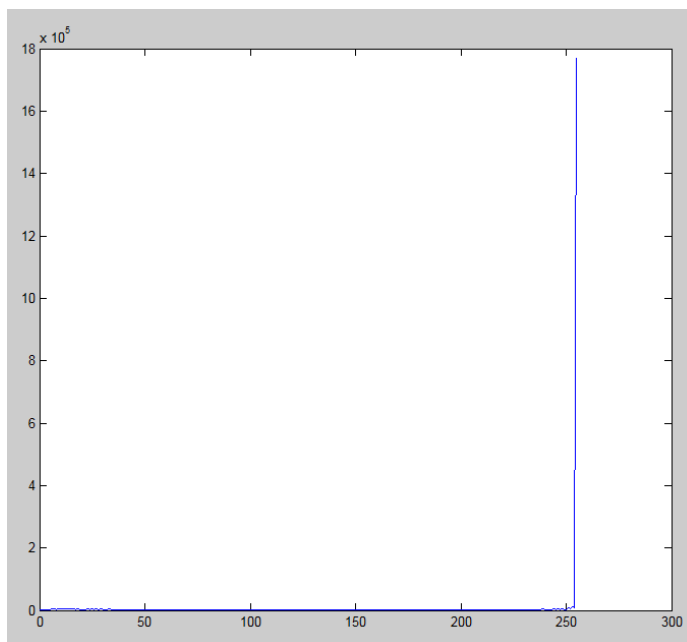
```
FGY = 0.299*FGR+0.587*FGG+0.112*FGB;
//Atvaizdo intensyvumo apskaičiavimo formulė
```

Išskyrus spalvų komponentus ir apskaičiavus intensyvumą, reikia apskaičiuoti žalio kanalo skirtumą. Šis veiksmas atliekamas tam, jog būtų išskiriami aktyvieji taškai, turintys žalios spalvos komponento. Tokiu būdu gaunamas šablonas, turintis tik žalius aktyvius taškus. Žalios spalvos kanalo skirtumas apskaičiuojamas atlikus atimties veiksmą:

```
FGG_Y=mat2gray(FGG-FGY);
//Žalios spalvos skirtumo apskaičiavimas
```

Gautas žalios spalvos skirtumo kintamasis leidžia nustatyti ribas intervale 0..255, kuriose žalios spalvos aktyviųjų taškų yra daugiausiai.

```
plot((0:255), hist(FGG_Y(:), 256));
//Reikšmių atvaizdavimas histograma
```



2.3 pav. Spalvų pasiskirstymą atvaizde vizualizuojanti histograma.

Atsižvelgiant į gautą histogramą, 2.3 pav.2.5 pav., nustatomos slenkstinės reikšmės, kurių pagalba būtų sukuriamas išskiriantis šablonas.

```
thres1 = 200/255; // Slenkstinės reikšmės nustatymas
mask1 = FGG_Y < thres1; //Šablono sukūrimas
```

Gautas šablonas pritaikomas kiekvienam iš atvaizdo kanalų, atliekant daugybą. Išskirtas objektas dauginamas iš originalaus šablono, o foninė medžiaga iš invertuotos šablono versijos. Tokiu būdu gaunamas galutinis atvaizdas.

```
final(:, :, 1) = FG(:, :, 1) .* mask1 + BG(:, :, 1) .* (1 - mask1);
final(:, :, 2) = FG(:, :, 2) .* mask1 + BG(:, :, 2) .* (1 - mask1);
final(:, :, 3) = FG(:, :, 3) .* mask1 + BG(:, :, 3) .* (1 - mask1);
```

Šis šablono pritaikymo principas išlieka visuose metoduose.

2.5.3. Srities išskyrimas pagal spalvą panaudojant *HSV* spalvų kodavimą

Skirtingai nuo *RGB*, *HSV* nėra spalvų koduotė, kuri būtų naudojama išsaugant skaitmeninį atvaizdą. Ši spalvų erdvė buvo sukurta siekiant supaprastinti spalvų, intensyvumo ir apšvietos komponentų apdorojimą. Spalvų erdvių perskaičiavimas į *HSV* leidžia lengviau pasiekti kiekvieną iš įvardintų komponentų. Srities išskyrimas pagal spalvą panaudojant *HSV* spalvų kodavimą gali būti realizuojamas keturiais žingsniais:

1. *RGB* spalvų erdvės perskaičiavimas į *HSV*;
2. *HSV* komponentų išskyrimas;
3. Išskiriamos žalios spalvos intervalo nustatymas;
4. Šablono sukūrimas.

Pirmuoju žingsniu atliekamas spalvų erdvės perskaičiavimas. Tai galima atlikti panaudojant pirmame skyriuje 1.1.2 aptartas formules arba *MATLAB* programiniame pakete įdiegta perskaičiavimo funkcija. Šiuo atveju, pritaikomas *rgb2hsv()* metodas.

```
FG_hsv = rgb2hsv(FG);
//Perskaičiuojama spalvų erdvė
```

Gautas rezultatas – kintamasis *FG_hsv*, kuriame išsaugoma spalvos (angl. *hue*, *H*), apšvietos (angl. *saturation*, *S*) ir intensyvumo (angl. *value*, *V*) reikšmės. Šiuo atveju bus reikalingas tik spalvinis komponentas *FGH*.

```

FGH = FG_hsv(:, :, 1);
//Išskiriamas atskiras kintamasis spalvos komponentui

```

Šiuo veiksmu išgaunamos spalvinės atvaizdo reikšmės, kurios kinta intervale 0..1. *HSV* spalvų erdvėje spalvinė informacija išreiškiama 360° pasiskirstymu. Pilnai apšviestos žalios spalvos reikšmės yra ties 120°. Dėl šios priežasties, apskaičiuojama žalios spalvos vertė.

```

green_h = 120/360;
//Pilnai apšviestos žalios spalvos vertės apskaičiavimas

```

Apskaičiavus šią vertę sukuriamas šablonas. Iš spalvinio komponento atėmus žalios spalvos vertes, gaunamas atvaizdas be žalios spalvos komponento. Panaudojant *MATLAB* įdiegtą funkciją, pritaikomas šablono invertavimas.

```

mask1 = imcomplement(abs(FGH-green_h)<=.05);
//Šablono sukūrimas

```

Gautas šablonas pritaikomas kiekvienam iš atvaizdo kanalų, atliekant daugybą. Išskirtas objektas dauginamas iš originalaus šablono, o foninė medžiaga iš invertuotos šablono versijos. Tokiu būdu gaunamas galutinis atvaizdas.

```

final(:, :, 1)=FG(:, :, 1).*mask1 + BG(:, :, 1).(1-mask1);
final(:, :, 2)=FG(:, :, 2).*mask1 + BG(:, :, 2).(1-mask1);
final(:, :, 3)=FG(:, :, 3).*mask1 + BG(:, :, 3).(1-mask1);

```

2.5.4. Išskirto objekto paviršiaus ploto sumažinimas

Objekto paviršiaus ploto sumažinimas – tai aktyviųjų taškų pašalinimas nuo objekto kraštinių. Tokiu būdu sumažėja objekto užimamas paviršiaus plotas. Šio funkcionalumo realizavimui galima pritaikyti dviejų tipų šalinimą:

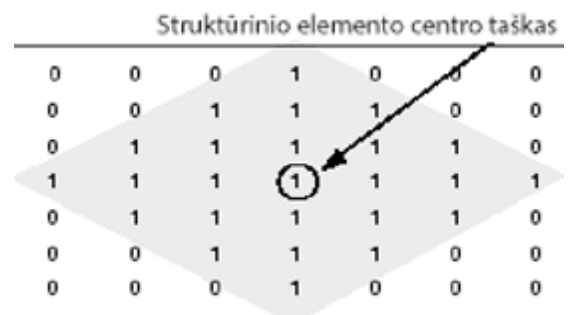
1. Panaudojant *MATLAB* įdiegtą funkciją *imerode()*;
2. Korekcija tikrinant visą objekto perimetrą.

MATLAB programinėje įrangoje pateikiamas platus spektras metodų, galinčių ardyti atvaizdo kraštines. Šis veiksmas atliekamas funkcija *imerode(IM, SE)*, kur *IM* – dvejetainis arba monochromatinis atvaizdas, o *SE* – *MATLAB* programinio paketo funkcijos *strel()* struktūrinis elementas, naudojamas atvaizdo tyrimui atlikti. Matematiškai, struktūrinis elementas yra matrica, sudaryta iš 0 ir 1. Ši matrica gali būti bet kokio dydžio ir formos, priklausomai nuo struktūrinio elemento tipo.

Dvimačiai struktūriniai elementai yra žymiai mažesni nei apdorojamas atvaizdas. Centre esantis aktyvusis struktūrinio elemento taškas atitinka apdorojamą pikselį. Taškai, turintys vienetines reikšmes aplink centrinį tašką, formuoja struktūrinio elemento apdorojamą plotą. 2.4 pav. pavaizduotas *deimanto tipo* (angl. *diamond*) struktūrinis elementas, kurio reikšmė lygi 3 [11]. *MATLAB* pakete yra realizuota dvylika skirtingų tipų struktūrinių elementų. Jie aprašomi funkcija *strel(shape, parameters)*, kur:

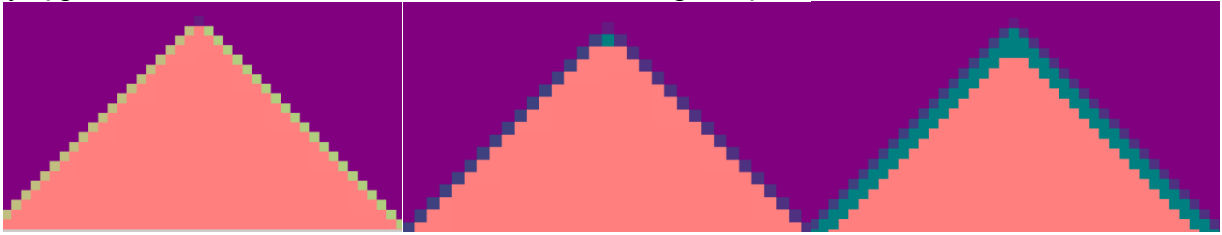
- *strel()* – struktūrinio elemento formavimas;
- *shape* – struktūrinio elemento forma;
- *parameters* – struktūrinio elemento parametrai.

Kiekvienas struktūrinis elementas aprašomas formai būdingais parametrais: aukščiu, pločiu, kampu, spinduliu, ilgiu. Šiame testavime naudojamas *diamond* tipo struktūrinis elementas. Jis pritaikomas *Imerode()* funkcijos realizavime. 2.5 pav. pateikti atvaizdai, kai *diamond* struktūrinis



2.4 pav. *Diamond(3)* tipo struktūrinis elementas.

elementas pritaikomas keliomis reikšmėmis. Išskirto objekto paviršiaus ploto sumažinimas suteikia galimybę pašalinti kraštines, kuriose išliko fono srities atspalvių.



2.5 pav. Struktūrinio elemento *diamond* panaudojimas *imerode()* funkcijoje, reikšmės 1,2 ir 3.

Be šių *MATLAB* funkcijų panaudojimo, darbe realizuojamas skenuojantis kraštinių korekcijos metodas [13]. Tokios pačios užduoties įgyvendinimas atliekamas tikrinant kiekvieną objekto kraštinės tašką. Žemiau pateikiamas metodo realizavimo ir veikimo planas.

1. Funkcijos parametrais perduodamas dvejetainis atvaizdas ir reikšmė, kuri nurodo nuo objekto kraštinių pašalinamų aktyviųjų taškų kiekį.
2. Panaudojant dvejetainį atvaizdą sukuriama naujas kintamasis, kuriame bus saugojama apdoroto atvaizdo reikšmės.
3. Apskaičiuojamas dvejetainio atvaizdo dydis, x ir y ašyse.
4. Atliekama horizontalioji korekcija:
 - Panaudojant atvaizdo dydžio reikšmes inicijuojamas ciklas cikle, kurio metu atliekamas atvaizdo elementų tikrinimas;
 - Jei sutinkamas taškas lygus 1, kurio gretima reikšmė lygi 0, atliekamas reikšmių tikrinimas ir/arba priskyrimas pagal nurodytą įvesties reikšmę.
5. Tokiu pačiu principu atliekama vertikalioji korekcija.
6. Įvykdžius korekcijas, funkcija grąžina naujai sukurtą dvejetainį atvaizdą.

Realizavus šį metodą, sukuriama galimybė generuojamus rezultatus palyginti su *MATLAB* kraštinių ardymo metodų rezultatais. Tokiu būdu galima objektyviai įvertinti programinėje įrangoje įdiegtų metodų veikimo kokybę.

2.5.5. Išskirto objekto kraštinių suliejimas

Spalvos išskyrimo metoduose taip pat naudojamas kraštinių suliejimas. Atlikus išskyrimą, kraštinės tampa netolygios, todėl suliejimas suteikia galimybę atlikti kraštinių vidurkio radimą. Šioje realizacijoje naudojami *MATLAB* įdiegti filtravimo metodai. Programiniame pakete pagal skirtingus parametrus galima atlikti šešis filtravimo variantus. Funkcijos $H=fspecial(1,2)$ pagalba sukuriama filtras. Šios funkcijos pirmuoju parametru perduodamas filtravimo tipas (*average*, *disk*, *gaussian*, *laplacian*, *log*, *motion*). Antrasis parametras perduoda kiekvienam tipui būdingas filtravimo reikšmes. Sukurtas filtras H pritaikomas atvaizdui panaudojant filtravimo funkciją *imfilter()* [12].

Šiame darbe naudojamas *fspecial('motion', len, theta)* suliejimo filtras. Toks pasirinkimas grindžiamas tuo, jog $theta$ reikšmė leidžia pasirinkti kokiu kampu prieš laikrodžio rodyklę atliekama suliejimo funkcija. Tai aktualu, nes testinių rinkinių kūrimo metu šis kampas buvo parinktas -90° . Suliejimas leis iš dalies atkurti originalų vaizdo suliejimą, po apdorojimo. Funkcijos parametras *len* nurodo suliejimo kiekį.

Suliejimas atliekamas ne tik kraštinėms, tačiau visam išskirto objekto šablonui. Žemiau aprašoma veiksmų eiga, atliekant kraštinių suliejimą:

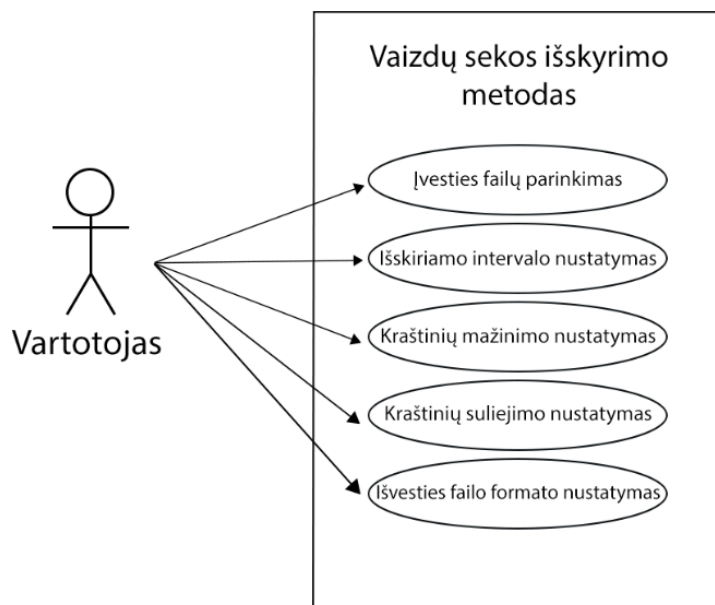
1. Nustatomas *fspecial()* metodas *motion* ir parenkami suliejimo bei suliejimo kampo parametrai.
2. Atliekamas dvejetainio šablono konvertavimas į slenkančio taško formatą.
3. Atliekamas šablono filtravimas sugeneruotu filtru *imfilter()*;
4. Gautas rezultatas priskiriamas naujam kintamajam.

Atlikus spalvos išskyrimą, objekto duomenų tipas yra dvejetainis – išskirtas plotas atitinka 1 (balta spalva), o panaikintas – 0 (juoda spalva). Kitaip tariant, gaunamas juodos ir baltos spalvos atvaizdas. Antrame žingsnyje šis dvejetainis atvaizdas konvertuojamas į slenkančio taško formatą. Šis veiksmas atliekamas tam, jog pritaikius filtrą būtų galima apskaičiuoti tarpines reikšmes tarp 0 ir

1. Nors suliejimo metodas taikomas visam šablono, suliejimas matomas tik kraštinių ribose. Apskaičiuojamos išskirto balto šablono ir jį apibrėžiančio juodo fono reikšmės atitinka suliejimo dydį.

2.6. Metodo realizavimas vaizdų sekoms

Igyvendinus pirminius srities išskyrimo metodus statiniams vaizdams jų funkcijos pritaikomos apdorojant vaizdų sekas. Vartotojo veiksmai išlieka beveik identiškai kaip ir statinių vaizdų apdorojime. Papildomas vartotojo veiksmas reikalingas parenkant išvesties failo formato nustatymus: koduotę, konteinerį, rezultatų failo pavadinimą. Panaudos atvejų vaizdų sekoms diagrama atvaizduojama 2.6 pav..



2.6 pav. Srities išskyrimo panaudos atvejų diagrama vaizdų sekoms.

Paveiksle PAV schemos detalesnis nagrinėjimas pateikiamas supaprastinta struktūra. Metodo realizaciją vaizdų sekoms galima išskaidyti į šešias dalis:

1. Vaizdo medžiagos nuskaitymas:
 - Parenkama vaizdo medžiaga srities išskyrimui;
 - Parenkama vaizdo medžiaga fonui.
2. Apdorojimo nustatymų parinkimas:
 - Išskiriamos srities intervalo reikšmė;
 - Kraštinių korekcijos aktyviųjų taškų reikšmė;
 - Kraštinių suliejimo reikšmė.
3. Vaizdo kadro įvesties medžiagoje apskaičiavimas:
 - Apskaičiuojamas vaizdo kadro skaičius išskiriamoje medžiagoje;
 - Apskaičiuojamas vaizdo kadro skaičius foninėje medžiagoje (jei pirmame žingsnyje buvo pasirinkta vaizdo medžiaga, o ne statinis kadras);
 - Atliekamas kadro skaičiaus palyginimas. Parenkamas mažesnis iš dviejų.
4. Išvesties failo objekto sukūrimas:
 - Nustatomas failo pavadinimas, formatas ir koduotė;
 - Nustatomas kadro skaičius per sekundę. Šis veiksmas atliekamas pagal įvesties failą aprašytą pirmame punkte;
 - Nustatoma išvesties failo suspaudimo kokybė;
 - Išvesties failas atidaromas įrašymui.
5. Srities išskyrimo procesas:
 - Ekrane parodomas laukimo langas. Jis vaizduoja kadro apdorojimo progresą;
 - Pradedamas ciklas, kurio metu formuojamas srities išskyrimas ir išvesties failas

- i. Nuskaitomas pirmoje skiltyje aprašytas išskiriamos vaizdo medžiagos kadras;
- ii. Nuskaitomas pirmoje skiltyje aprašytas foninės vaizdo medžiagos kadras;
- iii. Atliekamas srities išskyrimas panaudojant kadru informaciją ir antrame žingsnyje nustatytas reikšmės;
- iv. Apdorotas atvaizdas paverčiamas kadru;
- v. Kadras įrašomas į vaizdo medžiagos objektą.

6. Metodo realizavimas baigiamas, uždaromas vaizdo medžiagos objektas.

Ši veiksmų seka pritaikoma visiems metodams. Juose skiriasi tik 5 žingsnis, kuriame realizuojamas srities išskyrimas pagal spalvų erdves.

2.7. Sprendimo testavimo planas

Sukurtų metodų rezultatų palyginimams reikalingas testavimo planas, kuriuo remiantis būtų galima įverti metodų veikimą. Be to, testavimo metu atskleidžiami metodų veikimo minusai ir rezultatų kokybę apsunkinančios situacijos.

Testavimo atvejai:

1. Sukuriama vaizdo sekų animacija – vienspalviame fone juda geometrinės figūros. Šiai vaizdo medžiagai pritaikomas metodas, stebimi gaunami rezultatai;
2. Metodas panaudojamas kompiuteriniu būdu sukurtu grafinio objekto animacijos išskyrimui iš žalio fono.

Realizuoto metodo testavimą galima išskaidyti į du etapus: apdorojama bazinė vaizdo medžiaga, apdorojama bazinė vaizdo medžiaga su pridėtinu triukšmu[šaltinis].

Pirmuoju atveju sukuriama testavimo medžiaga, kurios parametrai bei kokybė gali būti identifikuojami objektyviai. Atvaizde esantys objektai - lengvai atpažįstamos, kompiuteriniu būdu sugeneruotos geometrinės formos: apskritimai, stačiakampiai gretasieniai. Tokiu būdu galima objektyviai įvertinti tiek pradinę, tiek po apdorojimo gautą medžiagą. Išlaikyta objektų geometrinė forma, kraštinių vientisumas bei identiškumas pradinei vaizdų stadijai leidžia įvertinti metodo veikimo kokybę idealiu simuliuojamu atveju.

Antruoju atveju naudojama pirmame etape sukurta vaizdinė medžiaga, jai pridėdant papildomo triukšmo. Papildomą triukšmą gali sudaryti automatiškai generuojamas filmo juostos triukšmas (angl. *film grain* arba *noise*), objektų judesio metu atsirandantis suliejimas ar kompiuteriu sukuriamas šešėlio ir jo suliejimo pridėjimas. Šie triukšmo efektai vaizdinėje medžiagoje apsunkina metodų rezultatų kokybę, kadangi šiuo atveju prarandamas aktyviaisiais taškais apibrėžiamų kraštinių vientisumas. Žmogui aiškiai suvokiamos objektų kraštinės tampa iššūkiu skaitmeniniame apdorojime - jų spalvinės reikšmės pasiskirsto platesniame intervale. Papildomi triukšmo efektai padidina kraštinių suliejimą su fonine spalva, todėl objektų išskyrimas pasidaro sudėtingesnis.

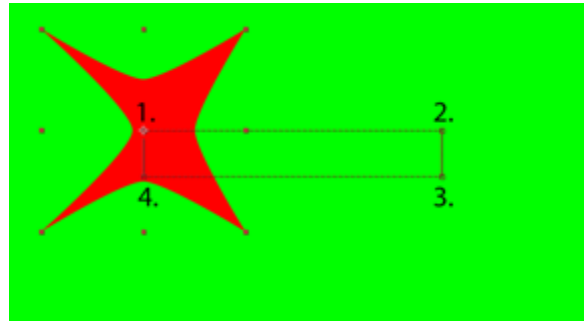
Trečiuoju atveju metodai realizuojami panaudojant realaus pasaulio vaizdinę medžiagą. Tai gali būti prie žalio arba mėlyno fono nufilmuota vaizdinė medžiaga, kurios pirmajame plane matomas realus objektas. Šiuo atveju skaitmeninis apdorojimas yra sudėtingiausias. Atvaizduojamas objektas yra sudėtingos formos, be to, filmuojant pasireiškia tiek skaitmeninis triukšmas, tiek judesio metu atsirandantis suliejimas.

Objekto testavimas dviem etapais leidžia nustatyti, ar realizuotas metodas yra tinkamas realaus pasaulio vaizdo medžiagos apdorojimui. Jei kažkuriame iš etapų nustatoma, jog metodas generuoja klaidingus ir nepakankamus rezultatus, metodas tobulinamas, kol to etapo rezultatai tenkina lūkesčius. Tokiu atveju galima pereiti prie tolimesnio etapo testavimo.

Sukurtų metodų testavimui reikalinga vaizdo medžiaga, kuri leistų patikrinti metodo veikimą įvairiomis sąlygomis. Pagrindiniu iššūkiu srities išskyrimo tampa foninės medžiagos netolygumas. Šią problemą galima sukurti įvairiais atvejais, todėl žemiau aprašomi planuojami realizuoti testavimo medžiagos atvejai.

2.8. Kompiuteriu sugeneruota geometrinės formos animacija

Testavimas atliekamas su kompiuteriu sugeneruota geometrinės formos vaizdo medžiaga. Statiniams vaizdams naudojamas vienas kadras, o vaizdų sekoms – judančio objekto animacija. Metodo tikslas – išskirti objektą iš aplink jį esančio vienos spalvos fono. Testavimo atvejams pasirinktas statinis fonas. Jis pagal *RGB* spalvų paletę atitinka pilnai apšviestos žalios spalvos toną, kurio *RGB* reikšmės yra *R-0, G-255, B-0*. Skaitmeninės geometrinės formos animacijos kūrimui naudojama programinė įranga *Adobe After Effects CC 2016*⁶. Viena iš šio paketo suteikiamų galimybių yra sukurti ir eksportuoti judančių objektų animacijas laike. Sukurtos animacijos informacija pateikiama lentelėje 2.2.



2.7 pav. Animacijos judėjimo schema.

2.2 lentelė. Sukurtos testinės animacijos specifikacija.

Aprašymas	Specifikacija
Rezoliucija	960x540 aktyviųjų taškų
Kadrių skaičius per sekundę	25 kadrai/s
Išvesties failo formatas	.mp4 su h.264 koduote
Trukmė	8s
Bitų kiekis vienam spalvos kanalui	8bpc
Aktyviųjų taškų kraštinių santykis	kvadratinis, 16x9

Animuojama geometrine forma pasirinktas daugiakampis, turintis įvairaus dydžio kampus. Toks sprendimas priimtas siekiant vizualizuoti ir simuliuoti sudėtingesnę situaciją. Animaciją sudaro keturios dalys: objekto judėjimas iš kairės į dešinę (1), iš viršaus į apačią (2), iš dešinės į kairę (3) ir iš apačios į viršų (4). Objekto judėjimas vaizduojamas 2.7 pav.. Pirmame, antrame ir ketvirtame etapuose objektas juda tiesiškai, vienodu greičiu, nekeisdamas savo apsisukimo kampo. Trečiojo etapo metu, objektas judėdamas iš dešinės į kairę du kartus apsisuka aplink savo ašį prieš laikrodžio rodyklę. Detalesnė objekto animacijos informacija aprašoma lentelėje 2.3.

2.3 lentelė. Objekto animacijos judėjimo planas.

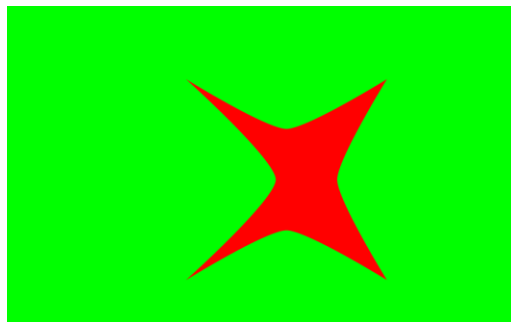
Judėjimo kryptis	Trukmė, kadrais	Trukmė, s	
1–2	50	2	0
2–3	25	1	0
3–4	50	2	720
4–1	75	3	0
Iš viso:	200	8	

Kituose poskyriuose trumpai pristatoma šiai testinei animacijai pritaikomi metodai, siekiant išgauti skirtingas sąlygas realizuotiems metodams.

⁶ Informacija apie produktą: <http://www.adobe.com/lt/products/aftereffects.html>

2.8.1. Be pridėtinių netolygumo faktorių

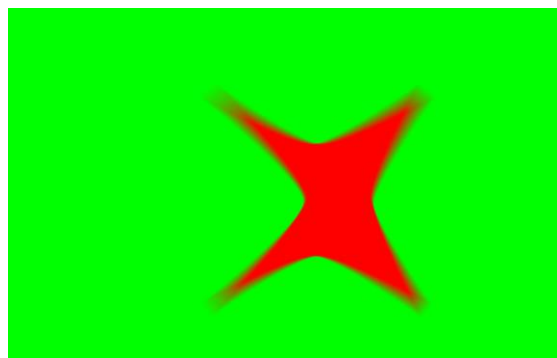
Pirmoji testinių duomenų vaizdų seka yra raudonos spalvos geometrinės formos animacija laike, žaliame fone. Objektas juda 2.3 lentelėje aprašyta tvarka, be jokių papildomų triukšmo ir netolygumo faktorių. Galima daryti prielaidą, jog metodą testuojant su šia vaizdų seka, bus gaunamas beveik identiškas rezultatas lyginant su pradiniais vaizdo medžiagos duomenimis. Nepaisant to, šis variantas filmuojamoje vaizdo medžiagoje yra neįmanomas – idealiausiu atveju joje vis tiek būna minimalus judesio suliejimas ir filmavimo metu vaizdo kameros sukuriamas triukšmas.



2.8 pav. Objektas be netolygumo faktorių.

2.8.2. Su vaizdo judėjimo suliejimu

Vaizdų sekoje aplink sparčiai judantį objektą atsirandantys objektai yra vadinami vaizdo suliejimu (angl. *motion blur*). Skaitmeninėje animacijoje šis efektas gali būti simuliuojamas dirbtinai [16]. Jei šis veiksmas nėra atliekamas, judantis objektas kiekviename kadre vaizduojamas be pridėtinių netolygumų, kaip aukščiau aptartame poskyryje. Vaizdo suliejimo funkcija *Adobe After Effects CC* programiniame pakete suteikia galimybę keisti suliejimą įtakojančius parametus. Dėl šios priežasties virtualioje programos kameroje galima simuliuoti filmavimo kameroje esančius nustatymus: išlaikymo kampą, išlaikymo fazę. Šie nustatymai pateikiami lentelėje 2.4..



2.9 pav. Objektas su vaizdo suliejimu.

Objekto judėjimo sparta taip pat įtakoja suliejimo kiekį ir pasiskirstymą atvaize. Mažėjantis objekto judėjimo laiko tarpas ir didėjantis įveiktas atstumas yra pagrindiniai kriterijai, sukuriantys didesnio ploto vaizdo judėjimo suliejimo efektą. Judėjimo metu sulietas objektas pavaizduotas 2.9 pav..

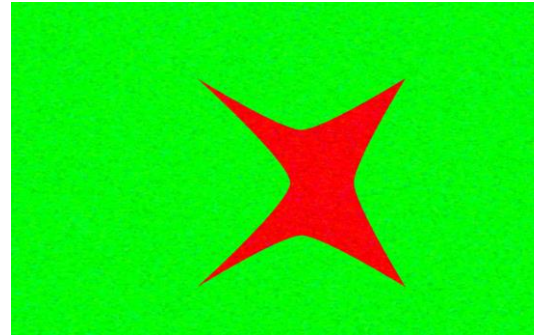
2.4 lentelė. Vaizdo judesio suliejimo nustatymai *AAE CC* programinėje įrangoje.

Išlaikymo kampas (angl. <i>shutter angle</i>)	180°
Šablonų kiekis per laiko vienetą (angl. <i>samples per frame</i>)	16
Išlaikymo fazė (angl. <i>shutter phase</i>)	-90°
Šablonų limitas (angl. <i>sample limit</i>)	128

Didesnis išlaikymo kampas sukuria stipresnį suliejimo efektą. Išlaikymo fazė nustato kryptį, kuria atliekamas suliejimas. Šiuo atveju -90° reiškia, jog efektas pritaikomas judėjimui priešinga kryptimi. Vaizdų sekos testavimas su judėjimo suliejimu realizuotiems metodams turėtų sukurti papildomų trikdžių. Scenoje slenkančio objekto kraštinės tampa netolygios.

2.8.3. Su filmavimo juostos triukšmu

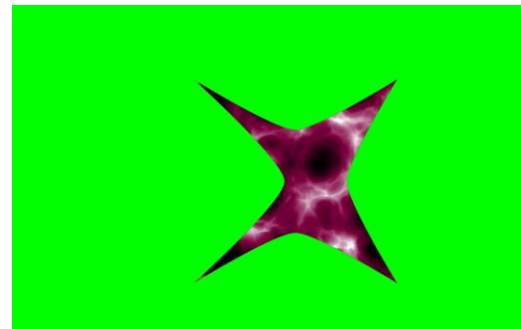
Kameros triukšmas apibūdinamas kaip atsitiktiniai intensyvumo ir spalvos pokyčiai vaizdo medžiagoje. Skaitmeniniuose įrenginiuose jie atsiranda dėl prasto apšvietimo, aukštų temperatūrų, kompresijos, skaitmeninių sensorių ar netinkamai sukonfigūruotos technikos. Išskiriami įvairūs triukšmo tipai: Gauso, *Druskos ir pipirų*, filmavimo, kvantavimo, filmų [14]. Šiam testinės medžiagos triukšmui generuoti panaudota *Adobe After Effects CC* programinė įranga. Triukšmo pridėjimo funkcija (angl. *Add Grain*) leidžia sukurti triukšmą pagal filmų juostuose aptinkamus nustatymus. Šiuo atveju, buvo panaudotas *Kodak Vision 500T* filmo juostos sukuriamas triukšmas. Objektas su filmo juostos triukšmu pateikiamas 2.10 pav.. Galima daryti prielaidą, jog papildomų spalvų atsiradimas vaizdo medžiagoje apsunkins srities išskyrimo procesą. Šiuo atveju scenoje esantis fonas dėl filmavimo juostos simuliuojamo triukšmo turi daugiau atspalvių.



2.10 pav. Objektas su filmo juostos triukšmu.

2.8.4. Su uždėta tekstūra

Paprastos tektūros pritaikymas animuojamam objektui turėtų apsunkinti išskyrimo procesą. Šiuo atveju *Adobe After Effects* programinėje pakuotėje pritaikyta tekstūra yra po animuojamu objektu, t.y. objektui judant, tekstūra išlieka statiška. Nepaisant to, nuo ketvirtos sekundės tekstūroje taip pat prasideda animacijos procesas. Šiam veiksmui atlikti panaudojama *Fractal Noise* funkcija, kuri sukuria *Gauso* suliejimus, su skirtingo intensyvumo sritimis. Objektas su pritaikyta tekstūra pavaizduotas 2.11 pav..



2.11 pav. Objektas su pritaikyta tekstūra.

2.9. Reikalavimai vaizdų sekos išvesties failams

Vaizdo medžiagos eksportavimui galima parinkti įvairius nustatymus. Dalis iš jų potencialiai gali turėti įtakos rezultatų kokybei. Dėl šios priežasties poskyryje apžvelgiami pagrindiniai nustatymai ir atliekamos prielaidos jų įtakai testuojant metodus.

2.9.1. Formatas ir kodavimas

Vaizdo medžiagos formatą apibrėžia failų tipai, kurie skirti saugoti skaitmeninę informaciją kompiuterinėse sistemose. Egzistuoja daugybė įvairių formatų ir koduočių tipų. Šiame darbe bus naudojamas *MP4* formatas su *H.264* kodavimu. Tokį sprendimą galima pagrįsti tuo, jog tai yra vienas dažniausiai naudojamų formatų vaizdo medžiagos išsaugojimui [15]. Populiariausi pasaulyje vaizdų transliavimo tinklalapiai kaip *Vimeo* ir *Youtube* savo platformose taip pat naudoja šį kodavimo būdą [19][20]. Jis padeda išlaikyti kokybę, sutalpindamas informaciją į sąlyginimai mažai vietos užimančią vaizdo medžiagos failą. Nepaisant to, šis formatas nėra pritaikytas vaizdo apdorojimo užduotims įgyvendinti, nes naudojama aukšto lygio kompresija. Darbe naudojamas *MATLAB* programinis paketas taip pat palaiko šį formatą.

2.9.2. Kadru skaičius per sekundę

Vaizdo medžiagos nepertraukiamumą ir vientisumą garantuoja kadru skaičius per sekundę. Žmogaus akis tolygų vaizdą mato tuomet, kada vaizdo medžiagoje yra ne mažiau nei 18 kadru per sekundę [1]. Atsižvelgiant į pagrindinius vaizdo medžiagos standartus, dominuoja 24, 25 arba 30

kadrų per sekundę. Kadru skaičius neturi įtakos objektų išskyrimui vaizdo medžiagoje, todėl testinės medžiagos kūrimui naudojamas 25 kadrų per sekundę standartas. Didesnis kadrų skaičius prailgintų apdorojimo laiką, tačiau akivaizdžiai nepagerintų vaizdo vientisumo kokybės.

2.9.3. Rezoliucija

Idealiu atveju testavimo vaizdo medžiagos rezoliucija turėtų atitikti pilnos raiškos *Full HD* standartus. Kadangi testavimui parinktas įrankis *MSU Quality Measurement Tool* nemokamoje versijoje nesuteikia galimybės apdoroti *HDV* vaizdo medžiagą, šiuose testavimuose naudojama mažesnės rezoliucijos video medžiaga. Įrankiu testuojama 960x540 dydžio aktyviųjų taškų rezoliucijos vaizdo medžiaga. Tai atitinka pusę pilnos raiškos standarto. Mažinant rezoliuciją, vaizdo medžiagoje pateikiamos informacijos kiekis mažėja. Neatliekant eksperimentų yra aišku, jog tokiu atveju metodų rezultatai suprastėtų, dėl mažesnio aktyviųjų taškų kiekio. Objektas išlieka tokio pačio reliatyvaus dydžio ekrano atžvilgiu, tačiau jis tampa sudarytas iš mažesnio kiekio aktyviųjų taškų. Tai leidžia daryti išvadą, jog išskirtas objekto perimetras pasidaro nebe toks detalus.

2.10. Testavimo įrankis ir statistiniai duomenys

Vaizdo medžiagos semantinis palyginimas suteikia tik subjektyvius rezultatus. Kiekvienas žmogus vaizdus interpretuoja skirtingai, todėl objektyviam rezultatų palyginimui vien akies užfiksuojamų pokyčių nepakaktų, siekiant atlikti kokybišką tyrimą. Vaizdo medžiagos palyginimą galima atlikti tiek su komercine, tiek ir su nemokama programine įranga. Lentelėje 2.5 pateikiamas šių įrankių funkcionalumo palyginimas.

2.5 lentelė. Vaizdo medžiagos statistinių parametrų įvertinimo programinės įrangos palyginimas.

	<i>MSU VQMT</i>	<i>Elecard Video QuEst</i>	<i>Video Quality Studio</i>	<i>PSNR Checker</i>	<i>AviSynth plėtiniai (SSIM, VQM)</i>
Licenzija	Mokamas tik komercinei veiklai (978.12 EUR)	Mokamas (200 EUR)	Nemokamas	Nemokamas	Nemokamas
Palaikomų statistinių įverčių kiekis	16+3(GPU)	8	3	1	2
Palaikomi įvesties formatai	.AVI, .AVS, .BMP, .YUV, .Y4M. Kiti medijos formatai, panaudojant <i>AviSynth</i>	Visi vaizdo formatai palaikantys <i>UYUY</i> išvesties sistemas	AVI	AVI	Visi formatai, palaikomi <i>AviSynth</i>
Vartotojo sąsaja	<i>GUI</i> +komandinės eilutės palaikymas <i>PRO</i> versijoje	<i>GUI</i>	<i>GUI</i>	<i>GUI</i>	Panaudojant <i>AviSynth</i> plėtinius (angl. <i>scripts</i>)
Automatinis rezultatų išsaugojimas parodant kokybės skirtumus	+	+	—	—	—
Galimybė palyginti du	+	—	—	—	—

failus vienu metu					
Automatinės rezultatų palyginimo diagramos	+	—	—	—	—

Lentelėje pateikti duomenys atspindi aiškų faktorių – *MSU VQMT* įrankis suteikia daugiau funkcionalumo nei rinkoje esantys analogai. Dėl šios priežasties testavimams pasirinktas įrankis *MSU Video Quality Measurement Tool (VQMT)*. Tai yra Maskvos Valstybinio Universiteto darbuotojų sukurtas programinis paketas, leidžiantis objektyviai atlikti vaizdo kokybės vertinimą [22].

Internete galima parsisiųsti nemokamą riboto funkcionalumo versiją arba įsigyti komercinę versiją. Vienos licenzijos kaina – 978.12 EUR. Tarp nemokamos ir *Pro* versijos yra du esminiai skirtumai. Įsigijus licenziją galima atlikti lygiagrečius testavimus skirtingais nustatymais. Taip pat, mokama versija leidžia apdoroti vaizdo medžiagą, kurios rezoliucija yra didesnė nei 1280x720 aktyviųjų taškų.

Programos vartotojo sąsają galima išskirstyti į tris dalis:

1. **Įvesties failai:** programa apdoroja failus, kurių plėtiniai yra *.avi*, *.avs*, *.yuv*, *.bmp*. Pasirenkamas originalus failas, pagal kurį bus atliekami palyginimai bei vienas arba du failai, kurie bus lyginami su pradiniu vaizdų rinkiniu. Taip pat galima pridėti vaizdo medžiagą su šablonu. Ši funkcija leidžia išskirti esminius regionus, kuriuose turi būti atliekamas palyginimas.
2. **Statistinių metodų parinkimas:** šiame žingsnyje pasirenkamas vienas iš devyniolikos statistinių metodų, kurių pagalba tarpusavyje lyginami įvesties failai. Rezultatų pateikimui galima pasirinkti įvairius spalvų komponentų rodmenis (*Y-YUV*, *U-YUV*, *V-YUV*, *L-LUV*, *R-RGB*, *G-RGB*, *B-RGB*). Tarp įvesties duomenų aptikti skirtumai, netolygiai persidengiančios sritys, vaizduojami pagal pasirinktą spalvų komponentą.
3. **Išvesties failai:** programa rezultatus leidžia pateikti tekstiniuose *.csv* failuose (su palyginamomis reikšmėmis tarp vaizdo medžiagos kadru). Taip pat yra galimybė išsaugoti statistinio palyginimo vaizdinę medžiagą – skirtumai tarp įvesties failų atvaizduojami pagal pasirinktus spalvinius komponentus.

VQMT pagalba bus atliekami testavimai su įvairiais atvejais sugeneruota vaizdo medžiaga. Tai leis nustatyti esminius skirtumus tarp įvesties failų idealiomis sąlygomis ir gautų rezultatų, vaizdo medžiagą apdorojus sukurtais metodais. Žemiau aprašomi pagrindiniai statistiniai metodai, kuriais bus atliekamas metodų testavimas. Šių statistinių įverčių atvaizdavimui pasirinkta vaizdo medžiaga iš atlikėjos *Pumezos* vaizdo klipo *Thula Baba*. 2.12 pav. pateikiamas originalus kadras, pagal kurį atliekami palyginimai.



2.12 pav. Originalios raiškos kadras iš vaizdo medžiagos failo statistinių įverčių tyrimui.

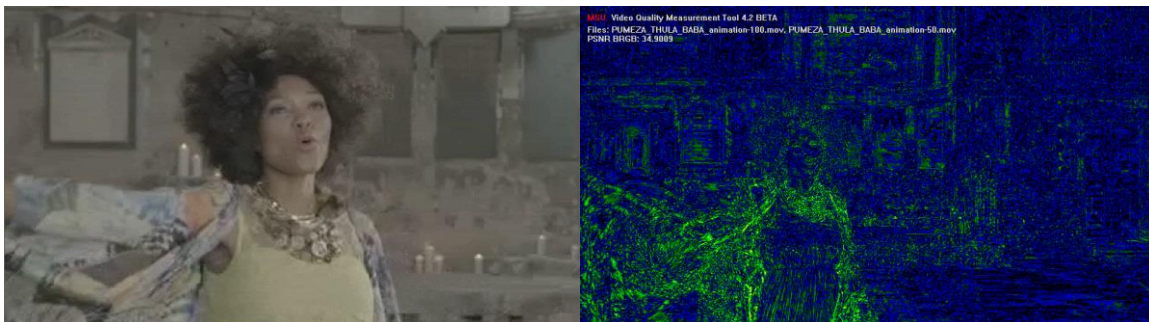
2.10.1. Signalo maksimumo taškų santykis su triukšmu, *PSNR*

Dažnai naudojamas praktikoje, šis statistinis metodas vadinamas vaizdo signalo maksimumo taškų santykiu su triukšmu (angl. *peak signal-to-noise ratio*). Šis statistinis rodiklis apskaičiuojamas pagal formulę (2.1), kur *MaxErr* – maksimali įmanomas spalvų komponentų skirtumo reikšmė, *w* – vaizdo medžiagos plotis, *h* – vaizdo medžiagos aukštis.

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \times \frac{MaxErr^2 \times w \times h}{\sum_{i=0}^w \sum_{j=0}^h (x_{ij} - y_{ij})^2} \quad (2.1)$$

Bendru atveju, šis rodiklis yra vidutinio kvadratinio nuokrypio atitikmuo. Esminis skirtumas tarp šių dviejų statistinių įverčių – *PSNR* skaičiavimuose įtraukiama logaritminė skalė. *PSNR* dažniausiai naudojamas apskaičiuoti vaizdo medžiagos kokybės praradimą, dėl panaudojamų kompresijos metodų. Analizės metu signalu laikomas originalus vaizdo medžiagos failas, o triukšmo lygis nustatomas pritaikius kompresijos formatus. Standartiškai *PSNR* statistiniai įverčiai pritaikius vaizdo medžiagos kompresiją atitinka reikšmes nuo 30 iki 50 dB, kur didesnis matmuo atspindi kokybiškesnį rezultatą [22].

Metodų testavimo metu šią informaciją galima pritaikyti išvesties failams parinkus skirtingus kompresijos metodus. Simuliuojama situacija leis nustatyti kompresijos įtaką rezultatų išsaugojimui. 2.13 pav. pateikiami pavyzdžiai, kurie atspindi *PSNR* statistinio metodo rezultatus, sumažinus originalios vaizdo medžiagos kokybę 50%.



2.13 pav. Originalios vaizdo medžiagos palyginimas su 50% sumažintos kokybės failu, *PSNR*.

2.10.2. Struktūrinio panašumo indeksas, *SSIM*

SSIM indekso apskaičiavimas priklauso nuo trijų komponentų: apšviestumo, kontrasto ir struktūros panašumų (angl. *Structural Similarity Index*). Indeksas suformuojamas remiantis dedamųjų statistinėmis vertėmis. 2.14 pav. vaizduojamas skirtumo rezultatas lyginant jį su 2.12 pav.. Ryškesnės sritys rezultatų faile atitinka didesnę skirtumą tarp lyginamų vaizdo medžiagų [22].



2.14 pav. Originalios vaizdo medžiagos palyginimas su 50% sumažintos kokybės failu, *SSIM*.

Struktūrinio panašumo indeksas *VQMT* programiniame įrankyje apskaičiavimas įtakojamas dviejų koeficientų. Jie priklauso nuo didžiausis atvaizde esančios spalvų komponentų reikšmės. Formulės (2.2) ir (2.3) aprašo šių koeficientų apskaičiavimą, kur *video1Max* yra maksimali didžiausia spalvos komponento vertė pirmame vaizdo medžiagos faile, o *video2Max* – antrajame:

$$C1 = 0.01 \times 0.01 \times video1Max \times video2Max \quad (2.2)$$

$$C1 = 0.03 \times 0.03 \times video1Max \times video2Max \quad (2.3)$$

Šis testavimo metodas leis patikrinti srities išskyrimo metodo veikimo tikslumą. Išskyrimo metu atsiradę pokyčiai atskleis metodo veikimo trūkumus.

2.10.3. Trijų komponentų struktūrinio panašumo indeksas, 3SSIM

Programinės įrangos paketas *VQMT* suteikia galimybę atlikti šešių skirtingų tipų ir tikslumų *SSIM* analizę. Sukurtų metodų testavimui bus panaudojamas dar vienas statistinis įvertis – trijų komponentų struktūrinio panašumo indeksas (angl. *Three-component image model structural similarity index*). Kiekviename atvaizde yra trijų tipų regionai: kraštinės, tekstūros ir gradientinės sritys. *3SSIM* apskaičiuoja svertinį vidurkį realizuojant *SSIM* kiekvienam iš šių regionų [17][22]. 2.15 pav. pateikiamas šio įverčio pavyzdys pavyzdys.

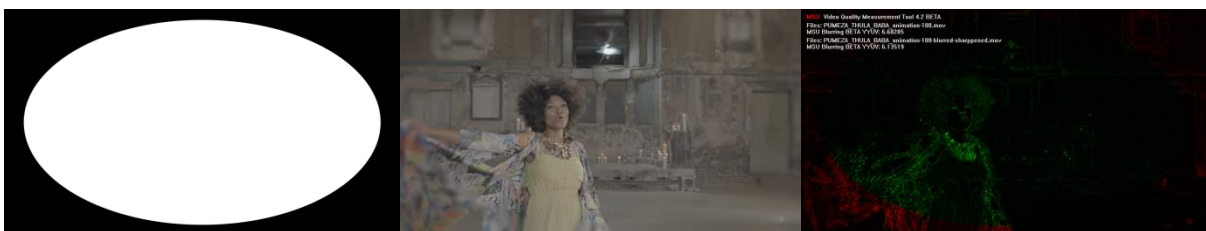


2.15 pav. Originalios vaizdo medžiagos palyginimas su 50% sumažintos kokybės failu, 3SSIM.

Žalia spalva atitinka kraštines, raudona – gradientus, o mėlyna – tekstūras. Ryškesnės sritys rezultatų atvaizde iliustruoja didesnę skirtumą nuo originalaus vaizdo medžiagos failo. Eksperimentinėje dalyje naudojant šio statistinio įverčio panaudojimas leis nustatyti kraštinių pokytį po apdorojimo.

2.10.4. MSU suliejimo statistika

Šis statistinis parametras leidžia palyginti du atvaizdus pagal jų suliejimo lygį (angl. *MSU Blurring Metric*). *MSU* suliejimo statistika atspindi, kaip stipriai tarpusavyje skiriasi atvaizdų ryškumas. Jei pirmasis atvaizdas yra ryškesnis nei antrasis, tuomet rezultatų faile matoma raudona spalva. Priešingu atveju, skirtumas žymimas žaliai. Atskleisti šį įvertį padeda testiniai duomenys, sukurti specialiai šiam metodui iširti [22]. Jie pateikiami 2.16 pav..



2.16 pav. Originalios vaizdo medžiagos palyginimas su šablono filtru pakoreguotu failu, MSU Blur.

Pirmas atvaizdas iliustruoja suliejimo ir ryškumo vertes – baltame regione padidintos atvaizdo ryškumo vertės, juodame – detalumas yra sumažintas, vaizdai pridėjamas suliejimas. Tokį šablona pritaikius originaliam atvaizdai ir atlikus jo bei originalo testavimą, gaunama *MSU* suliejimo statistika. Vidurinėje dalyje matoma žalia spalva. Kadangi šablone ši sritis buvo paryškinta, originalus failas šiuo atveju yra mažiau ryškus. Aplink žalią spalvą esančios raudonos sritys signalizuoja, jog antrasis atvaizdas šioje srityje yra labiau sulietas. Šablono pritaikymas vaizdo medžiagai leido simuliuoti šio statistinio įverčio veikimo principą. Metodų testavimo procese suliejamos kraštinės leis nustatyti skirtumą tarp originalaus ir sulietomis kraštinėmis išskirto vaizdo objekto.

2.11. Testavimo techninė įranga

Metodų testavimo sparta priklauso nuo techninės įrangos specifikacijos. Darbo metu naudotos sistemos specifikacija pateikiama lentelėje 2.6.

2.6 lentelė. Testavimui naudojama techninė įranga.

Įrangos tipas	Įrangos pavadinimas ir specifikacijos
Procesorius (CPU)	Intel(R) Core(TM) i5-2500K @ 3.30GHz
Operatyvioji atmintis (RAM)	Corsair DDR3-1333 16GB
Vaizdo plokštė (GPU)	NVIDIA GeForce GTX 560
Kietasis diskas (HDD)	WDC Caviar Black 1TB 7200RPM
Monitorius	Samsung SA300/SA350 24``
Operacinė sistema	Microsoft Windows 7 Ultimate 64bit

2.12. Realizavimo ir testavimo dalies išvados

MATLAB programinis paketas suteikia vartotojui galimybę panaudoti jau realizuotus metodus ir algoritmus. Dėl šios priežasties ši programavimo kalba leidžia atlikti objektų analizę ir apdoroti didelius kiekius informacijos supaprastinta vartotojo sąsaja.

Testavimo duomenų rinkinių kūrimui panaudota programinė įranga *Adobe After Effects* leidžia sukurti ir eksportuoti kompiuterines animacijas. Šios programos pagalba sukurti testiniai duomenys leis atlikti metodų testavimus ir statistiškai nustatyti srities išskyrimo procesą apsunkinančius veiksnius.

Apžvelgus statistinius parametrus vaizdo medžiagos palyginimui, rezultatai pateikiami lentelėje 2.7.. Testavimo metu aktualiausi statistiniai rodikliai bus *SSIM* ir *3SSIM*, kadangi jie atlieka struktūros palyginimą tarp vaizdo medžiagos failų.

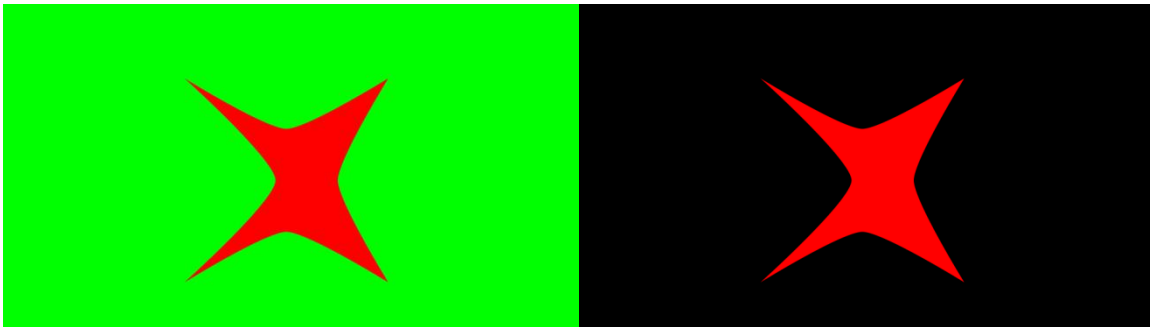
2.7 lentelė. Statistinių parametrų palyginimas.

	Panaudojimas	Generuojami rezultatai	Rezultatų interpretavimas
PNSR	Nustatyti triukšmo lygį vaizdo medžiagoje pagal vidutinį standartinį nuokrypį	Triukšmo lygis, dB, [0..100]	Didesnė reikšmė atspindi kokybiškesnę rezultatą
SSIM	Apšviestumo, kontrasto ir struktūros lyginimas	Santykis intervale [0..1]	Didesnė reikšmė atspindi tikslesnį panašumą
3SSIM	Kraštinių, tekstūrų ir gradientinių sričių palyginimas	Santykis intervale [0..1]	Didesnė reikšmė atspindi tikslesnį panašumą
MSU Blur	Ryškumo ir suliejimo palyginimas	Santykis intervale nuo [0..5]	Didesnė reikšmė už įvesties reikšmę reiškia didesnį suliejimo kiekį

3. REALIZUOTO METODO EKSPERIMENTINĖ DALIS

Sukurtas metodas leidžia koreguoti išskiriamos spalvos intensyvumo režius, tačiau realizavimo dalyje aptartos vaizdo medžiagos testavimui pasirinktas vienodo intensyvumo fonas. Identiška foninės medžiagos spalva leis palyginti metodų veikimą atsižvelgiant tik į skirtingomis sąlygomis sugeneruotus testinės medžiagos rinkinius. Maksimaliai apšviesto žalios spalvos fono reikšmė yra lygi $R-0, G-255, B-0$.

Testavimo metu keičiami šie parametrai: spalvos srities išskyrimo režiai, objekto kraštinių korekcija ir kraštinių suliejimas. Eksperimentai atliekami su kompiuteriu sugeneruota animacija. Žaliame fone suanimuoto objekto vaizdo medžiaga apdorojama realizuotais metodais. Gautas rezultatas lyginamas su kompiuteriu sugeneruota animacija, be fono. Tokiu būdu galima statistiškai palyginti gautus rezultatus su originalia vaizdo medžiaga. Šio proceso duomenų rinkiniai pavaizduoti 3.1 pav..



3.1 pav. Apdorojamos ir testuojamos vaizdo medžiagos kadrai.

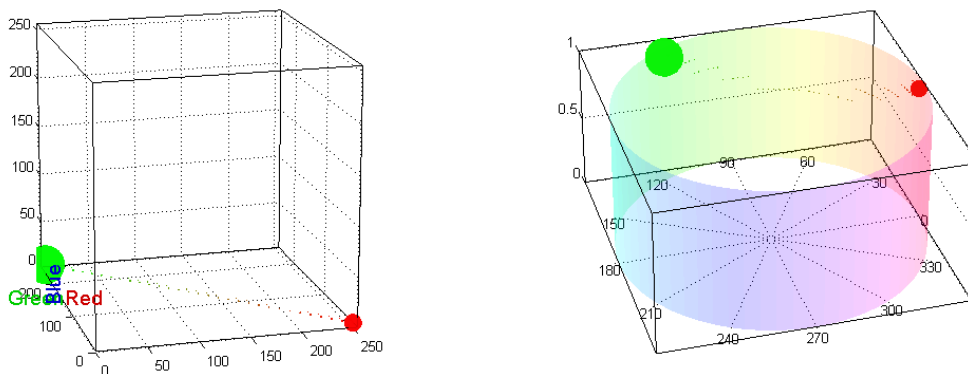
Šiame skyriuje atliekami metodų ir jų generuojamų rezultatų eksperimentai su skirtingais testinių duomenų rinkiniais, aprašytais skyriuje 2.8.. Pagrindiniai testavimo parametrai aprašyti skyriuje 2.10..

3.1. Realizuotų metodų palyginimas

Eksperimentinėje dalyje keičiant išskiriamos vaizdo medžiagos parametrus, galima gauti labai daug rezultatų failų. Realizavimo dalyje buvo sukurtos kelių tipų funkcijos srities išskyrimui atlikti ir tobulinti. Pagrindinį srities išskyrimą galima atlikti dviem metodais, pagal skirtingas spalvų erdves, panaudojant *RGB* arba *HSV* spalvinę informaciją. Be to, kraštinių korekcijos atlikimui buvo pritaikytos dviejų tipų funkcijos: *imerode()* ir *border_correction()*. Siekiant sumažinti rezultatų apimtį, pirmuoju testavimo žingsniu atliekamas šių metodų palyginimas su vaizdo medžiaga be pridėtinių netolygumų. Gauti rezultatai leis nustatyti skirtumus tarp funkcijų ir pasirinkti po vieną iš jų tolimesniems testavimams.

3.1.1. Spalvos išskyrimo rezultatų palyginimas tarp *RGB* ir *HSV* metodų

Darbe spalvos išskyrimo metodas buvo realizuotas dvejoms spalvų erdvėms. Dėl šios priežasties galima palyginti srities išskyrimo rezultatus panaudojant *RGB* ir *HSV* metodus. Šiam testavimo atvejui naudojama vaizdo medžiaga aptarta 2.8.1 poskyryje, be pridėtinių netolygumo faktorių. Vaizdo medžiagos spalviniai aktyviųjų taškų pasiskirstymai pavaizduoti 3.2 pav..

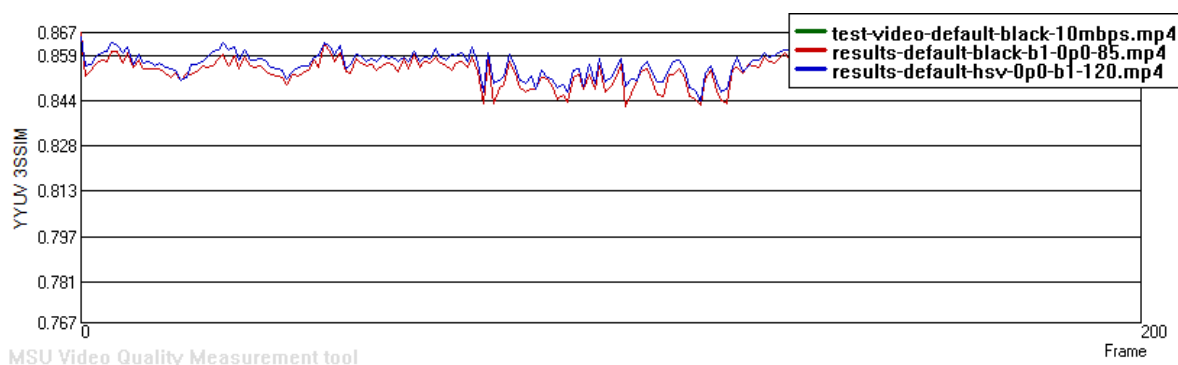


3.2 pav. Spalvų pasiskirstymo atvaizdavimas *RGB* ir *HSV* spalvų erdvėse be papildomų netolygumų, 100–asis kadras.

Šiame atvaizde matomas spalvų pasiskirstymas šimtajame kadre. *RGB* spalvų erdvėje intensyviausios žalios spalvos vertės susitelkę taške (0,255,0). *HSV* spalvų erdvės atvaizdavimas yra apskritimo formos, o žalios spalvos maksimalios vertės yra ties 120°. Atsižvelgiant į šią informaciją, lentelėje 3.1 pateikiami testavimo rezultatai.

3.1 lentelė. Statistiniai rezultatai atlikus srities išskyrimą su *RGB* ir *HSV* metodais.

	5 išskyrimų vykdymo laiko vidurkis, s	<i>SSIM</i>, 200 kadrų reikšmių vidurkis	<i>3SSIM</i>, 200 kadrų reikšmių vidurkis	<i>PNSR</i>, 200 kadrų reikšmių vidurkis	<i>MSU Blur</i>, 200 kadrų reikšmių vidurkis
Spalvos išskyrimas su <i>RGB</i> (85)	<u>20.704</u>	0.99387	0.85378	36.54874	<u>0.52373</u>
Spalvos išskyrimas su <i>HSV</i> (120)	35.288	<u>0.99401</u>	<u>0.85693</u>	<u>36.57592</u>	0.52466



3.3 pav. Statistinio parametro *3SSIM* reikšmių grafikas srities išskyrimą atlikus *RGB* (raudona linija) ir *HSV* (mėlyna linija) metodais.

Eksperimentiniu būdu, atsižvelgiant į 3.2 pav. spalvų pasiskirstymą, keičiant išskiriamos srities intervalą, buvo nustatyta, jog *RGB* metodas tiksliausias reikšmes generuoja slenkstinės ribos vertę nustačius 85. *HSV* panaudojimas srities išskyrimui geriausius rezultatus atskleidė nustačius 120 slenkstinę vertę. Buvo skaičiuojami penkių srities išskyrimo vykdymo laikų vidurkiai. Su *RGB* apdorojant 200 kadrų vaizdo medžiagą išskyrimas atliekamas 1.7 karto greičiau. Pagrindinė šio skirtumo priežastis – *RGB* spalvų erdvės konvertavimas į *HSV*. Nors *HSV* rezultatai su statistiniais parametrais yra geresni, skirtumas nykstamai mažas. Dėl šios priežasties tolimesniuose testavimo etapuose bus naudojamas *RGB* spalvos išskyrimo metodas. *SSIM* struktūrinis indeksas parodo

apdoroto failo skirtumą su originaliu, pagal intensyvumą, kontrastą ir bendrą struktūrą. Galima teigti, jog apdorota vaizdo medžiaga šių savybių nepakeitė, nes skirtumas yra mažesnis <0.01 . Lyginant $3SSIM$, pasireiškia didesnės skirtumo reikšmės, nes šis statistinis parametras lygina atvaizdus pagal kraštinių, tekstūrų ir gradientų kokybę. 3.3 pav. pavaizduotas šio statistinio parametro grafikas.

Be šių rezultatų, galima daryti išvadą, jog tais atvejais, kuomet testavimo įverčių panaudojimas neaktualus, testavimų atlikimas nėra būtinas. Pavyzdžiui, $PNSR$ rezultatai generuoja akivaizdžius skirtumus keičiant išvesties failo kompresiją ar inicijuojant filmo triukšmus, o $MSU Blur$ pasireiškia, kuomet atvaizde atsiranda suliejimo požymiai, vaizdo judesio suliejimas. Jei tokie veiksmi su vaizdo medžiaga nebuvo atliekami, testavimai neatliekami.

3.1.2. Išskirto paviršiaus ploto mažinimo metodų testavimas

Išskirto paviršiaus ploto mažinimas nusakomas aktyviųjų taškų (angl. *pixels*) kiekiu. Pagal nustatytą reikšmę atliekamas objekto kraštinių tikrinimas ir aktyviųjų taškų pašalinimas. Šiuo atveju testuojami du metodai, kuriais apdorojama $RGB(85)$ išskirta vaizdo medžiaga. Palyginamas atliekamas tarp originalaus failo be fono ir *imerode()* bei *border_correction()* funkcijų. Rezultatai pateikiami lentelėje 3.2.

3.2 lentelė. Išskirto paviršiaus ploto mažinimo metodų testavimo rezultatai.

Funkcija ir paviršiaus ploto sumažinimo dydis, px	5 išskirimų vykdymo laiko vidurkis, s	$SSIM$, 200 kadrų reikšmių vidurkis	$3SSIM$, 200 kadrų reikšmių vidurkis
<i>border_correction()</i> , 1	61.387	<u>0.98749</u>	<u>0.68856</u>
<i>border_correction()</i> , 2	61.603	0.98208	0.55651
<i>border_correction()</i> , 3	61.459	0.97771	0.46905
<i>Imerode()</i> , 1	20.991	<u>0.98749</u>	<u>0.68856</u>
<i>Imerode()</i> , 2	21.224	0.98104	0.53026
<i>Imerode()</i> , 3	23.904	0.97702	0.44823

Atlikus testavimus pakeičiant aktyviųjų taškų reikšmes [1,2,3], paaiškėjo, jog $MATLAB$ programinio paketo funkcija *Imerode()* generuoja praktiškai identiškus $SSIM$ rezultatus, lyginant juos su realizuota kraštinių apdorojimo funkcija. Be to, *Imerode()* panaudojimas leidžia tą pačią užduotį atlikti tris kartus greičiau. Tolimesniuose testavimuose išskirto objekto paviršiaus ploto sumažinimui bus naudojama *Imerode()* funkcija. 3.4 pav. pateikiami $SSIM$ statistinių parametru rezultatai, paviršiaus plotą sumažinant vienu aktyviuoju tašku. Rezultatai šiuo atveju yra identiški abiem atvejams. Raudona linija pažymėtas funkcijos *border_correction()* atliktas išskyrimas, o mėlyna – *Imerode()*.



3.4 pav. Statistinio parametro $3SSIM$ reikšmių grafikas srities išskyrimą atlikus dviem skirtingais atvejais.

Verta paminėti, jog $3SSIM$ reikšmės mažėja, didinant pašalinamų aktyviųjų taškų kiekį. Šiuo atveju toks drastiškas pokytis pastebimas todėl, jog naudojama $RGB(85)$ vaizdo medžiaga. Objektas

šioje vaizdo medžiagoje yra išskirtas, todėl paviršiaus ploto mažinimas kardinaliai pakeičia objekto kraštinių išsidėstymą atvaizde.

3.2. Srities išskyrimo testavimas su skirtingais duomenų rinkiniais

Atlikus pradinis testavimus tolimesniems eksperimentams buvo pasirinktas srities išskyrimo metodas panaudojant *RGB* spalvų erdvę. Be to, tais atvejais, kuomet bus pritaikoma kraštinių korekcija, rezultatais pagrįstu sprendimu pasirinkta *Imerode()* funkcija. Šiame poskyryje atliekami eksperimentai su skirtingais testiniais rinkiniais, keičiant jų išskyrimo parametrus: srities ribą, kraštinių korekciją ir kraštinių suliejimą. Pagrindinis eksperimentų tikslas yra nustatyti atvejus, kuomet srities išskyrimo procese susiduriama su sunkumais siekiant išgauti kokybišką vaizdo medžiagą. Kokybė šiais atvejais nustatoma pasitelkiant statistinius parametrus *SSIM*, *3SSIM*, *PNSR* ir *MSU Blur*.

3.2.1. Be pridėtinių netolygumų

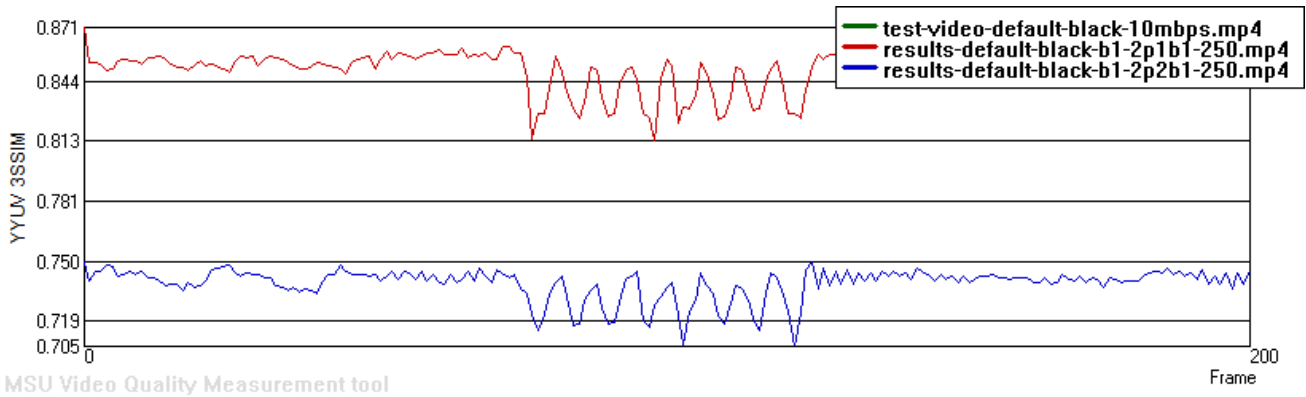
Šiame poskyryje testuojama vaizdo medžiaga aprašyta 2.8 skyriuje. Testavimo metu keičiama išskiriamos srities ribos reikšmė, kraštinių korekcijos ir suliejimo reikšmės. Visiems atvejams fiksuojamas realizavimo vykdymo laikas ir apskaičiuojami *SSIM* ir *3SSIM* statistiniai parametrai. Rezultatai pateikiami lentelėje 3.3.

3.3 lentelė. Statistinių parametrų reikšmės atliekant srities išskyrimą su vaizdo medžiaga be pridėtinių netolygumų.

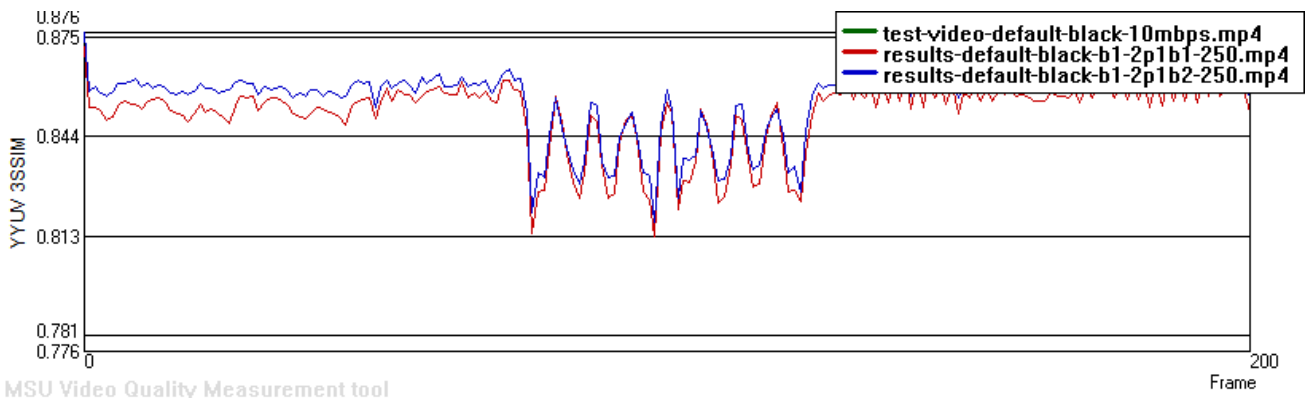
Nr.	Spalvos išskyrimas su <i>RGB</i>	Vykdymo laikas, s	<i>SSIM</i> , 200 kadru reikšmių vidurkis	<i>3SSIM</i> , 200 kadru reikšmių vidurkis
1.	Išskiriamos srities riba = 150 Kraštinių korekcija = 0px Kraštinių suliejimas = 0	21.844	0.99014	0.81231
2.	Išskiriamos srities riba = 150 Kraštinių korekcija = 1px Kraštinių suliejimas = 1	21.849	0.98964	0.75163
3.	Išskiriamos srities riba = 200 Kraštinių korekcija = 0px Kraštinių suliejimas = 0	20.566	0.98650	0.69931
4.	Išskiriamos srities riba = 200 Kraštinių korekcija = 1px Kraštinių suliejimas = 0	21.213	0.99252	0.82069
5.	Išskiriamos srities riba = 250 Kraštinių korekcija = 0px Kraštinių suliejimas = 0	20.687	0.97806	0.50626
6.	Išskiriamos srities riba = 250 Kraštinių korekcija = 1px Kraštinių suliejimas = 0	21.128	0.99342	0.85055
7.	Išskiriamos srities riba = 250 Kraštinių korekcija = 1px Kraštinių suliejimas = 1	21.549	0.99344	0.85057
8.	Išskiriamos srities riba = 250 Kraštinių korekcija = 1px Kraštinių suliejimas = 2	21.723	<u>0.99372</u>	<u>0.85471</u>
9.	Išskiriamos srities riba = 250 Kraštinių korekcija = 1px Kraštinių suliejimas = 3	21.422	0.99330	0.84372

10.	Išskiriamos srities riba = 250 Kraštinių korekcija = 2px Kraštinių suliejimas = 2	21.054	0.98964	0.74394
-----	-----------------------------------------------------------------------------------------	--------	---------	---------

Pradinė išskiriamos srities riba parenkama pagal 3.2 pav.. Nuspręsta atlikti testavimą, kurio metu išskiriamos srities riba yra lygi 150. Tokiu atveju, kadre esančios žalios *RGB* spalvų reikšmės, kurių vertė didesnė nei 150 yra pašalinamos, o kitos – išsaugomos. Tokiu eksperimentiniu būdu išskiriamos srities riba buvo didinama, siekiant išgauti kuo aukštesnes *SSIM* ir *3SSIM* parametrų vertes. Geriausias rezultatas gautas išskiriamos srities riba parinkus 250 slenkstinę reikšmę, atlikus 1 aktyviojo taško paviršiaus ploto sumažinimą ir 2 aktyviųjų taškų suliejimą. 3.5 pav. grafikas atvaizduoja 7 testavimo atvejį, o 3.6 pav. – 8, suteikusį geriausią rezultatą.



3.5 pav. Srities išskyrimas atliekant vieno (raudona linija) ir dviejų (mėlyna linija) aktyviųjų taškų korekciją.



3.6 pav. Srities išskyrimas atliekant vieno aktyviojo taško korekciją, tačiau pritaikant spindulio(1) suliejimą (raudona linija) ir spindulio(2) suliejimą (mėlyna linija).

Paveiksluose esančios legendų pavadinimai apibūdina atliktas korekcijas $2pXbY-Z$:

1. $2pX$ – *Imerode()* funkcijos panaudojimas kraštinės korekcijai, sumažinant paviršiaus plotą X aktyviųjų taškų;
2. bY – kraštinių suliejimo spindulys;
3. Z – išskiriamos srities riba. Reikšmės virš jos yra pašalinamos iš atvaizdo.

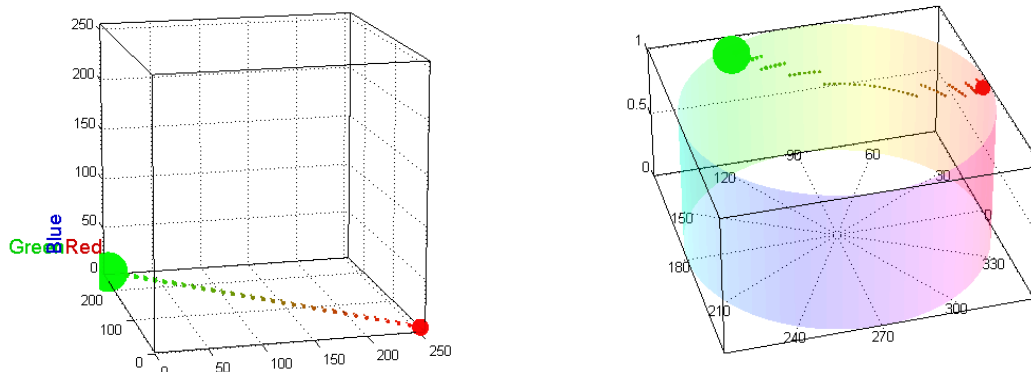
Pagal rezultatus matyti, jog paviršiaus ploto sumažinimas vienu tašku turi akivaizdžią įtaką *3SSIM* statistiniam rodikliui. Animacijos viduryje pastebimi kokybės šuoliai. Taip nutinka todėl, jog animuojamas objektas pradeda sukis prieš savo ašį.

Šio testavimo metu buvo fiksuojamas srities išskyrimo vaizdo medžiagoje laikas. Akivaizdžių pokyčių, kurie leistų daryti atitinkamas išvadas nepastebėta. Kadangi pagrindinis skirtumas tarp realizavimo etapų buvo ne didesnis nei 1s, šis spartos įvertis būsimuose testavimuose nefiksuojamas.

3.2.2. Su vaizdo judėjimo suliejimu

Šiame poskyryje testuojama vaizdo medžiaga su vaizdo judėjimo suliejimu. Testavimas atliekamas tokiu pačiu principu kaip ir vaizdams be pridėtinų netolygumų. Be to, kadangi bus naudojamas didesnis kraštinių suliejimas, šiam atvejui taip pat apskaičiuojamas *MSU Blur* statistinis

parametras. Spalvų pasiskirstymas testinėje vaizdo medžiagoje pateikiamas 3.7 pav.. Darbe pateikiamas *RGB* ir *HSV* spalvų atvaizdavimas, taip leidžiant aiškiau pastebėti esančius spalvų tonus. Šiuo atveju spalvų pasiskirstymas yra panašiam spektre, tačiau dėl suliejimo atsiranda daugiau tarpinių reikšmių.



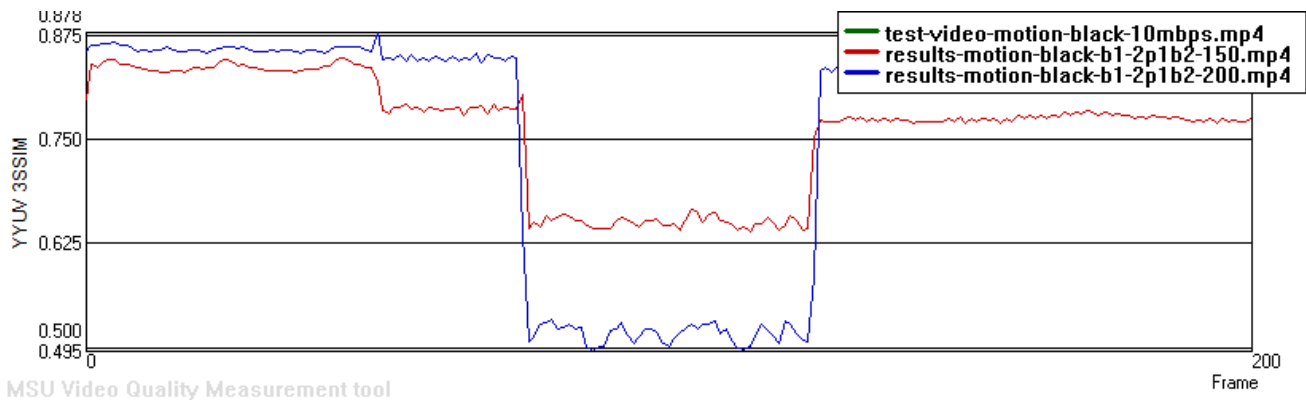
3.7 pav. Spalvų pasiskirstymo atvaizdavimas *RGB* ir *HSV* spalvų erdvėse su vaizdo judėjimo suliejimu, 100–asis kadras.

Testavimo duomenys pateikiami lentelėje 3.4. Kadangi geriausi atvaizdo be pridėtinių netolygumų rezultatai buvo gauti su *2p1b2-250*, reikšmėmis, eksperimentas su judančio vaizdo suliejimu pradėtas būtent nuo šios vertės. Kaip parodė testavimas, šiom duomenų rinkinio apdorojimas tokiomis pačiomis reikšmėmis geriausio rezultato negeneravo.

3.4 lentelė. Testavimo rezultatai atliekant išskyrimą vaizdo medžiagoje su judėjimo suliejimu.

Nr.	Spalvos išskyrimas su <i>RGB</i>	<i>SSIM</i> , 200 kadru reikšmių vidurkis	<i>3SSIM</i> , 200 kadru reikšmių vidurkis	<i>MSU Blur</i> , 200 kadru reikšmių vidurkis
1.	Išskiriamos srities riba = 250 Kraštinių korekcija = 1px Kraštinių suliejimas = 1	0.98044	0.65029	0.52092
2.	Išskiriamos srities riba = 250 Kraštinių korekcija = 1px Kraštinių suliejimas = 2	0.98162	0.67331	0.60768
3.	Išskiriamos srities riba = 200 Kraštinių korekcija = 1px Kraštinių suliejimas = 2	<u>0.98858</u>	<u>0.76030</u>	0.61309
4.	Išskiriamos srities riba = 150 Kraštinių korekcija = 1px Kraštinių suliejimas = 2	0.98779	0.75984	0.62768
5.	Išskiriamos srities riba = 150 Kraštinių korekcija = 2px Kraštinių suliejimas = 5	0.98507	0.67461	0.64401
6.	Išskiriamos srities riba = 150 Kraštinių korekcija = 2px Kraštinių suliejimas = 30	0.96692	0.40280	0.83916

Šiame pavyzdyje vaizdų sekoje esanti objekto sukimosi animacija komplikavo rezultato gavimą. Kaip matoma iš 3.8 pav., rezultatai yra patenkinami kol pasiekama sukimosi stadija. Šioje vietoje objekto išskyrimas tokiomis sąlygomis tampa neįmanomas, kadangi judesio vaizdo suliejimas objekto animacijos metu neturi pastovios reikšmės.



3.8 pav. Statistinio įverčio 3SSIM rezultatai atlikus išskyrimo procesą vaizdo medžiagoje su judėjimo suliejimu.



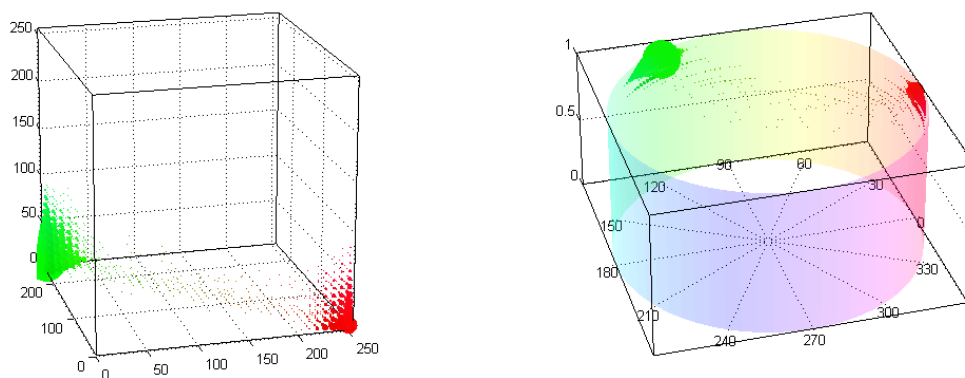
3.9 pav. Originalus failas ir du rezultatų kadrai, išskyrimui pritaikant $p1b2-150$ ir $p1b2-200$ reikšmes.

Aukščiau 3.9 pav.pateikiami šimtojo kadro atvaizdai. Pirmuoju atveju matomas originalus kadras, antruoju – su 150 slekstine reikšme, o trečiuoju – su 200. Nors antrasis atvejis vidurinėje stadijoje generuoja geresnius rezultatus, objektui nesisukant, jo paviršiaus ploto sumažėjimas tampa per didelis.

MSU Blur statistinis parametras parodo suliejimo atsiradimą atvaizde, lyginant su originalia vaizdų seka. Šiais atvejais akivaizdu, jog didesnis suliejimas pastebimas tuomet, kada išskirto vaizdo kokybė yra mažesnė.

3.2.3. Su filmavimo juostos triukšmu

Filmavimo juostos triukšmas kompiuterinėje grafikoje yra sukuriamas dirbtinai. Šiame pavyzdyje animacijai pritaikius filmavimo juostos triukšmą, vaizdų sekoje atsirado papildomi spalvų topai, 3.10 pav..



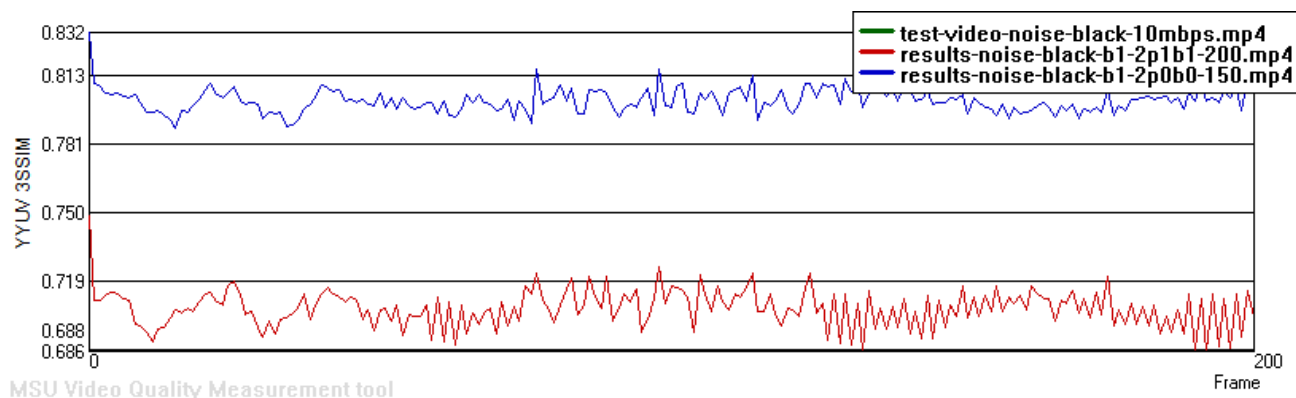
3.10 pav. Spalvų pasiskirstymo atvaizdavimas RGB ir HSV spalvų erdvėse su filmavimo juostos triukšmu, 100–asis kadras.

Eksperimentų metu skirtingiems duomenų rinkiniams pritaikomos identiškos išskyrimo nustatymų reikšmės. Tokiu būdu akivaizdžiai pastebimi skirtumai, tarp apdorojamos vaizdo medžiagos. Iš lentelės 3.5 matoma, jog idealius rezultatus vaizdo medžiagoje be netolygumų generavę nustatymai $p1b1-250$ šiuo atveju yra visiškai klaidingi. Tokių rezultatų skirtumą galima pagrįsti faktu, jog vaizdų sekose esantis triukšmas pakeičia foninės žalios spalvos reikšmes. Dėl šios priežasties atsiradę tamsesi nei 250 tonai nėra pašalinami.

3.5 lentelė. Testavimo rezultatai atliekant išskyrimą vaizdo medžiagoje su filmavimo juostos triukšmu.

Nr.	Spalvos išskyrimas su <i>RGB</i>	<i>SSIM</i> , 200 kadru reikšmių vidurkis	<i>3SSIM</i> , 200 kadru reikšmių vidurkis	<i>PNSR</i> , 200 kadru reikšmių vidurkis
1.	Išskiriamos srities riba = 250 Kraštinių korekcija = 1px Kraštinių suliejimas = 1	0.17061	0.12023	11.36641
2.	Išskiriamos srities riba = 200 Kraštinių korekcija = 1px Kraštinių suliejimas = 1	0.98098	0.70550	33.75341
3.	Išskiriamos srities riba = 150 Kraštinių korekcija = 0px Kraštinių suliejimas = 0	<u>0.98448</u>	<u>0.8009</u>	<u>34.87265</u>
4.	Išskiriamos srities riba = 150 Kraštinių korekcija = 1px Kraštinių suliejimas = 1	0.98397	0.78643	34.35769

Rezultatų grafike 3.11 pav. atvaizduojama *3SSIM* parametro kilimo kaita, kuomet mažinama slenkstinė išskiriamos spalvos reikšmė. Sumažinus nuo 250 iki 200 rezultatai pagerėjo, tačiau 150 generavo tiksliausių vaizdų sekos rezultatus.

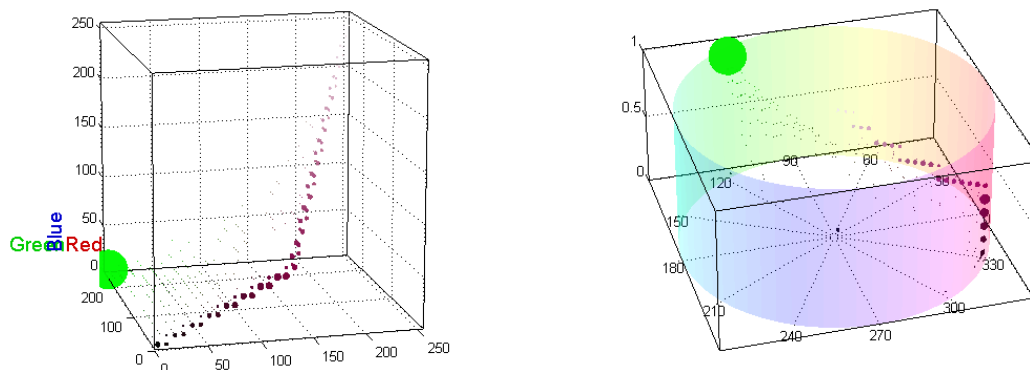


3.11 pav. Statistinio įverčio *3SSIM* rezultatai atlikus išskyrimo procesą vaizdo medžiagoje su filmavimo juostos triukšmu.

Atliekant vaizdo medžiagos su filmo juostos triukšmu testavimą, buvo apskaičiuotos statistinio parametro *PNSR* reikšmės. *PNSR* rodiklis parodo vaizdo triukšmo skirtumą tarp įvesties ir išvesties failų. Kuo reikšmė yra didesnė, tuo rezultatų failo kokybė išlaikoma geresnė. Šiuo atveju mažiausias triukšmo skirtumas gautas su testiniais rezultatais, kurių metu buvo generuojami aukščiausi *SSIM* ir *3SSIM* rodikliai. Iš to galima daryti sprendimą, jog kokybiškas srities išskyrimas įtakoja geresnius visų statistinių parametrų rodiklius.

3.2.4. Su pritaikyta tekstūra

Paskutinis testuojamas duomenų rinkinys yra žaliame fone judanti animacija, kuriai pritaikyta kompiuteriu sugeneruota tekstūra. Be to, nuo penktos sekundės, tekstūra pradeda animuotis pati, taip sukuriant kintantį dinaminį vaizdą. Toks duomenų rinkinys sukurtas testuoti metodo veikimą atveju, kuomet pats judantis objektas yra netolygus. Šį pavyzdį galima palyginti su vaizdo medžiagoje nufilmuotu žmogumi, kuomet dėvimi rūbai juda nekirsdami kūno aprėpiamo ploto. 3.12 pav. pavaizduotas spalvų išsidėstymas šimtajame kadre.



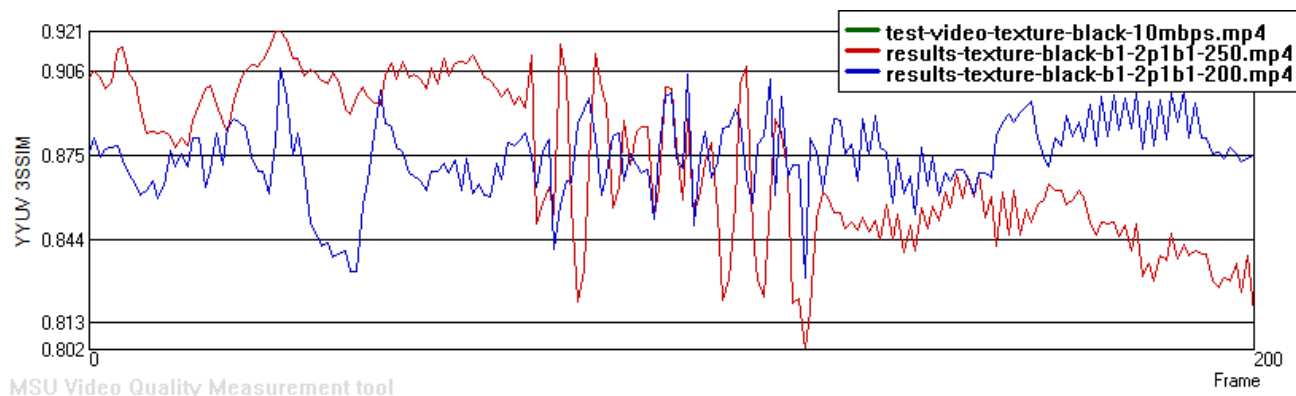
3.12 pav. Spalvų pasiskirstymo atvaizdavimas *RGB* ir *HSV* spalvų erdvėse su pritaikyta tekstūra, 100-asis kadras.

Žalios spalvos intensyvumas nepasikeitė, tačiau vietoje raudonos spalvos objekto matomas įvairių spalvų ir intensyvumų išsidėstymas. Kaip ir ankstesniais atvejais, duomenų rinkiniui pritaikomi išskyrimo nustatymai ir stebimas gautas rezultatas, lentelėje 3.6.

3.6 lentelė. Testavimo rezultatai atliekant išskyrimą vaizdo medžiagoje su pritaikyta tekstūra

Nr.	Spalvos išskyrimas su <i>RGB</i>	<i>SSIM</i> , 200 kadrovų reikšmių vidurkis	<i>3SSIM</i> , 200 kadrovų reikšmių vidurkis
1.	Išskiriamos srities riba = 250 Kraštinių korekcija = 1px Kraštinių suliejimas = 1	0.99252	0.87175
2.	Išskiriamos srities riba = 200 Kraštinių korekcija = 1px Kraštinių suliejimas = 1	<u>0.99400</u>	<u>0.87397</u>
3.	Išskiriamos srities riba = 150 Kraštinių korekcija = 0px Kraštinių suliejimas = 0	0.98773	0.74184
4.	Išskiriamos srities riba = 150 Kraštinių korekcija = 1px Kraštinių suliejimas = 1	0.99212	0.80271

Dėl įvairių spalvų tonų ir intensyvumų pasiskirstymo, šis duomenų rinkinys generavo pakankamai aukštas *3SSIM* vertes. Geriausias rezultatas gautas su *p1b1-200* nustatymais. Tai galima pagrįsti tuo, jog slenkstinė reikšmė 250 nepašalina kintančių atvaizdo tonų.

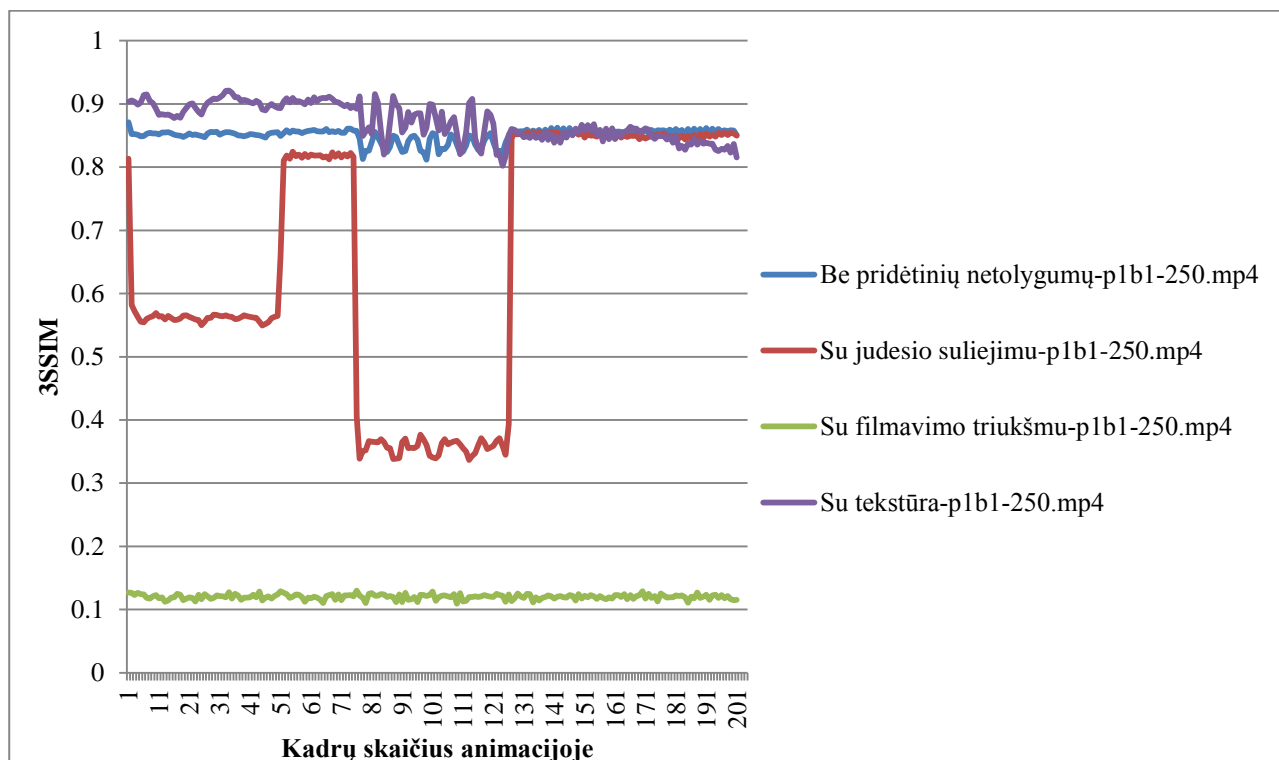


3.13 pav. Statistinio įverčio *3SSIM* rezultatai atlikus išskyrimo procesą vaizdo medžiagoje su pritaikyta tekstūra.

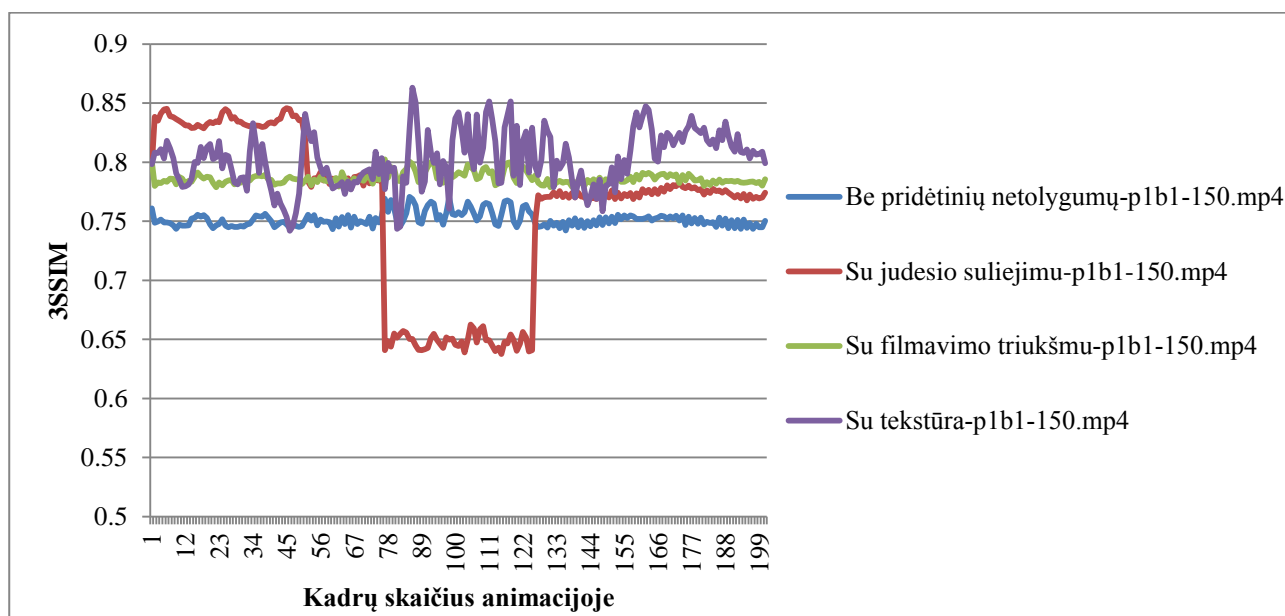
Grafike 3.13 pav. atvaizduojami *3SSIM* rezultatai. Objekto sukimosi metu, kaip ir jau ištestuotais atvejais, kokybė suprastėja. Pastebimas esminis skirtumas nuo visų anksčiau gautų rezultatų. Penktą sekundę prasidedanti judančio objekto vidinė animacija įtakoja kokybės blogėjimą. Kokybės mažėjimas grindžiamas tuo, jog animacija spartėja. Tai įtakoja staigesnį aktyviųjų taškų pokytį tarp kadro ir prastesnį objekto išskyrimą iš vaizdo medžiagos.

3.3. Rezultatų palyginimas

Siekiant parodyti koreliaciją tarp gautų rezultatų, statistinių parametrų *3SSIM* ir *SIM* įverčiai su slenkstinėmis reikšmėmis 250 ir 150 atvaizduojami grafikais. Tai leidžia stebėti rezultatų priklausomybę nuo testinių duomenų rinkinių. Žemiau atskirai aptariamos *3SSIM* ir *SIM* reikšmės.

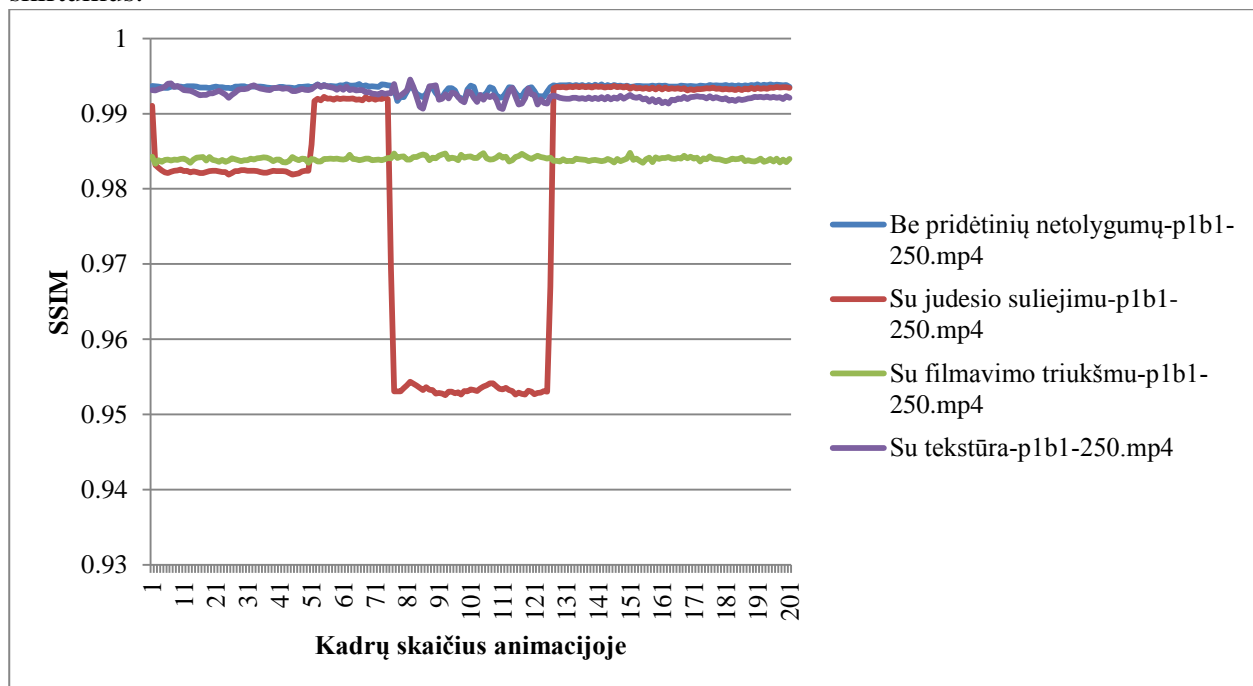


3.14 pav. *3SSIM* statistinio įverčio reikšmės, kuomet visiems vaizdo medžiagos rinkiniams pritaikomi *p1b1-250* išskyrimo nustatymai.

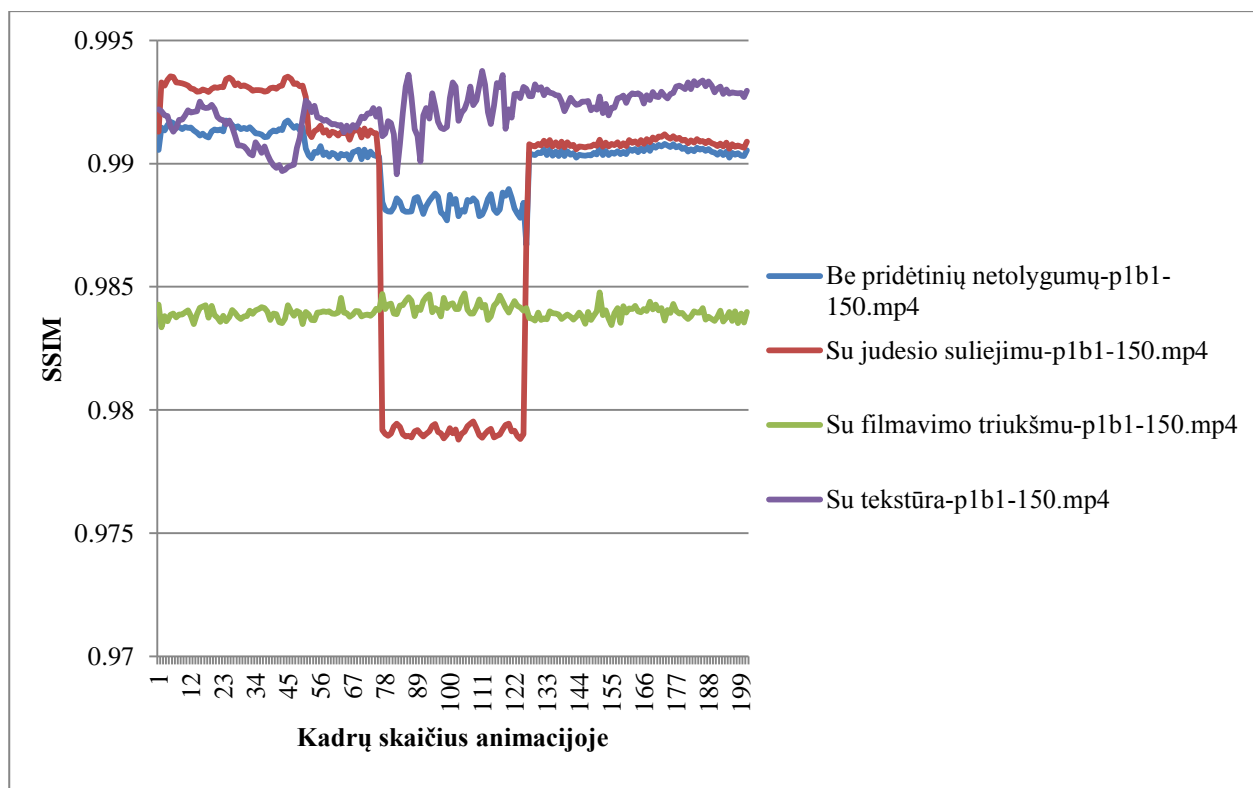


3.15 pav. *3SSIM* statistinio įverčio reikšmės, kuomet visiems vaizdo medžiagos rinkiniams pritaikomi *p1b1-150* išskyrimo nustatymai.

Kokybiškas rezultatų gavimas labiausiai priklauso nuo slekstinės vertės parinkimo. Lyginant 3.14 pav. ir 3.15 pav. esančias reikšmes matoma panaši grafikų struktūra, tačiau skiriasi *3SSIM* vertės. Taip yra dėl to, jog skirtingomis sąlygomis sukurtos vaizdo medžiagos išskyrimui reikia pritaikyti ne vienodus parametrus. Vienodų parametrų pritaikymas visais atvejais sukuria kokybinius skirtumus.



3.16 pav. *SSIM* statistinio įverčio reikšmės, kuomet visiems vaizdo medžiagos rinkiniams pritaikomi *p1b1-250* išskyrimo nustatymai.



3.17 pav. *SSIM* statistinio įverčio reikšmės, kuomet visiems vaizdo medžiagos rinkiniams pritaikomi *p1b1-150* išskyrimo nustatymai.

3.16 pav. ir 3.17 pav. pavaizduoti *SSIM* struktūriniai parametrai yra beveik identiški. Skirtumą tarp atskirų vaizdo medžiagos failų galima pagrįsti tuo pačiu principu kaip ir *3SSIM* – skirtingomis

sąlygomis sukurtiems duomenų rinkiniams reikia pritaikyti skirtingas slenkstines reikšmes. $3SSIM$ ir $SSIM$ yra struktūriniai vaizdo medžiagos parametrai, tačiau skirtumas tarp jų rezultatų – akivaizdus. Failo *su judesio suliejimu-p1b1-150.mp4* reikšmės šimtajame kadre $3SSIM$ yra lygios 0.64844, o $SSIM$ – 0.97912. Toks skirtumas yra dėl to, jog $3SSIM$ lygina objektų kraštines ir tekstūras, o $SSIM$ – visą bendrą struktūrą. Dėl šios priežasties $SSIM$ parametras turi didesnes vertes, nes šio statistinio įverčio pagalba lyginamas kiekvienas atvaizduose esantis aktyvusis taškas. Kadangi esminis skirtumas tarp vaizdo failų atsiranda kraštinių srityse, pokytis $SSIM$ rezultatuose yra nežymus.

3.4. Eksperimentinės dalies išvados

Skirtingų duomenų rinkinių testavimas leido ištirti statistinių parametru vertes keičiant išskiriamos srities nustatymus. Testavimų metu nustatyta, jog rezultatams spalvų erdvės parinkimas akivaizdžios įtakos neturi. RGB ir HSV spalvų erdvėms realizuoti metodai generavo beveik identiškus rezultatus (skirtumas 0.001 ribose). Kadangi atvaizdo informaciją reikia perkoduoti į HSV spalvų erdvę, sugaištama laiko, todėl RGB pagrindu veikiantis metodas veikia 1.7 karto greičiau. Dėl šios priežasties jis buvo pasirinktas tolimesniems testavimams su skirtingais duomenų rinkiniais.

Buvo atliktas kraštinių korekcijos funkcijų palyginimas tarp $MATLAB$ *Imerode()* ir darbe sukurtos *border_correction()* funkcijos. Nustatyta, jog atliekant vieno aktyviojo taško pašalinimą, funkcijos veikia identiškai. Išskirto objekto paviršiaus plotą sumažinus 2 arba 3 aktyviaisiais taškais, pastebimas minimalus skirtumas darbe sukurtos funkcijos naudai (nuo 0.001 iki 0.1). Funkcijų vykdymo laikas skiriasi tris kartus *Imerode()* naudai, todėl tolimesniuose testavimuose kraštinių korekcijai buvo naudojama $MATLAB$ funkcija.

Realizuotame metode yra trys nustatymų tipai: spalvinės slenksties riba, kraštinių korekcija ir kraštinių suliejimas. Atlikus testavimus su skirtingais duomenų rinkiniais nustatyta, jog didžiausią įtaką kokybiškam objekto išskyrimui turi tinkamas spalvinės slenksties parinkimas. Kraštinių korekcija ir kraštinių suliejimas gali nežymiai pagerinti gautus rezultatus. Statistinių parametru panaudojimas lyginant apdorotas vaizdo medžiagas leidžia atlikti kokybinį įvertinimą. Tokiu būdu galima objektyviai nustatyti atvaizduose esančius pokyčius.

4. REZULTATAI IR IŠVADOS

1. Nustatyti trys baziniai srities išskyrimo vaizdų sekoje metodai: pagal intensyvumą, spalvą, dviejų kadru skirtumą. Pirmų dviejų metodų veikimo principas pagrįstas spalviniu pagrindu – išskyrimas atliekamas panaudojant aktyviųjų taškų reikšmes. Vaizdų skirtumo metodu srities išskyrimas gaunamas atlikus atimties operacijas tarp kadru.
2. Programine įranga *MATLAB* buvo sukurti du metodai, atliekantys išskyrimo procesą vaizdų sekose. Pirmuoju atveju išskyrimas atliekamas panaudojant *RGB* spalvų vertes. Antruoju – konvertuojant *RGB* į *HSV*. Skirtingų spalvų erdvių pritaikymas suteikia galimybę atlikti veiksmus su kitokios struktūros spalvinės informacijos duomenimis.
3. Metodų generuojamų rezultatų testavimui buvo parinkta programinė įranga *VQMT*, leidžianti atlikti vaizdo medžiagos statistinių parametrų palyginimą. Vaizdo medžiagą pasirinkta testuoti *SSIM*, *3SSIM*, *PNSR* ir *MSU Blur* statistiniais įverčiais. Šių parametrų pagalba galima atlikti struktūrinius, triukšmo ir suliejimo testavimus. Gauti rezultatai atspindi vaizdo medžiagos kokybinius nuostolius po skaitmeninio apdorojimo.
4. *Adobe After Effects CC* programine įranga buvo sukurti testiniai duomenų rinkiniai, simuliuojantys filmuotai vaizdo medžiagai būdingus parametrus. Šių testinių vaizdų sekų apdorojimo srities išskyrimo metodais rezultatai buvo panaudojami statistiniams palyginimams atlikti.
5. Statistinių parametrų pagalba buvo nustatyta, jog metodų realizavimas skirtingomis spalvų erdvėmis *RGB* ir *HSV* generuoja praktiškai identiškus rezultatus. Dėl šios priežasties, tolimesniuose testavimuose buvo naudojamas *RGB* srities išskyrimo metodas, kadangi jo apdorojimo laikas 1.7 karto greitesnis nei *HSV* metodo. Toks greitaveikos skirtumas pasireiškė dėl to, jog *HSV* metode atliekama spalvų erdvių konversija, iš *RGB* į *HSV*.
6. Testavimo metu gauti statistiniai parametrai leido nustatyti srities išskyrimą vaizdų sekose apsunkinančius veiksnys. Atlikus vaizdų sekos apdorojimą srities išskyrimo metodu, didžiausią įtaką rezultatų struktūrai turėjo vaizdo judesio suliejimas. Intensyviai pasireiškiant šiam procesui, išskirtos srities struktūra nuo originalaus failo skyrėsi labiausiai. Šį pokytį akivaizdžiausiai atskleidė statistinis parametras *3SSIM*, lyginantis objektų kraštines, tekstūras ir gradientines sritis.
7. Vaizdo medžiagoje pasitaikantis filmo juostos triukšmo atsiradimas taip pat turi įtakos rezultatų suprastėjimui, tačiau šis veiksnys yra tolygus visoje vaizdo medžiagoje. Atlikus testavimą, hipotezė, jog tekstūros pritaikymas objektui gali turėti įtakos rezultatams, nepasiteisino. Jie išliko beveik nepakitę.

5. LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Bovik, A. 2009. The Essential Guide To Video Processing, 2nd Edition. Burlington: Academic Press. 143-156 p. ISBN: 978-0-12-374456-2
2. Foster, J. 2010. The Green Screen Handbook. Indianapolis: Wiley Publishing Inc. 62-70p. ISBN: 978-0-470-52107-6
3. Wright, S. 2010. Digital Compositing for Film and Video, Third Edition. Kidlington: Focal Press. 84 p. ISBN: 978-0-240-81309-7.
4. Noor A. Ibraheem, et al. Understanding Color Models: A Review. ARPN Journal of Science and Technology. 2012, 2(2), p. 265–273.
5. Pascale, D. 2003. A Review of RGB Color Spaces. Canada: BabelColor. 5-8p.
6. Christiansen, M. 2009. After Effects CS4 Visual Effects and Compositing, Studio Techniques. Berkeley: Peachpit. 240-247 p. ISBN: 978-0-321-59201-9
7. Wang, J. 2007. Foreground Segmentation in Images and Video: Methods, Systems and Applications. Summary of Doctoral Dissertation: Electrical Engineering. Washington. 3p.
8. Jack, K. 2005. Video Demystified. Elsevier: Oxford. ISBN: 0-7506-7822-4
9. Mukhopadhyay, J. 2011. Image and Video Processing in the Compressed Domain. CRC Press: London. 137-152 p. ISBN: 978-1-4398-2935-6
10. Szeliski, R. 2011. Computer Vision. Algorithms and Applications. London: Springer. 7-10p. ISBN: 978-1-84882-935-0
11. The MathWorks, 2014. Image Processing Toolbox, User's Guide. Natick: MathWorks.
12. Marques, O. 2011. Practical Image and Video Processing Using MATLAB. New Jersey: Wiley. ISBN: 978-0-470-04815-3
13. Laganieri, R. 2011. OpenCV 2 Computer Vision Application Programming Cookbook. Birmingham: Packt Publishing. 141-186 p. ISBN: 978-1-849513-24-1
14. Keelan, B. W. 2002. Handbook of Image Quality: Characterization and Prediction. New York: CRC Press. 186-188 p. ISBN: 0-8247-0770-2
15. Salomon, D. 2007. Data Compression: The Complete Reference. London: Springer. ISBN: 978-1-846-28602-5
16. Fernando Navarro, et al. Motion Blur Rendering: State of the Art. COMPUTER GRAPHICS forum. 2011, 30(1), p. 3–26.
17. Chaofeng Li. Content-weighted video quality assessment using a three-component image model. Journal of Electronic Imaging. 2010, 19(1), p. 011003-1– 011003-8.
18. Schultz, C. 2006. Digital Keying Methods. Bremen: Center for Computing Technologies.
19. Supported video file formats [interaktyvus] [žiūrėta 2015-02-21]. Prieiga per internetą: http://se.mathworks.com/help/matlab/import_export/supported-video-file-formats.html
20. Recommended upload encoding settings (Advanced) [interaktyvus] [žiūrėta 2015-04-25]. Prieiga per internetą: <https://support.google.com/youtube/answer/1722171?hl=en>
21. Video Compression Guidelines [interaktyvus] [žiūrėta 2015-04-25]. Prieiga per internetą: <https://vimeo.com/help/compression>
22. MSU Quality Measurement Tool: Metrics information [interaktyvus] [žiūrėta 2015-02-10]. Prieiga per internetą: http://www.compression.ru/video/quality_measure/info_en.html#start
23. MATLAB. The Language of Technical Computing [interaktyvus] [žiūrėta 2014-05-22]. Prieiga per internetą: <https://se.mathworks.com/products/matlab/>

6. PRIEDAI

Šiame skyriuje pateikiama su magistriniu darbu susijusi informacija, kuri neįeina į pagrindinį dokumentą.

KALENDORINIS PLANAS

Kauno technologijos universitetas

Informatikos fakultetas

Magistro studijų programa: **Informatika**

Magistro baigiamasis darbas tema: Srities išskyrimo vaizdų sekoje metodų tyrimas

IFM-3/1 gr.

stud.: Tomas Bumbulevičius

Kalendorinis darbo planas 2013/2014 m.

Eil. Nr.	Etapas	Atlikimo laikotarpis		Laukiamas rezultatas ir jo pateikimo forma
		nuo	iki	
1-asis semestras				
1.	Magistrinio darbo temos bei vadovo pasirinkimas	2013-09-09	2013-10-21	Temos pavadinimas suderintas su vadovu ir pateiktas studijų programos kuratoriui
2.	Tyrimo objekto nustatymas bei preliminarių tikslų ir uždavinių suformulavimas	2013-10-21	2013-11-22	Tyrimo objektas bei preliminarūs darbo tikslai aprašyti tarpinėje tiriamojo darbo ataskaitoje
3.	Literatūros analizė	2013-10-21	2013-12-31	Susipažįstama su rinkoje esančiais įrankiais bei jų veikimo principu
4.	Nagrinėjamų metodų pasirinkimas	2013-12-01	2013-12-07	Išrenkami metodai tolimesnei analizei
5.	Metodų aprašymas: pristatymas, veikimo principas, matematinis modelis	2014-01-01	2014-01-14	Išanalizuojama bei tarpinėje tiriamojo darbo ataskaitoje pateikiama infomacija apie vaizdo medžiagoje naudojamų regionų šalinimo metodų veikimą
6.	Ataskaita moduliui P000M103 Tiriamasis projektas 1	2014-01-01	2014-01-21	„Microsoft Word“ programa paruošta ataskaita
7.	Pirmojo semestro darbo pristatymas	2014-01-22	2014-01-27	„Power Point“ programa paruoštas pristatymas

Eil. Nr.	Etapas	Atlikimo laikotarpis		Laukiamas rezultatas ir jo pateikimo forma
		nuo	iki	
2-asis semestras				
1.	<i>Adobe After Effects SDK</i> analizė ir testavimas	2014-02-21	2014-04-31	Atliekama <i>AAE SDK</i> analizė
2.	Reikalavimų sprendimui formulavimas	2014-05-01	2014-05-31	Antroje darbo dalyje aprašomi preliminarūs reikalavimai projektui
3.	Ataskaita moduliui P000M105 Tiriamasis projektas 2	2014-02-11	2014-06-06	„Microsoft Word“ programa paruošta ataskaita
4.	Pirmojo semestro darbo pristatymas	2014-05-24	2014-06-06	„Power Point“ programa paruoštas pristatymas
3-asis semestras				
1.	Algoritmų palyginimas	2014-09-08	2014-09-27	Pasirenkami algoritmai darbo realizavimui
2.	Dokumentacijos rengimas	2014-09-15	2014-09-30	Baigiama analizės dalis
3.	Sprendimo projektavimas	2014-10-01	2014-10-07	Sukuriamas sprendimo projektas
4.	Sprendimo realizacija	2014-10-07	2014-11-22	Atliekamas sprendimo realizavimas
5.	Sprendimo testavimas	2014-11-23	2014-12-22	Atliekamas sprendimo testavimas. Pateikiami testavimo etapų rezultatai
6.	Ataskaita moduliui P000M104 Tiriamasis projektas 3	2014-09-08	2014-12-22	„Microsoft Word“ programa paruošta ataskaita
7.	Pirmojo semestro darbo pristatymas	2015-01-06	2014-01-17	„Power Point“ programa paruoštas pristatymas
4-asis semestras				
1.	Eksperimentinės dalies kūrimas	2015-02-08	2015-02-14	Sukuriamas eksperimentinės dalies atlikimo planas
2.	Eksperimentinės dalies rezultatų ir išvadų formulavimas	2015-02-15	2015-03-01	Atliekami eksperimentai ir pateikiami rezultatai
3.	Ataskaitos rengimas	2015-02-08	2015-03-31	Baigiama dokumentacija
4.	Magistrinio darbo pristatymo rengimas	2015-04-01	2015-04-15	Sukuriamas darbo pristatymas
5.	Magistrinio darbo baigimas	2015-04-15	2015-04-30	Dokumentacija bei sukurtas produktas pateikiami katedrai

