

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Darius MATEIKA

**SPECIALIOS PASKIRTIES DOKUMENTŲ
BENDRO KŪRIMO IR NAUDOJIMO
ELEKTRONINĖS SISTEMOS TYRIMAS**

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai, Elektros ir elektronikos inžinerija (01T)

Vilnius, 2008

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Darius MATEIKA

**ANALYSIS OF THE ELECTRONIC
SYSTEM DEDICATED FOR SHARED
CREATION AND USAGE OF
SPECIALIZED DOCUMENTS**

Doctoral Dissertation

Technological Sciences, Electrical and Electronic Engineering (01T)

Vilnius, 2008

Disertacija rengta 2004–2008 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Darbo mokslinis vadovas

prof. habil. dr. Romanas Martavičius (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, elektros ir elektronikos inžinerija – 01T).

<http://leidykla.vgtu.lt>

VG TU leidyklos TECHNIKA 1551-M mokslo literatūros knyga

ISBN 978-9955-28-358-4

© Mateika, D., 2008

© VG TU

leidykla

TECHNIKA,

2008

Reziumė

Disertacijoje nagrinėjamos specialios paskirties dokumentų valdymo sistemų (DVS) duomenų saugojimo, perdavimo ir automatizuoto įvedimo problemos. Pagrindiniai tyrimo objektai vaizdų glaudinimo algoritmai ir specialios paskirties medicininiai bei aviaciniai vaizdai. Bendros paskirties dokumentų valdymo sistemos šiandien jau yra tiek išstobulintos, kad pamažu pradedamos taikyti srityse, kur iki šiol dominavo tik specialiam uždaviniui spręsti skirtos sistemos. DVS taikant specializuotose srityse silpniausia sritis yra specializuotų duomenų saugojimas, perdavimas ir automatizuotas įvedimas. Likusių komponentų darbas iš esmės lieka toks pat kaip ir DVS naudojant įprastose srityse. Pagrindinis disertacijos tikslas yra ištirti specializuotuose dokumentuose esančių vaizdų saugojimo ir perdavimo dokumentų valdymo sistemoje galimybes, taip pat sukurti metodus ir algoritmus skirtus automatizuotam šių vaizdų įvedimui. Sukurtų algoritmų taikymo sritis yra DVS komponentai skirti specialios paskirties vaizdinės informacijos saugojimui, perdavimui ir automatizuotam įvedimui.

Darbe sprendžiami keli pagrindiniai uždaviniai. Pirmuoju siekiama ištirti medicininių, aviacinių ir bendrojo pobūdžio vaizdų glaudinimo įvairiais medicinoje ir DVS įprastais metodais galimybes bei parinkti metodą ar jų kombinaciją tinkamiausią vaizdų saugojimui ir perdavimui. Antruoju siekiama sukurti metodus skirtus automatizuotam didelių vaizdų sudarymui apjungiant mažesnius fragmentus, sutapdinimą vykdant pagal dirbtinai įterptas žymes ir pagal bendrąsias vaizdų savybes. Pirmasis uždavinys suformuluotas atsižvelgiant į tai, jog įprastinės DVS pritaikytos dirbti daugiausiai su tekstinių dokumentų vaizdais ir jose trūksta metodų skirtų darbui su dideliais specializuotais vaizdais. Antrasis siejasi su automatizuotu vaizdinės informacijos į DVS įvedimu, kadangi DVS dažniausiai būna numatytas tik tekstinių popierinių dokumentų automatizuotas įvedimas.

Disertaciją sudaro įvadas, ketveri skyriai, rezultatų apibendrinimas, literatūros ir publikacijų sąrašai. Taip pat yra priedas, kuriame atspausdinti tyrimuose naudoti vaizdų pavyzdžiai. Papildomai yra sudaryti disertacijoje dažnai naudojamų žymėjimų bei santrumpų sąrašai.

Įvade nagrinėjamas problemos aktualumas, formuluojamas darbo tikslas bei uždaviniai, aprašomas mokslinis darbo naujumas, pristatomi autoriaus pranešimai ir publikacijos, disertacijos struktūra.

Pirmasis skyrius skirtas literatūros apžvalgai. Jame pateikta dokumentų valdymo sistemų raidos ir jų taikymo darbui su specializuotais dokumentais apžvalga, aptarti medicininuose įrenginiuose ir dokumentų valdymo sistemose

populiariausi vaizdų saugojimo formatai, vaizdų glaudinimo kokybės vertinimo algoritmai ir jų tinkamumas įvairių tipų vaizdų kokybės vertinimui, didelių vaizdų sudarymo apjungiant mažesnius fragmentus metodai. Skyriaus pabaigoje pateikiamos išvados ir formuluojami disertacijos uždaviniai.

Antrajame skyriuje pateiktas medicininių, aviacinių ir bendrojo pobūdžio vaizdų glaudinimo santykio ir glaudinimo kokybės tyrimas. Skyriaus pradžioje aprašomas pasiūlytas glaudinimo kokybės vertinimo algoritmas, kokybės vertinimo eksperimentas ir aptariami jo rezultatai. Nustatomas tinkamiausias tirtų vaizdų saugojimui ir perdavimui skirtas glaudinimo metodas, pateikiami eksperimentiniai vaizdų perdavimo, naudojant dvejopą glaudinimo metodą, rezultatai.

Trečiajame ir ketvirtajame skyriuose tiriamos automatizuoto didelių vaizdų sudarymo apjungiant keletą mažesnių fragmentų galimybės. Pasiūlytos metodikos bei algoritmai vaizdų su stambiomis detalėmis apjungimui panaudojant dirbtinai įterptas sutapdinimo žymes ir vaizdų su smulkiomis detalėmis apjungimui panaudojant bendrąsias vaizdo savybes.

Disertacijos tema perskaityti 8 pranešimai Lietuvos bei tarptautinėse konferencijose Lietuvoje ir Lenkijoje bei paskelbti 7 straipsniai: 2 straipsniai Mokslinės informacijos instituto (ISI) duomenų bazėse referuojamuose žurnaluose (Thomson ISI Web of Science), 2 straipsniai žurnaluose referuojamuose kitose pripažintose duomenų bazėse, kurių sąrašą sudaro Lietuvos mokslo taryba (Inspec, Compendex), 1 – recenzuojamoje tarptautinės konferencijos medžiagoje bei 2 – Lietuvos konferencijų darbų medžiagoje.

Abstract

The main idea of current PHD thesis is an analysis of the specialized data storage, transfer and automated registration problems in the Document management systems (DMS). Objects of the investigation are image compression methods, image stitching methods and special purpose document images. General purpose document management systems today are already high developed and recently it become possible to apply them in specialized environment. Except for specialized data storage, transfer and automated registration features, modern DMS are well suitable for operation in specialized environment. The aim of work is covers the investigation of methods suitable for storage and transfer of special purpose medical and aerial images. The other purpose encompasses the development of methods and algorithms for automated large image registration. Proposed methods can be employed as DMS features responsible for specialized document storage, transfer and automated registration.

There are several main tasks under consideration. The first one is to investigate performance of image compression methods and propose a method or a combination of methods most suitable for storage and transmission of specialized images. Methods common for DMS and specialized systems are used to compress medical, aerial and general purpose images. Second one is large image formation out of several smaller fragments, when fragment matching is based on artificial markers and general image features. First task is stated considering that usual images in DMS are document images and there is lack of methods and practices for working with specialized images. Second task is related to automated document registration in DMS, because usually DMS allows only automation scanned paper document registration. There is lack of specialized image registration automation methods.

The thesis consists of general characteristic of the dissertation, four chapters and general conclusions. Lists of references and author's publications are presented after conclusions.

General characteristic of the dissertation is dedicated for an introduction to the problem and its topicality. There are also formulated objectives and tasks of the work, the used methods and novelty of solutions are described, presented structure of the thesis.

First chapter covers an analysis of existing publications related with problems of the thesis. There are presented reviews of document management system evolution and applications in specialized environments, reviews of image compression methods, image quality evaluation methods and their suitability for

measuring quality of compressed images. Finally, there is analysis of the large image formation methods, where large image is stitched out of several smaller fragments. Chapter is ending by conclusion and formulation of the thesis objectives.

In the second chapter investigation of medical, aerial and general purpose image compression ratio and compression quality performances are presented. Beginning of the chapter describes the proposed image quality evaluation algorithm. Presented image compression quality and ratio evaluation experiment, discussed outcomes of the experiment. As the result, the method for storage and transfer of medical images is presented. Method allows faster image review when image is send using low bandwidth channel.

Third and Fourth chapters cover investigation of the large image formation methods based on stitching several smaller fragments. Proposed methods for fully automatic stitching of low contrast, big objects and high contrast, small details images. Methods are based on fragment matching by using artificial markers and general image features.

The results of the thesis were announced in 8 Lithuanian and international conferences in Lithuania and Poland. There were also printed 7 scientific papers: 2 of which are in journals referred by Information Sciences Institute (ISI) databases (Thomson ISI Web of Science), 2 papers in journals referred by other accredited by Lithuanian Science Council databases, 1 is printed in the international reviewed conference proceedings and 2 are published in other conference proceedings.

Žymėjimai

Simboliai

A_{ijk}	originalaus vaizdo i -tojo pločio ir j -tojo aukščio taško skaistis k -tame spalviniame kanale.
A_{gijk}	glaudinto vaizdo i -tojo pločio ir j -tojo aukščio taško skaistis k -tame spalviniame kanale.
A_{siijk}	skirtuminio vaizdo i -tojo pločio ir j -tojo aukščio taško skaistis k -tame spalviniame kanale.
$x_{M \times N}$	diskrečioji $M \times N$ dydžio vaizdo skaisčio funkcija.
M	vaizdo taškų stulpelių skaičius.
N	vaizdo taškų eilučių skaičius.
$X_{p,q}$	diskretusis vaizdo x Fourier spektras.
w_M	fazės daugiklis žingsniui eilutėje.
w_N	fazės daugiklis žingsniui stulpelyje.
p	horizontalusis diskretusis spektro dedamosios dažnis.
q	vertikalusis diskretusis spektro dedamosios dažnis.
j	diskretusis kintamasis; vaizdo eilutės numeris.
i	diskretusis kintamasis; vaizdo stulpelio numeris.
K	diskretusis kintamasis; spalvinio kanalo numeris.
M_0	perslinktoji vaizdo spektro centro horizontalioji koordinatė.
N_0	perslinktoji vaizdo spektro centro vertikalioji koordinatė.
$x_n[m]$	n -tosios vaizdo eilutės diskrečioji skaisčio funkcija.
$b_k(m)$	perėjimo funkcijos m -tajam kairiojo vaizdo eilutės taškui vertė.
$b_d(m)$	perėjimo funkcijos m -tajam kairiojo vaizdo eilutės taškui vertė.
$CC(p_h, p_v)$	vaizdų tarpusavio koreliacijos koeficientas.
$CC_N(p_h, p_v)$	normuotas vaizdų tarpusavio koreliacijos koeficientas.
M_k	mastelio korekcijos koeficientas.
l_Δ	detektoriaus perslinkimo atstumas.
h	detektoriaus aukštis.
v	detektoriaus greitis.
z	fiksuojamų fragmentų rezoliucija.
T	laiko tarp fragmentų fiksavimo intervalas.
w	Gauss langas.
$C(x, y)$	diskretusis vaizdo kampotumo žemėlapis.
$C_T(x, y)$	diskretusis vaizdo kampotumo žemėlapis apdorotas slenksčio funkcija.
I_m	skaisčio lygmenų vaizde kiekis.

Santrumpos

DVS	dokumentų valdymo sistema.
EPK	elektroninė paciento kortelė.
VKK	vidutinės kvadratinės klaidos įvertis.
VEK	vidutinės eksponentinės klaidos įvertis.
PSTN	pikinis signalo/triukšmo santykio įvertis.
DICOM	skaitmeninių medicininių įrenginių vaizdų saugojimo ir perdavimo formatas (<i>angl. – Digital Imaging and Communications in Medicine</i>).
TCP	transporto kontrolės protokolas (<i>angl. – Transport Control Protocol</i>).
IP	pasaulinio tinklo protokolas (<i>angl. – Internet Protocol</i>).
SIFT	nepriklausomų nuo mastelio charakteringų vaizdo taškų nustatymo metodas (<i>angl. – Scale Invariant Feature Transform</i>).
SURF	pagreitintas tikslų charakteringųjų vaizdo bruožų nustatymo metodas (<i>angl. – Speeded Up Robust Features</i>).

Turinys

Reziumė	v
Abstract	vii
Žymėjimai	ix
Įvadas.....	1
Darbo aktualumas.....	1
Problemos formulavimas.....	2
Tyrimų objektas.....	5
Darbo tikslas.....	5
Darbo uždaviniai	5
Tyrimų metodai	6
Mokslinis darbo naujumas	6
Praktinė vertė	6
Ginamieji teiginiai.....	6
Darbo rezultatų aprobavimas	7
Disertacijos struktūra.....	7
1. Specialios paskirties dokumentų valdymo sistemų analizė.....	9
1.1. Dokumentų valdymo sistemos	9
1.1.1. Elektroninio dokumentų valdymo privalumai lyginant su įprastu dokumentų valdymu	12
1.1.2. Dokumentų valdymo sprendimų poreikiai dabar ir ateityje.....	14
1.1.3. Dokumentų valdymo sistemos Lietuvoje.....	15
1.1.4. Specializuotos paskirties DVS.....	16
1.2. Vaizdų glaudinimo analizė.....	19
1.2.1. Vaizdų glaudinimo metodai	19

1.2.2. Vaizdų glaudinimo kokybės vertinimas.....	22
1.3. Didelių vaizdų sudarymo apjungiant keletą mažesnių metodai	25
1.4. Pirmojo skyriaus išvados. Uždavinių formulavimas	30
2. Vaizdų glaudinimo metodų tyrimas.....	31
2.1. Vaizdų glaudinimo kokybės palyginimo metodas	32
2.2. Vaizdų glaudinimo kokybės vertinimo algoritmo įgyvendinimas	34
2.3. Glaudintų vaizdų kokybės vertinimo eksperimentai	36
2.4. Vaizdų glaudinimo metodų tyrimo rezultatai.....	38
2.5. Medicininių vaizdų glaudinimo rekomendacijos	45
2.6. Antrojo skyriaus išvados	52
3. Didelių vaizdų sudarymas panaudojant dirbtines žymas	55
3.1. Didelių vaizdų sudarymo problema	56
3.2. Didelių vaizdų sudarymo etapai.....	56
3.3. Reikalavimai į vaizdą įnešamoms dirbtinėms žymoms.....	57
3.4. Visiškai automatizuoto medicininių rentgeno vaizdų apjungimo algoritmas	59
3.4.1. Dirbtinių žymų juostos stačiakampių rentgeno vaizde išskyrimas ...	61
3.4.2. Vaizdo fragmento pasukimo kampo nustatymas	62
3.4.3. Fragmento mastelio nustatymas.....	68
3.4.4. Fragmentų tarpusavio perstūmimo nustatymas.....	70
3.4.5. Dviejų fragmentų sujungimas	72
3.5. Trečiojo skyriaus išvados	75
4. Didelių vaizdų sudarymas panaudojant bendrąsias vaizdų savybes	77
4.1. Vaizdo fragmentų sutapdinimas remiantis bendrosiomis savybėmis	78
4.2. Daugkartinis fragmentų persidengimas.....	80
4.3. Vaizdo fragmentų apjungimo pagrįsto kampų taškų ieškojimu algoritmas	82
4.3.1. Kampų taškų vaizdo fragmente nustatymas	84
4.3.2. Slenksčio vertės įtaka ieškomies kampų taškams ir jos vertės parinkimas.....	87
4.3.3. Taškų apjungiamuose vaizduose susiejimas	93
4.3.4. Fragmento pasukimo kampo nustatymas	95
4.3.5. Fragmento mastelio nustatymas.....	98
4.3.6. Fragmentų perslinkimo vienas kito atžvilgiu nustatymas.....	98
4.3.7. Fragmentų apjungimas.....	99
4.4. Ketvirtojo skyriaus išvados	100

Rezultatų apibendrinimas.....	101
Literatūros sąrašas	105
Autoriaus publikacijų sąrašas disertacijos tema	115
Priedas. Tyrimuose naudoti vaizdai	117

Ivadas

Darbo aktualumas

Šiuolaikinės visuomenės informaciniai poreikiai auga milžiniškais tempais. Tokiomis sąlygomis tik tiksli ir laiku gaunama informacija gali garantuoti sėkmingą veiklą. Tačiau sėkminga organizacijos veikla nėra susijusi vien tik su iš išorės ją pasiekiančia informacija apie rinkos būseną, konkurentų planus ir artimiausias šalies ekonomikos kitimo tendencijas. Labai svarbus yra efektyvus informacijos cirkuliavimas organizacijos viduje. Tai ypač aktualu didelėms įstaigoms, turinčioms daug padalinių, kuriose dirba daug darbuotojų.

Didėjant aktualios informacijos kiekiui, visą šią informacijos srautą reikia valdyti. Idealiu atveju visi darbuotojai turėtų gauti jiems skirtą informaciją būtent tuomet kai ji yra reikalinga. Kitu atveju kažkas tos informacijos turės laukti ir negalės atlikti tolimesnių darbų, o tai jau prastova. Prastovos didina produkcijos savikainą, didina projektų įgyvendinimo riziką, mažina organizacijos konkurencingumą.

Problemų sprendimui taikomi įvairūs dokumentų valdymo sprendimai. Dokumentų valdymo sistemų (DVS) atsiradimas, leido supaprastinti dokumentų paiešką ir perdavimą. Sistemoms tobulėjant atsirado galimybė dokumentus pasirašyti elektroniniu parašu, kuris daugelyje valstybių jau yra įstatymiškai

prilygintas tradiciniam parašo variantui. Tai sudarė galimybę apskritai atsisakyti įprastų, popierinių dokumentų laikmenų ir paversti juos elektroniniais. Popierinių dokumentų pakeitimas elektroniniais leidžia išvengti jų saugojimo milžiniškuose archyvuose.

Dokumentai yra pagrindinė organizacijų komunikavimo priemonė. Dokumentų dėka skirtingas organizacijos funkcijas vykdančios padaliniai gali bendradarbiauti kurdami galutinį produktą. Dokumentai yra tarsi verslo procesų transportas ir visa organizacijos atmintis. Esant tokiai glaudžiai sąsajai tarp organizacijos verslo procesų ir dokumentų, natūralu kad dokumentų valdymo sistemoms yra priskiriamos ir verslo procesų organizavimo funkcijos. Proceso automatizavimo informacija siunčiama kartu su dokumentu, tokiu būdu atsiranda galimybė dokumentą reikiamu momentu turėti reikiamoje vietoje su papildoma informacija, ką su juo reikia daryti. Taip valdomi tiek dokumentų srautai, tiek su jais susiję darbo procesai.

Dokumentų valdymo sistemoms tobulėjant buvo panaikinti apribojimai dokumento formatui. Moderniose DVS dokumentu laikoma tiek vos kelių bitų apimties duomenų seka, tiek tekstinis dokumentas, tiek vaizdinė ar garsinė medžiaga, arba bet koks kitas kompiuterinis duomenų formatas. Apribojimų dokumentų tipams panaikinimas išplėtė DVS taikymo sritis. Atsirado galimybė DVS panaudoti srityse, kuriose anksčiau buvo naudojamos unikalios, konkrečiam uždaviniui spręsti pritaikytos sistemos.

Norint DVS panaudoti specialios paskirties srityse svarbiausias uždavinys yra sistemos pritaikymas darbui su specializuotais duomenimis. Net jeigu šiuolaikinės DVS ir neskirsto dokumentų į tipus, visiems galioja ta pati apdorojimo koncepcija, būtina atsižvelgti į tai, kad specializuoti dokumentai gali būti žymiai didesnės nei įprastiniai dokumentai apimties, gali būti sudėtinga ar nepatogu juos įvesti į sistemą, gali kilti atvaizdavimo ir kitų problemų.

Taigi, yra svarbu nustatyti, kurios DVS savybės yra labiausiai tobulintinos taikant sistemas specializuotose terpėse, kokios būtų naudingos papildomos funkcijos darančios sistemą pilnaverte naujoje aplinkoje.

Problemos formulavimas

Tradicinė DVS naudojimo sritis yra popierinių – tekstinių organizacijos dokumentų ir/ar jų atvaizdų valdymas. Kadangi moderniose dokumentų valdymo sistemose nėra apribojimų informacijos laikomos dokumentu rūšims, DVS sėkmingai žengia į specializuotas sritis, kuriose dokumentai įgauna vaizdų, garso/vaizdo įrašų, brėžinių ir kitų rūšių pavidalus. Tai leidžia elektroninių dokumentų valdymo sistemoms įžengti į sritis, kuriose anksčiau veikdavo tik

specializuotos elektroninės sistemos, skirtos su specializuota informacija susijusiems procesams automatizuoti.

Lyginant su specializuotomis sistemomis, DVS turi ir privalumų ir trūkumų. Vienas svarbiausių privalumų yra tas, kad DVS kaip produktas, per daugelį metų jau yra išstobulintas. Žinoma kokie komponentai sistemai yra būtini, kokias funkcijas jie turi vykdyti. Dokumentų valdymo sistemoms jau yra suformuluoti ir laiko patikrinti reikalavimai. Specializuotos sistemos dažniausiai yra kuriamos pagal individualų užsakymą. Iš vienos pusės tai yra gerai, nes užsakovas gali pats nuspręsti kokios sistemos jam reikia, ką ir kaip ji turi daryti. Didžiausia problema yra tame, kad pasakyti kaip sistema turi veikti yra daug sudėtingiau, negu sukurti sistemą veikiančią pagal konkretų aprašymą. Labai sudėtinga dar neturint veikiančios sistemos numatyti kas joje yra svarbiausia, kur gali kilti daugiausiai problemų. Todėl dažnai tokios sistemos sprendžia tik dalį uždavinių, kuriems jos buvo kuriamos. Dėl šių priežasčių, yra tendencija individualius procesų automatizavimo sprendimus keisti sprendimais pagrįstais moderniais DVS produktais.

Puikus srities, kurioje DVS apima plačiausią dokumentų rūšių spektrą pavyzdys yra medicininė kompiuterizuota paciento įrašų sistema, dar vadinama Elektronine pacientų kortele (EPK). Gydomo metu kiekvienam pacientui yra kaupiama istorija apie visus profilaktinius patikrinimus, atliktus tyrimus, paskirtus gydymo metodus, nusiskundimus, netgi žalingus įpročius ir pan.

Duomenys į EPK atkeliauja iš įvairiausių šaltinių, tačiau pagal turinį juos galima suskirstyti į 7 apibendrintas kategorijas: struktūrizuoti duomenys, nestruktūrizuoti duomenys, dokumentų atvaizdų duomenys, diagnostinių vaizdų duomenys, audio duomenys, video duomenys. Pateiktame sąrašė dokumentų valdymo sistemoms netipiniai duomenys yra video, audio, vaizdų (skirtingų nuo dokumentų atvaizdų), garsų failai. Norint DVS taikyti tokiose specializuotose srityse, kaip Elektroninė paciento kortelė, aplinkosaugos informacinė sistema (kur daug dirbama su aviaciniais vaizdais) ar kitoje srityje, kurioje dirbama su išvardintomis duomenų kategorijomis, būtina tobulinti arba maksimaliai panaudoti DVS sritis susijusias su specializuotų duomenų įvedimu, saugojimu, perdavimu ir atvaizdavimu.

Tradiciinis DVS dokumentas yra tekstinis dokumentas. Be tekstinių dokumentų dažnai naudojami tekstinių dokumentų atvaizdai – skenuoti tekstiniai dokumentai. Skenuoti dokumentų atvaizdai net ir glaudintame formate užima apie 10–15 kartų daugiau atminties talpos negu tekstiniai dokumentai. Tai pasiekama tik neaukštų reikalavimų vaizdo suprantamumui dėka. Dirbant su specializuotais, tokiais kaip medicininiai ar aviaciniai, vaizdais reikalavimai suprantamumui yra kiti. Todėl norint DVS taikyti darbui su šių rūšių dokumentais pirmiausia būtina įvertinti jų glaudinimo galimybes, parinkti tinkamiausius glaudinimo metodus.

Vaizdams glaudinti naudojami dvejopi glaudinimo metodai: glaudinantys su informacijos praradimu ir be informacijos praradimo. Vaizdus glaudintus be praradimo visada galima atstatyti į originalią būseną, su praradimu – jie iškraipomi neatstatomai. DVS plačiai naudojamas tekstinių dokumentų atvaizdų glaudinimas, taikant su praradimu glaudinančius metodus. Vaizdai stipriai iškraipomi, tačiau norint dokumentų atvaizdų informaciją perskaityti pakanka, kad būtų perskaitomi teksto simboliai. Čia leidžiami dideli iškraipymai ir pasiekiami dideli glaudinimo santykiai. Medicininių vaizdų saugojimui glaudinimo su praradimu kokybė yra svarbesnė. Klaidingo medicininio sprendimo, priimto dėl iškraipyto vaizdo, kaina gali būti per didelė. Todėl medicininius vaizdus glaudinant su praradimu būtina įvertinti priimtino vaizdų iškraipymo ribas ir pasiekiamus glaudinimo santykius. Informacijos praradimas aviaciniuose vaizduose nėra toks svarbus kaip medicininiuose, tačiau šie vaizdai būna labai dideli, kas verčia juos glaudinti aukštesniu santykiu. Vaizdų glaudinimui pasirinkus be praradimo glaudinančius algoritmus, būtina įvertinti kuriuo iš metodų glaudinant pasirinktos rūšies vaizdus pasiekiamas didžiausias glaudinimo santykis.

Svarbi problema didelių vaizdų įvedimas. Dažnai reikalingas vaizdas gali būti gautas tik apjungiant kelis mažesnius vaizdo fragmentus. Tai daroma skaitant didelius dokumentus mažesnio dydžio skeneriais, jų galimybę nuskanuoti apriboja skaitymo įrenginio matmenys. Analogiška problema sprendžiama sudarant panoramines nuotraukas $135^{\circ} \times 200^{\circ}$ iš įprastų fotoaparatus $50^{\circ} \times 35^{\circ}$ nuotraukų. Dėl fotodetektorių skiriamosios gebos apribojimų fotožemėlapių vaizdas turi būti klijuojamas iš dalių. Medicinoje darant didelių matmenų rentgeno nuotraukas, jų dydį riboja įrenginio sudėtingumas, kaina sąlygojantis bei fiziniai matmenys.

Norint iš kelių mažesnių vaizdo fragmentų padaryti didelį vientisą vaizdą reikia labai tiksliai žinoti kaip vaizdo fragmentai yra išdėstyti vienas kito atžvilgiu. Tik tokiu būdu galima gauti vientisą vaizdą be sujungimo žymių. Apjungiant vaizdus galima elgtis dvejopai: fiksuoti vaizdus galimai tiksliau ir juos sujungti pasikliaujant tik fiksavimo parametrais arba fiksuoti persidengiančius vaizdus mažesniu tikslumu, o atsiradusius netikslumus eliminuoti, pasinaudojant apjungimo parametrais nustatytais persidengiančiose vaizdo srityse.

Pirmasis būdas reikalauja techninės įrangos tikslumo. Jis yra brangus ir sudėtingas. Be to, apjungiant vaizdus tokiu būdu, sunku išvengti vaizdo segmentuotumo. Antrasis būdas gali būti naudojamas su daug paprastesne technika, bet čia reikia apdoroti informaciją persidengiančiose vaizdo srityse. Vertinant šiuolaikinės kompiuterinės technikos pajėgumus ir kainą antrasis būdas šiuo metu yra daug patrauklesnis.

Taigi šiame darbe nagrinėjamos specializuotų dokumentų valdymo sistemų pagrindinės problemos: vaizdų saugojimo ir perdavimo galimybės, didelių vaizdų įvedimo į sistemą metodikos bei algoritmai skirti automatizuotam didelių vaizdų sudarymui apjungiant mažesnius vaizdų fragmentus.

Tyrimų objektas

Darbo tyrimų objektą sudaro su informacijos praradimu ir be informacijos praradimo vaizdų glaudinimą vykdantys kompiuteriniai vaizdų saugojimo formatai, skaitmeniniai vaizdai, kurie pagal turinį suskirstyti į tris grupes: mediciniais įrenginiais gauti vaizdai (ultragarso, magnetinio rezonanso, kompiuterinės tomografijos ir rentgeno įrenginiais), aviaciniai vaizdai, bendrojo pobūdžio vaizdai. Be to, darbe tiriama didelių vaizdų sudarymo metodai.

Darbo tikslas

Ištirti specialiosios paskirties vaizdų glaudinimo galimybes, parinkti tokių vaizdų saugojimui ir perdavimui tinkamiausią formatą arba jų derinį, sudaryti algoritmus automatizuotam didelių specialiosios paskirties vaizdų įvedimui ir tuos algoritmus ištirti.

Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti reikia išspręsti šiuos uždavinius:

1. Ištirti specialiosios paskirties ir dokumentų valdymo sistemoms įprastųjų vaizdų glaudinimo metodų tinkamumą specializuotų vaizdų saugojimui ir perdavimui.
2. Pasiūlyti specialios paskirties vaizdų automatizuoto sudarymo apjungiant keletą mažesnių fragmentų metodus, pagrįstus dirbtinių žymų įterpimu ir sutapdinimu pagal bendrąsias savybes.
3. Sudaryti pasiūlytų metodų algoritmus ir eksperimentiškai ištirti jų galimybes.

Tyrimų metodai

Darbe panaudoti klasikinės spektrinės analizės metodai, koreliaciniai metodai, vaizdų matematinės morfologijos elementai, geometriniai metodai.

Mokslinis darbo naujumas

Rengiant disertaciją buvo gauti šie elektros ir elektronikos inžinerijos mokslui nauji rezultatai:

1. Pasiūlytas metodas glaudintų vaizdų kokybės vertinimui.
2. Ištirtas glaudinimo formatų tinkamumas medicininių, aviacinių ir bendrojo pobūdžio vaizdų glaudinimui.
3. Sukurta metodika automatizuotam medicininių rentgeno vaizdų fragmentų apjungimui. Pasiūlytas ir ištirtas jos algoritmas pagrįstas dirbtinai į fragmentus įterptų sutapdinimo žymų panaudojimu.
4. Sukurta metodika automatizuotam fotožemėlapių vaizdų sudarymui iš mažesnių vaizdo fragmentų. Pasiūlytas ir ištirtas jos algoritmas pagrįstas apjungiamų fragmentų sutampančiųjų vaizdo dalių bendrųjų savybių panaudojimu.

Praktinė vertė

Gauti vaizdų glaudinimo tyrimų rezultatai gali būti panaudoti DVS dokumentų saugykloms ir dokumentų perdavimo moduliams adaptuoti darbui su specializuotais dokumentais. Sukurti didelių vaizdų sudarymo iš mažesnių fragmentų algoritmai gali būti įdiegti dokumentų valdymo sistemose, kaip naujos automatizuoto įvedimo funkcijos arba esamų funkcijų patobulinimas.

Ginamieji teiginiai

1. Vaizdų, kuriuose iškraipymai yra neleistini, glaudinimui geriausiai tinka JPEG LS glaudinimo metodas leidžiantis pasiekti vaizdų vidutinį glaudinimo santykį iki 1:2, o vaizdų išsikvietimo pagreitinimui reikia naudoti vaizdo žemėlapius.

2. Didelių, mažo kontrastingumo vaizdų sudarymui iš fragmentų būtina naudoti dirbtines žymas, turinčias stačiakampės formos kiaurymes.
3. Automatizuotai sudarant didelius vaizdus iš fragmentų su smulkiais, kontrastingais objektais racionaliausia taikyti *Harris–Plessey* metodą papildytą prognozuojama slenksčio funkcijos verte. Kad metodas veiktų, fragmentai turi būti registruojami su daugkartiniu persidengimu.

Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tematika yra atspausdinti 7 moksliniai straipsniai: 2 straipsniai Mokslinės informacijos instituto (ISI) duomenų bazėse referuojamuose žurnaluose (Thomson ISI Web of Science) [A1, A2], 2 straipsniai žurnaluose referuojamuose kitose pripažintose duomenų bazėse, kurių sąrašą sudaro Lietuvos mokslo taryba (Inspec, Compendex) [A3, A4], vienas – recenzuojamoje tarptautinių konferencijų medžiagoje [A5], du straipsniai Lietuvos konferencijų darbų medžiagoje [A6, A7].

Darbo rezultatai buvo paskelbti 8-iose mokslinėse konferencijose Lietuvoje bei užsienyje.

- jaunųjų mokslininkų konferencijose „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“ 2005, 2006 ir 2007 m., Vilniuje;
- tarptautinėje konferencijose “Elektronika” 2006, 2006, 2007 ir 2008 m., Vilniuje;
- tarptautinėje konferencijoje “XXX IC-SPETO”, 2007 m., Gliwice-Ustron (Lenkija).

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai, rezultatų apibendrinimas, literatūros ir publikacijų sąrašai. Taip pat yra priedas, kuriame atspausdinti tyrimuose naudoti vaizdų pavyzdžiai. Papildomai sudaryti disertacijoje dažnai naudojamų žymėjimų bei santrumpų sąrašai.

Darbo apimtis yra 114 puslapių, neskaitant priedų, tekste pateikta 31 numeruota formulė, 49 paveikslai ir 7 lentelės. Rašant disertaciją buvo remtasi 105 literatūros šaltiniais.

Specialios paskirties dokumentų valdymo sistemų analizė

Skyriuje apžvelgiami dokumentų valdymo sistemų pagrindiniai komponentai, aptariamos sistemos dalys turinčios didžiausią svarbą specializuotų dokumentų valdyme. Didžiausias dėmesys skiriamas vaizdinės informacijos saugojimo, perdavimo ir automatizuoto įvedimo metodams, kurių savybes ir siekiama ištirti disertacijoje.

1.1. Dokumentų valdymo sistemos

Dokumentų valdymo sistemų (DVS) raidos pradžioje DVS buvo apibrėžiama kaip kompiuterinės programinės įrangos rinkinys skirtas elektroninių ir/arba popierinių dokumentų saugojimui bei jų prieinamumo valdymui. Pirmosios sistemos, atsiradusios devintajame XX amžiaus dešimtmetyje [1], buvo skirtos išskirtinai popierinių dokumentų srautų valdymui. Popierinių dokumentų turiniui apribojimai niekada nebuvo taikomi, tai gali būti

spausdintas ar rašytinis tekstas, nuotraukos, brėžiniai ar kita popieriaus lapuose patalpinta informacijos rūšis.

Kitoje DVS kartoje popieriniai dokumentai buvo pakeisti elektroniniais. Pradėta plačiau naudoti grynai elektroninius, kompiuterinėmis priemonėmis parengtus dokumentus bei paprastus popierinius dokumentus konvertuoti į elektroninius formatus. Šios sistemos buvo skirtos dirbti tik su labai ribota failų tipų aibe, o viena esminių šios DVS kartos savybių buvo popierinių dokumentų vertimo elektroniniais posistemis. Todėl vėliau šios sistemos buvo referuojamos ne dokumentų valdymo sistemomis, o kaip dokumentų atvaizdų sistemos. Sistemos sparčiai populiarėjo, nes leido greitai pasiekti elektronines dokumentų kopijas bei atlikti sparčią dokumentų paiešką, panaudojant dokumentus apibūdinančius metaduomenis ir iš jų kopijų ištraukto teksto fragmentus.

Sistemoms tobulėjant, be pagrindinių dokumentų saugojimo ir prieinamumo valdymo funkcijų prisidėjo bendradarbiavimo – elektroninių dokumentų judėjimo koordinavimo funkcija. Naujausios kartos DVS taikoma elektroninių dokumentų judėjimo idėja buvo išplėtotą A. Carzaniga ir A. L. Wolf darbe [2]. Autoriai pristatė informacijos judėjimo tinkle valdymo pagal jos turinį idėją. Pagal ją informacijos gavėjai išreiškia savo interesą, o siuntėjai siunčia žinutes su informacija į tinklą. Gavėjai atsirenka tik juos dominančias žinutes ir tokiu būdu reikalinga informacija patenka pas reikalingus žmones. DVS su dokumentų judėjimo koordinavimo funkcija jau nėra tiesiog tvarkinga dokumentų saugykla, kurioje vartotojai turi susirasti juos dominančią informaciją. Čia informacija yra automatiškai pristatoma reikiamu momentu, reikiamiems darbuotojams [3].

Dar vienas svarbus pokytis naujausios kartos DVS sistemose – apribojimų sistemoje naudojamų dokumentų tipams panaikinimas. Nuo šiol nebeliko aiškos ribos tarp trumpos bitų sekos, kuria gali būti aprašytas pavyzdžiui prekių užsakymas, šimto puslapių dokumento aprašančio organizacijos verslo strategiją, garso, vaizdo, video turinio failų, elektroninių kardiogramų ar dar kitokio pobūdžio informacijos – visa tai laikoma dokumentais [4].

Apskritai, suformuluoti šiuolaikinės DVS apibrėžimą sudėtinga. Šiuo metu DVS pasiūla yra didelė. Daugybė skirtingų gamintojų siūlo skirtingas DVS sistemas teigdami, kad būtent jų siūloma technologija netrukus taps industrijos standartu [5]. Dėl smarkiai išsiplėtusio sistemų vykdomų funkcijų spektro sunku nubrėžti aiškią ribą tarp DVS ir skaitmeninio turinio informacijos, įrašų, dokumentų vaizdų, veiklos procesų ir kitų valdymo sistemų [6–7]. Todėl sistemos priklausymas arba nepriklausymas DVS rūšiai dažniausia nustatomas pagal vykdomas funkcijas. Laikoma, kad pilnavertė DVS turi vykdyti tokias funkcijas:

Papildomų metaduomenų dokumentams suteikimas – metaduomenys yra priskiriami individualiai kiekvienam dokumentui. Metaduomenys būna dviejų rūšių: dokumento įvedimo/naudojimo informacija arba informacija apie

dokumento turinį. Pirmosios rūšies metaduomenų pavyzdžiai yra dokumento sukūrimo data, autorius, duomenų įvedimo kanalas, dokumento naudojimo dažnumas, naudotojų grupės ir kita informacija susijusi su dokumento naudojimu bei įvedimu į sistemą [8]. Antrąją metaduomenų rūšį sudaro informacija apie patį dokumento turinį. Dokumentuose dažnai būna nestruktūrizuota informacija, todėl šiuos metaduomenis dažniausiai suveda dokumentą į sistemą įkeliantis vartotojas, tačiau atskirais atvejais įmanomas ir automatinis metaduomenų paėmimas iš dokumento turinio.

Metaduomenys prie dokumento pridedami tam, kad ateityje būtų lengviau dokumentus surasti ir analizuoti jų apdorojimo procesus. Tai sudaro galimybes procesų tobulinimui.

Dokumentų versijų kūrimas – tai funkcionalumas leidžiantis pokyčių daugiavartotojiškoje aplinkoje valdymą. Panašiai kaip popierinį dokumentą, vienu metu pas save turi ir gali keisti tik vienas žmogus, taip dirbama ir su elektroniniu dokumentu. Jeigu elektroninį dokumentą vienu metu galėtų keisti keli asmenys, atsirastų galimybė prarasti duomenis. Dėl šios priežasties DVS naudojami tokie terminai kaip „dokumento paėmimas“ ir „dokumento grąžinimas“. Keisti dokumentą leidžiama tik tam vartotojui, kuris tuo momentu dokumentą yra „paėmęs“ [9]. Kiekvieno dokumento „grąžinimo“ metu dokumentui yra kuriama nauja versija. Tokiu būdu yra išsaugoma dokumento pokyčių istorija

Dokumentų įvedimas – šiuo metu, visame pasaulyje yra labai ryški perėjimo prie elektroninių dokumentų tendencija [10–11]. Tačiau, net ir naudojant elektroninius dokumentus, sistemoms reikalingas funkcionalumas leidžiantis kuo sparčiau ir paprasčiau vykdyti tokių dokumentų įvedimą į sistemą: garsų, vaizdų (dvimačių ir trimačių), video medžiagos ir kita. Kol nėra galimybės visiškai atsisakyti popierinių dokumentų – labai svarbi išlieka popierinių dokumentų vertimo elektroniniais funkcija.

Saugojimas – DVS turi saugiai saugoti į ją patalpintus dokumentus. Šiuolaikinėse DVS duomenų saugyklose fizinė dokumentų saugojimo vieta jau neturi didelės reikšmės. Dokumentai klasifikuojami pagal jiems suteiktus metaduomenis. Saugykloms priskiriamos senų dokumentų atsarginių kopijų kūrimo, archyvavimo ir jų sunaikinimo, pasibaigus saugojimo terminui, funkcijos.

Darbo procesų valdymas – dokumentai yra pagrindinė organizacijų komunikavimo priemonė. Dokumentų dėka, skirtingas funkcijas organizacijoje atliekantys padaliniai gali bendradarbiauti kurdami galutinį produktą. Dokumentai yra tarsi verslo procesų transportas ir visa organizacijos atmintis [12]. Esant tokiai glaudžiai sąsajai tarp organizacijos verslo procesų ir dokumentų, natūralu, kad DVS yra priskiriamos ir verslo procesų organizavimo funkcijos. Automatizuoti verslo procesai leidžia darbuotojams nesirūpinti

dokumento vieta. Sistema automatiškai valdo dokumentų srautus, reikiamu momentu nukreipdama juos reikiamiems asmenims. Toks darbo organizavimas leidžia pilnai koncentruotis ties vykdomomis užduotimis, nesirūpinant dokumentų suradimu ir perdavimu.

Dokumentų paieška – dokumentų, kuriuos sistema pristato vartotojams proceso eigoje, ieškoti nereikia, tačiau kartais tenka susirasti dokumentą, kuris nedalyvauja, ar netgi niekada ir nedalyvavo jokiame procese. Sistemoje turi būti numatytas būdas leidžiantis dokumentą pasiekti maksimaliai taupant vartotojo laiką. Tuo tikslu sistemose būna numatytas dokumentų klasifikavimo medis bei paieškos funkcijos. Dokumentų medis laikomas neefektyvia dokumentų paieškos priemone, naudinga tik dirbant su labai ribotu dokumentų rūšių kiekiu ir labai ribotais pačių dokumentų kiekiais. Šio trūkumo neturi dokumentų paieškos pagal dokumentų metaduomenis ir jų indeksuotą turinį funkcijos. Apskritai, dokumentų turinio indeksavimo funkcija yra būtina visose DVS. Duomenų kiekiai dažniausiai būna milžiniški, ko pasekoje elementari paieška, skaitant kiekvieno dokumento metaduomenis, užtruktų nepriimtina ilgai.

Dokumentų sauga – kaip ir versijavimas yra viena esminių DVS savybių. Su dokumentais dirba daugybė žmonių. Skirtingi asmenys turi turėti skirtingas teises dirbdami su skirtingais dokumentais. Administratoriai turi turėti galimybę šią saugą konfigūruoti. DVS dažniausiai turi šimtus skirtingų teisių, pvz.: skaityti dokumentą, keisti dokumentą, kurti naują versiją, komentuoti, publikuoti ir panašiai. Skirtingi teisių rinkiniai yra apjungiami į vaidmenis. Moderniose DVS reikalinga sauga susiejama su procesais – tam tikrus veiksmus sistema turi leisti vartotojui laikinai atlikti, kol jis vykdo jam paskirtą proceso užduotį. Net ir visų aukščiau išvardintų saugos mechanizmų šiandien jau nepakanka. Todėl pradėti taikyti dinaminės saugos modeliai. Dinaminėje saugoje veiksmai, kuriuos vartotojas gali atlikti su dokumentu, kinta priklausomai nuo dokumento turinio.

Integracija – DVS sistemos vykdo dokumentų saugojimo ir nukreipimo funkcijas. Dokumentų apdorojimas dažniausiai vykdomas kitose sistemose. Kad darbas būtų patogus ir efektyvus, labai svarbi DVS sistemų integracija su dokumentų apdorojimo programine įranga. Dirbant su populiariausiomis dokumentų apdorojimo programomis, turi būti galima dokumentą tiesiogiai atidaryti ir išsaugoti tiesiai iš/i DVS.

1.1.1. Elektroninio dokumentų valdymo privalumai lyginant su įprastu dokumentų valdymu

Elektroninis dokumentų valdymas lyginant su įprastu turi daug privalumų. Esminiu privalumu reikėtų išskirti tai, kad elektroninio dokumentų valdymo atveju, pats valdymas yra centralizuotas [13]. Be DVS kiekvienas organizacijos darbuotojas savo dokumentais rūpinasi individualiai, taigi ir visos organizacijos

veikimas yra nulemtas darbuotojų gebėjimo tvarkyti visumos. DVS visą valdymą vykdo centralizuotai, todėl ir bendra organizacijos tvarka bei darbo efektyvumas išauga. Tai liudija 2.1 lentelėje pateiktas įprasto ir elektroninio dokumentų valdymo palyginimas.

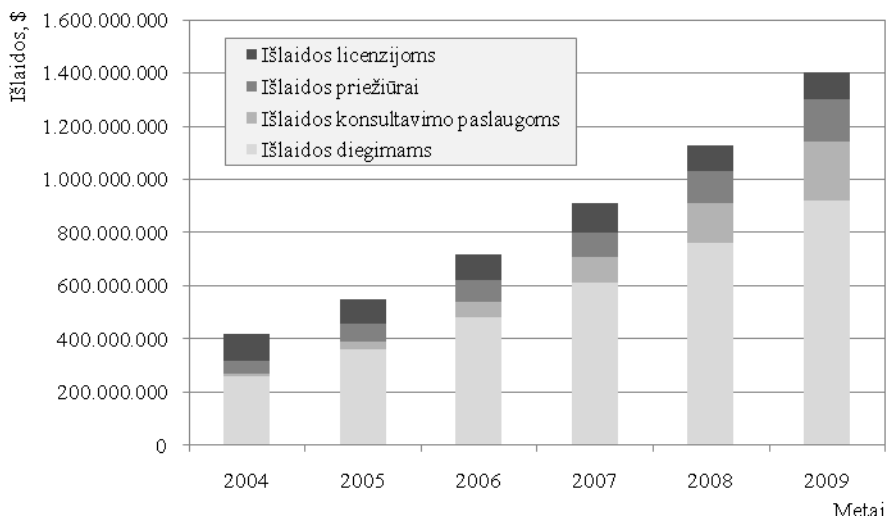
1.1 lentelė. Įprasto ir elektroninio dokumentų valdymo palyginimas

Įprastas valdymas	Elektroninis dokumentų valdymas
• Prarastas laikas ir produktyvumas – dokumentai suka ratus tarp departamentų. • Daug laiko praleidžiama dokumentų paieškai, kuri neretai vykdoma pakartotinai. • Sudėtinga įvesti naujas tvarkas, darbo procedūras ir t.t. • Vienintelės paskutiniosios dokumento versijos nustatymo problema. • Ilgai užtrunka dokumento kūrimas, pataisymai, derinimas, tvirtinimas, naujų versijų kūrimas ir t.t. • Vienu metu dokumentą turi tik vienas darbuotojas. • Dideli spausdinimo, platinimo ir saugojimo kaštai. • Sudėtingas saugos organizavimas. • Išaugęs dokumentų kiekis kartais tampa apskritai nevaldomu. • Didelė pristatymo nutolusiems darbuotojams kaina. • Sudėtingas informavimo apie susipažinimą su dokumentu organizavimas. • Neefektyvus dalinimasis informacija esančia asmeniniuose dokumentuose.	• Saugi bendra dokumentų talpykla kontroliuojamiems dokumentams. • Nėra apribojimų dokumentų formatams. • Vienas dokumentas tik vienoje vietoje. • Nuoroda į dokumentą. • Galingi paieškos įrankiai, paieška dokumento metaduomenyse ir turinyje. • Dokumento versijų valdymas • Automatizuotos peržiūros ir tvirtinimai. • Automatizuotas dokumento gyvavimo ciklas. • Automatizuotas pokyčių valdymas. • Informacija apie dokumentų naudojimą. • Skirtingų lygių sauga skirtingiems dokumentams ir vartotojams. • Efektyvus informavimas apie susipažinimą su dokumentu. • Kopijų spausdinimo valdymas (vandens ženklai). • Sutaupyti spausdinimo, pristatymo, platinimo kaštai. Dokumentai pasirašyti elektroniniu parašu gali ir neturėti popierinės versijos.

Asmeninių kompiuterių, elektroninio pašto, vidinių organizacijų žiniatinklų atsiradimas palengvino darbą su dokumentais, tačiau to jokiais būdais negalima vadinti DVS pakaitalu. Taip yra todėl, kad šie įrankiai veikia pagal vieno vartotojo filosofiją.

1.1.2. Dokumentų valdymo sprendimų poreikiai dabar ir ateityje

Nors dokumentų valdymo sprendimai pradėti plėtoti dar aštuntajame praeitojo šimtmečio dešimtmetyje, DVS sprendimų skaičius šiandien vis dar sparčiai auga [14]. Iki šiol ypatingai sparčiai augęs tradicinės biuro įrangos sektorius, estafetę perduoda intelektualiesiems valdymo sprendimams. Dabar jau sunku išsivaizduoti nekompiuterizuotą biurą, kuris veiktų efektyviai ir būtų konkurencingas, ateityje bus sunku išsivaizduoti biurą, kurio procesai nebūtų automatizuoti elektroninių valdymo sistemų. 2.1 paveiksle pateikiamos dokumentų valdymo sistemų licenzijoms, diegimams, konsultavimo/aptašnavimo paslaugoms ir įdiegtų produktų priežiūrai skiriamos lėšos Jungtinėse Amerikos valstijose.



1.1 pav. JAV dokumentų valdymo sprendimų rinka

Iš paveikslo matyti, kad visose pateiktose išlaidų kategorijose, išskyrus išlaidas diegimams, nuo 2004 metų stebimas išlaidų didėjimas. Prognozuojama, kad artimoje ateityje išlaidų augimas nemažės.

Didžiausias išlaidų augimas, apie 68 %, yra numatomas DVS priežiūros sektoriuje. Tai sąlygoja nuolat auganti licenzijų pardavimų rinkos dalis. Vis daugiau organizacijų ryžtasi aprūpinti savo darbo vietas moderniomis valdymo sistemomis, kurios turi būti priderintos prie organizacijos verslo procesų. Valdymo sistemų svarba organizacijai nuolat auga, o kadangi pačios organizacijos norėdamos būti konkurencingos turi būti labai dinamiškos –

dinamiškai keistis turi ir prie jų verslo procesų priderintos valdymo sistemos. Sistemų adaptavimui ir skiriamos vis didesnės lėšos.

Panašiu tempu, kaip licenzijų pardavimai, auga ir išlaidos konsultavimo/aptašavimo paslaugoms. Dokumentų valdymo sistemoms ateinant į sritis, kuriose nėra ankstesnės patirties jas diegiant ir naudojant vis dažniau patirtis yra perkama iš konsultantų.

Vienintelė iš pateiktų praktiškai neaugusi (augimas ~1 %) išlaidų kategorija yra išlaidos produktų diegimui. Iš to galima daryti išvadą, kad tai yra pakankamai išstobulintas ir automatizuotas procesas. Didėjant pačių diegimų skaičiui (tą byloja augantis licenzijų pardavimas) išlaidos skirtos vienai darbo vietai netgi mažėja, o tai įmanoma tik nuolatos tobulinant ir efektyvinant diegimo procesus.

1.1.3. Dokumentų valdymo sistemos Lietuvoje

Susidomėjimas dokumentų valdymo sistemomis Lietuvoje pradėjo didėti prieš dešimtmetį. Jeigu po dešimties metų kompiuterizuotos apskaitos sistemos yra įprastas reiškinys net ir mažiausiose įmonėse, tai kompiuterizuotos dokumentų valdymo sistemos sutinkamos dar labai retai.

Šiuo metu Lietuvoje galima išskirti tokius dokumentų valdymo būdus ar organizacijoje sukurtas dokumentų valdymo sistemas [15]:

- įprastas popierinių dokumentų valdymas;
- kompiuterizuota dokumentų valdymo sistema;
- elektroninių dokumentų valdymo sistema.

Įprastinis dokumentų valdymas yra pats primityviausias. Šiuo atveju dokumentai yra rengiami ir pasirašomi popieriuje, o registruojami popieriniuose arba kompiuteriniuose registruose. Šiuo atveju iškyla visos galimos popierinių dokumentų valdymo problemos: dokumento, pristatymas, archyvavimas ir t.t. Dirbant pagal tokią schemą nėra jokios automatizuotos valdymo pagalbos. Valdymo kokybė visiškai priklauso nuo darbuotojų gebėjimo organizuoti ir organizacijos dydžio. Tai priimtina tik pačioms mažiausioms organizacijoms.

Kompiuterizuotos dokumentų valdymo sistemos atveju, visi organizacijos dokumentai dažniausiai būna registruojami elektroninėje informacinėje sistemoje, kuri tuo pačiu vykdo ir dokumentų srautų valdymo funkcijas. Tačiau dokumentų originalai vistiek yra pasirašomi. Popierinių dokumentų versijų pasirašymo priežastis yra ta, kad tik pasirašytas dokumentas įgauna teisinę galią. Nepasirašytą dokumentą geriausiu atveju galima pavadinti projektu. Tokiose sistemose labai sutrumpėja dokumento rengimo/derinimo trukmė. Pasirašyti popieriniai dokumentai dažnai yra skenuojami todėl, daug efektyvesnė jų

paieška, mažesnė pristatymo trukmė. Tačiau pasirašytų popierinių dokumentų archyvavimo problema išlieka.

Tobuliausiose – elektroninių dokumentų valdymo sistemose dirbama su teisinius reikalavimus atitinkančiu elektroniniu parašu pasirašytais dokumentais. Lietuvoje jau yra visos priemonės tradicinį parašą pakeisti elektroniniu. Elektroninio parašo įstatymas įsigaliojo dar 2002 metais [16–17], o 2005 metų pradžioje savo veiklą pradėjo pirmasis, skaitmeninius kvalifikuotus sertifikatus sudarantis, sertifikavimo paslaugų teikėjas. Tai reiškia, kad Lietuvoje elektroninis parašas (e-parašas) jau turi tokią pat juridinę galią, kaip ir tradicinis, pasirašytas ranka. Pasirašyto elektroniniu parašu dokumento nėra būtinybės spausdinti, vadinasi turint tokią sistemą galima apskritai apsieiti be popieriaus. Tik šiuo, vieninteliu, atveju atsiranda galimybė išnaudoti visus šiuolaikiškos DVS teikiamus privalumus.

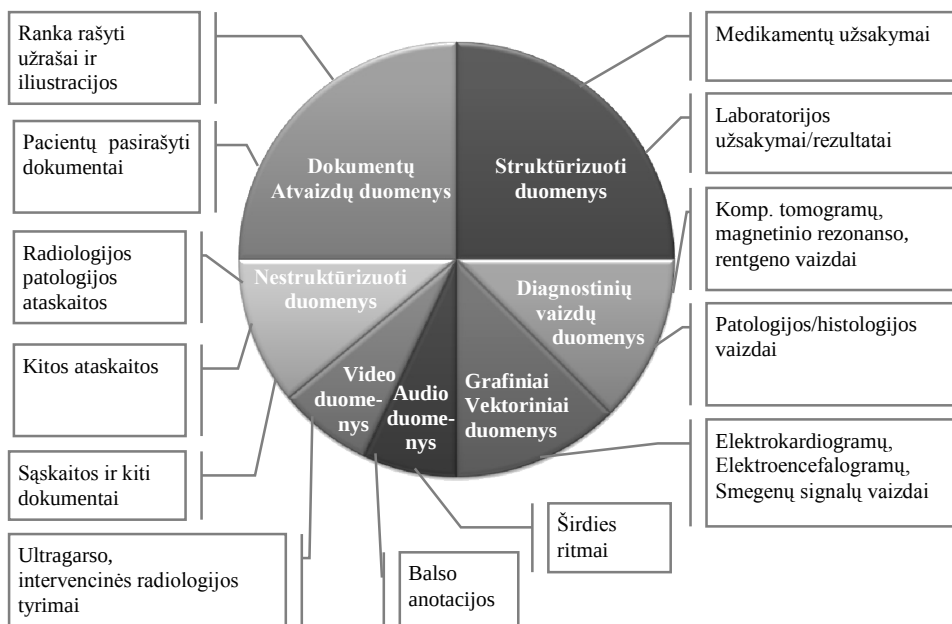
Dažniausiai, organizacijose naudojami mišrūs dokumentų valdymo būdai, t. y. ir įprasti ir kompiuterizuoti, ir netgi elektroniniai. Tyrimai, kokio lygio DVS sistemos Lietuvoje yra paplitusios daugiausiai, neatlikti arba neskelbiami. Elektroninis parašas visame pasaulyje plinta gana sunkiai, nėra išimtis ir Lietuva. Nors sąlygos tam jau sudarytos ir nauda akivaizdi – sunkiausia yra peržengti psichologinį barjerą ir pasitikėti šia naujove. Iš to galima daryti išvadą, kad Lietuvoje šiuo metu pilnavertės elektroninių dokumentų valdymo sistemos yra nenaudojamos. Stambiausios organizacijos, kuriose cirkuliuoja dideli dokumentų srautai, jau naudoja vienokius ar kitokius dokumentų valdymo sprendimus. Iš smulkiųjų organizacijų tik pačios inovatyviausios ryžtasi investuoti į dokumentų valdymą, likusios sugeba tvarkyti tradiciniais metodais.

1.1.4. Specializuotos paskirties DVS

Kadangi moderniose dokumentų valdymo sistemose nėra apribojimų informacijos laikomos dokumentu rūšims, DVS sėkmingai žengia į specializuotas sritis, kuriose dokumentai įgauna vaizdų, garso/vaizdo įrašų, brėžinių ir kitų rūšių pavidalus. Tai leido elektroninių dokumentų valdymo sistemoms įžengti į sritis, kuriose anksčiau veikdavo tik specializuotos elektroninės sistemos.

Sritis kurioje DVS apima plačiausią dokumentų rūšių spektrą yra medicininė kompiuterizuota paciento įrašų sistema, dar vadinama elektronine pacientų kortele. Gydomo metu kiekvienam pacientui yra kaupiama istorija [18] apie visus profilaktinius patikrinimus, atliktus tyrimus, paskirtus gydymo metodus, nusiskundimus, netgi žalingus įpročius ir pan.

Elektroninės paciento kortelės turinys aprašytas [19] yra pateiktas 2.2 paveiksle.



1.2 pav. Elektroninės paciento kortelės duomenų tipai ir jų šaltiniai

Kaip matyti iš paveikslėlio, duomenys į medicininę paciento kortelę atkeliauja iš įvairiausių šaltinių, tačiau pagal turinį juos galima suskirstyti į 7 apibendrintas kategorijas: struktūrizuoti duomenys, nestruktūrizuoti duomenys, dokumentų atvaizdų duomenys, diagnostinių vaizdų duomenys, audio duomenys, video duomenys.

Struktūrizuoti duomenys, tai visoms DVS įprasti dokumentus lydintys metaduomenys. DVS dokumentas gali būti tik metaduomenys ir neturėti realaus duomenų failo. Taigi struktūrizuotų medicininių duomenų, tokių kaip laboratorijos užsakymai/rezultatai, medikamentų užsakymai, pacientų registracija ir kitų saugojimui DVS tinka be jokių modifikacijų.

Nestruktūrizuoti duomenys yra įprasti failai, kurių turinio didžiąją dalį sudaro tekstas. Kitaip tariant, tai yra įprastiniai kompiuteriu paruoštų dokumentų failai. Šio tipo duomenys dokumentų valdymo sistemoms taip pat yra įprasti. DVS struktūrizuotų ir nestruktūrizuotų duomenų valdymui tinka be modifikacijų, funkcionalumas yra išstobulintas ir laiko patikrintas.

Dokumentų atvaizdų duomenys jau iš esmės skiriasi nuo aukščiau išvardintų duomenų tipų. Tai yra vaizdų failai, gauti skenuojant popierinius dokumentus. Poreikis skenuoti popierinius dokumentus dažniausiai atsiranda todėl, kad juos būtina atspausdinti norint pasirašyti įprastu parašu. Paciento kortelės atveju tokie duomenys yra pacientų pildyti prašymai, ar medikų ranka rašyti užrašai bei

ilustracijos. Dokumentų valdymo sistemos su dokumentų atvaizdais dirbti taip pat puikiai pritaikytos. Dažniausiai jose yra integracija su skenavimo įrenginiais ir priemonės tokių vaizdų glaudinimui. Tačiau užimamos atminties talpos prasme duomenų saugojimas dokumentų atvaizdų formoje yra labai neefektyvus. Tekstinio dokumento puslapis elektroninio teksto pavidalu užima apie ~30KB atminties talpos, nuskenavus dokumentą į vaizdo formatą reikalinga apie ~500KB atmintis [20]. Nors abiem atvejais dokumentas savyje turi tą pačią informaciją, tačiau užimama atminties talpa padidėja ~15 kartų.

Diagnosticinių vaizdų duomenų kategorija yra labai panaši į dokumentų atvaizdų duomenis. Esminiai skirtumai yra tame, kad DVS įprastai turi integraciją su skenavimo įranga ir priemones dokumentų atvaizdų glaudinimui. Norint, kad DVS taip pat kokybiškai dirbtų ir su medicininės diagnostikos vaizdais, jos turi turėti integraciją su medicinine įranga, kuri leistų medicininius vaizdus įkelti tiesiai į DVS. Taip pat turėtų būti pasirūpinta ir šių vaizdų glaudinimo metodais. Vaizdų duomenys užima daug daugiau atminties talpos negu elektroniniai dokumentai. Glaudinant popierinių dokumentų atvaizdus pasiekiamas iki ~1:5 glaudinimo santykis, tačiau tai tik dėka didelio kokybės praradimo. Glaudinant medicininius vaizdus kokybės praradimo klausimas yra labai svarbus. Dėl vaizdo iškraipymo priimtas klaidingas medicininis sprendimas gali labai brangiai kainuoti. Todėl medicininių vaizdų glaudinimui metodai turi būti tokie, kad būtų išvengta tokių atvejų.

Medicininiai video, audio ir grafiniai/vektoriniai duomenys dokumentų valdymo sistemose yra mažiausiai įprasti. Jie lygiai taip pat kaip tekstiniai duomenys, dokumentų atvaizdai, ar diagnostiniai vaizdai yra talpinami failuose, kurių rūšims DVS apribojimai netaikomi. Analogiškai dokumentų tipai bei šaltiniai yra ir kituose DVS taikymuose. Pavyzdžiui DVS naudojant kaip aplinkosaugos informacinę sistemą, kur viena iš pagrindinių dokumentų rūšių yra aplinkosaugos objektų įprasti ir aviaciniai vaizdai.

Norint DVS panaudoti specialios paskirties srityse, svarbiausias uždavinys yra sistemos pritaikymas darbui su specializuotais duomenimis. Net jeigu šiuolaikinės DVS neskirsto dokumentų į tipus ir visiems galioja ta pati apdorojimo koncepcija, būtina atsižvelgti į tai, kad specializuoti duomenys gali būti daug didesnės nei įprastiniai apimties, gali būti sudėtinga ar nepatogu juos įvesti į sistemą, gali kilti atvaizdavimo ir kitų problemų.

Pastaruoju metu, kuriant ir tiriant specialios paskirties dokumentų valdymo sistemas, daug dėmesio skiriama specialių dokumentų sudarymo problemoms spręsti. Tokių, specialių dokumentų problemos sietinos su įvairiausiais vaizdais, iš jų pagrindinės yra vaizdų glaudinimas ir didelių vaizdų sudarymas iš fragmentų.

1.2. Vaizdų glaudinimo analizė

DVS naudojant specializuotose srityse, svarbus sistemos gebėjimas saugoti ir perduoti vaizdinius dokumentus (vaizdus). Moderniose informacinėse sistemose vaizdų saugyklos turi tenkinti du vienas kitam prieštaraujančius reikalavimus. Dėl didelės vaizdų apimtys jų glaudinimo santykis turi būti maksimalus, kai tuo tarpu leistinas informacijos praradimas toleruojamas minimaliai. DVS taikant specializuotose srityse, tokiose kaip elektroninė paciento kortelė ar aplinkosaugos informacinė sistema, svarbu įvertinti sistemos galimybes joje naudojant neįprastas dokumentų rūšis. Svarbu nustatyti tiek įprastų DVS, tiek specializuotų vaizdų glaudinimo metodų efektyvumą glaudinant specializuotus vaizdus ir išrinkti tinkamiausią metodą ar jų derinį.

1.2.1. Vaizdų glaudinimo metodai

Medicininėje įrangoje yra paplitęs DICOM (angl. Digital Imaging and Communications in Medicine) vaizdų formatas. DICOM nėra vien tik vaizdų saugojimo formatas, tai išsamus standartų rinkinys, skirtas medicininį vaizdų valdymui, perdavimui ir saugojimui. Standartą sudaro failo formato aprašymas ir tinklo komunikacijų protokolas. Šis protokolas yra taikomojo lygio, realiai ryšio užtikrinimui yra naudojama TCP/IP. Standartas buvo suskurtas tam, kad apjungti skirtingų gamintojų skenavimo įrangą, serverius, darbo stotis ir tinklo infrastruktūrą į vieningą vaizdų archyvavimo ir perdavimo sistemą.

DICOM formato failą sudaro: antraštė su standartizuotais arba laisvos formos laukais ir vaizdo informacija. Viena failo gali būti saugoma vienas ar keli vaizdai arba netgi animuota seka. Vaizdų duomenys gali būti glaudinti įvairiais glaudinimo metodais (JPEG, JPEG LS, JPEG 2000, RLE). Viena svarbiausių šio formato savybių yra ta, kad vaizdai visuomet yra saugomi viename failo su informacija apie jų atsiradimą bei patį pacientą [21–22].

Dokumentų valdymo sistemose apribojimų vaizdų glaudinimo metodams nėra. Istorškai susiklostė taip, kad DVS buvo glaudinami daugiausiai dokumentų atvaizdai, o jiems glaudinti buvo naudojami populiariausi WEB technologijoje [23] vaizdų glaudinimo metodai: JPEG, PNG, GIF, TIFF (su LZW ir RLE glaudinimu).

Vertinant kokybę, vaizdų glaudinimo metodus galima padalinti į dvi grupes: algoritmus glaudinančius be informacijos praradimo ir algoritmus vaizdus glaudinančius su informacijos praradimu. PNG, LZW ir RLE metodai priklauso pirmajai grupei [24–26]. Tokiu būdu glaudinti vaizdai į originalią būseną gali būti atstatyti bet kuriuo momentu. Glaudinimo algoritmas GIF vaizdus, taip pat gali saugoti neprarandant informacijos, tačiau tik tuo atveju kai vaizdai turi mažiau ne daugiau 256 atspalvių, t. y. koduoti 8 bitų intensyvumo lygiais [27].

Glaudinant vaizdus metodu JPEG – informacija iškraipoma visada, o JPEG LS ir JPEG 2000 gali elgtis dvejopai [28]. Vaizdus glaudinant su informacijos praradimu glaudinimo santykis visuomet didesnis.

Iš paminėtų metodų, vienas primityviausių yra be praradimo glaudinantis metodas RLE. Jame gretimų taškų sekos su vienodu vaizdo skaisčiu pakeičiamos skaičiais atitinkančiais pasikartojančio skaisčio lygmens kiekį. Algoritmas efektyvus tik glaudinant vienspalvius vaizdus, nors ir čia efektyvumas nedidelis. Jeigu vaizde mažai taškų su pasikartojančiu intensyvumu, apimtis gali netgi artėti prie dvigubos.

Glaudavimo metodas LZW, pristatytas 1984 metais [29], pats savaime nėra labai efektyvus glaudinant vaizdus. Tačiau naudojant šį metodą kartu su kitomis vaizdų apdorojimo priemonėmis, vaizdų glaudinimui jis pasidaro labai tinkamas. Kaip to pavyzdys yra vaizdų glaudavimo metodas GIF, kurio vienas pagrindinių komponentų yra LZW glaudinimas. LZW metodas taip pat naudojamas ir kaip pavienis vaizdų informacijos glaudavimo metodas, pavyzdžiui vaizdų saugojimo formate TIFF.

GIF yra vienas pirmųjų vaizdo glaudavimo metodų, pradėtų plačiai taikyti WEB technologijoje. Formatas buvo pristatytas 1987 metais, jo sukūrimo tikslas buvo spalvotų vaizdų perdavimas pasauliniame tinkle. Iki GIF metodo atsiradimo, pasauliniame interneto tinkle nebuvo formato efektyviai glaudinančio spalvotus vaizdus. Tų laikų spalvotiems vaizdams GIF metodas puikiai tiko. Tačiau vėliau išryškėjo pagrindinis jo trūkumas – riboto dydžio (256 pozicijų) spalvų paletė [30]. Pradžioje pakako, nes techninė įranga galinti atvaizduoti daugiau spalvų buvo labai brangi. Tačiau dabar vaizduose naudojama 2^{24} ir didesnės spalvų paletės. Norint tokius vaizdus išsaugoti GIF formate tenka trūkstamas spalvas pakeisti GIF paletės spalvų tekstūromis, ko pasekoje vaizdas stipriai iškraipomas. Taigi, GIF metodas, vaizdus kurių paletė nedidesnė už 256, glaudina be informacijos praradimo, tačiau likusius vaizdus visais atvejais gana stipriai iškraipo. Šiuo metu GIF glaudavimo metodą baigia išstumti PNG ir JPG metodai.

Pagrindinis glaudavimo metodo PNG sukūrimo tikslas buvo pakeisti GIF, kurio paletės dydžio apribojimas darėsi vis sunkiau priimtinas [31]. Leistinas paletės dydis PNG formate yra 2^{48} [32], glaudavimo santykis, daugumoje atvejų, taip pat didesnis nei glaudavimo metodo GIF. Šis metodas, kaip ir GIF metodas, buvo kuriamas specialiai pasauliniam interneto tinklui. Tačiau dėl vangaus naršyklių gamintojų palaikymo, interneto taikymuose jis paplito tik po 5 metų.

Vienas populiariausių vaizdų glaudavimo metodų yra JPEG. Pirmasis šio metodo standartas buvo patvirtintas 1992 metais. Pagrindinė jo sukūrimo paskirtis yra fotografijų glaudinimas. JPEG metodas vaizdus glaudina su informacijos praradimu, tačiau suteikia galimybę informacijos praradimo lygį reguliuoti [33]. Kaip keičiasi vaizdas tolygiai mažinant glaudavimo kokybę

(didinant glaudinimo santykį) pavaizduota 2.3 paveiksle. Tipiškai, vaizdus glaudinant glaudinimo santykiu, kuriam esant kokybės praradimas beveik nepastebimas – pasiekiamas fotografijų glaudinimo santykis 1:10 [34]. Paveiksle taip pat matomas būdingiausias JPEG formato iškraipymas, blokinė (8x8 taškų) struktūra ryškėjanti glaudinimo santykiui siekiant 1:20 ir daugiau.



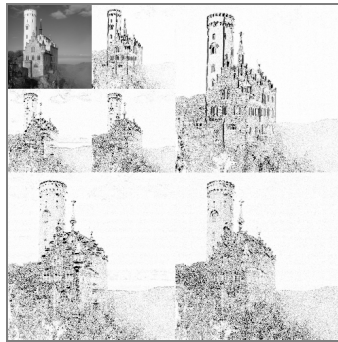
1.3 pav. Fotografija glaudinta JPEG metodu, kurioje judant iš kairės į dešinę tolygiai mažinama glaudinimo kokybė

Šiuo metu JPEG yra plačiausiai WEB technologijoje naudojamas glaudinimo metodas. Geriausius rezultatus JPEG metodas teikia glaudinant vaizdus, kuriuose yra daug sričių su lėtai kintančiu intensyvumu. JPEG metodas netinkamas naudoti ten, kur vaizdas pakartotinai redaguojamas keletą kartų. Kiekvienas vaizdo išsaugojimas JPEG formatu įneša iškraipymus, kurie galiausiai sumuojasi.

JPEG-LS yra JPEG Metodo modifikacija pasirodžiusi 1993 metais. Nors pavadinimas panašus, šiame glaudinimo metode naudojamas glaudinimo algoritmas neturi nieko bendro su originaliu JPEG metodo algoritmu. Metode JPEG LS numatytas glaudinimas tiek su informacijos praradimu, tiek be praradimo [35–36]. Glaudinant vaizdus su informacijos praradimu ir neviršijant glaudinimo santykio 1:25, JPEG-LS metodas glaudina vaizdus įnešdamas mažesnę klaidą negu JPEG 2000. Toliau didinant glaudinimo santykį geresnius rezultatus demonstruoja JPEG 2000. Glaudinant be informacijos praradimo JPEG-LS metodas daugumoje atvejų lenkia JPEG 2000 pagal glaudinimo santykį, nors glaudinimo veiksmas vyksta 2 – 2,5 karto greičiau [28]. JPEG-LS buvo kuriamas specialiai didelių medicininių vaizdų glaudinimui be iškraipymų ir tai metodas daro tikrai efektyviai. Tačiau esminiu jo trūkumu galima įvardinti tai, kad kitur negu medicininėje įrangoje, glaudinimo metodas JPEG-LS taip ir nepaplitęs.

Glaudinimo metodas JPEG 2000, kaip galima spręsti net iš pavadinimo, buvo patvirtintas 2000 metais. Metodas yra tolimesnio JPEG tobulinimo rezultatas. Kuriant JPEG 2000 buvo keliamas ne glaudinimo santykio didinimo tikslas, o tokių savybių kaip atvaizdavimas skirtingais masteliais, atskirų vaizdo

dalių atvaizdavimas, atskirų vaizdo dalių redagavimas [37–38]. JPEG 2000 metodo vaizdo glaudinimo algoritmas yra pagrįstas vilnelių transformacija, todėl norint pamatyti sumažintą glaudinto vaizdo atvaizdą, pakanka parsisiųsti vilnelių koeficientus atitinančius tik stambiuosius vaizdo kontūrus. Norint pamatyti visą originalų vaizdą – reikia parsisiųsti likusius koeficientus. Įprasto JPEG ar JPEG-LS metodų atveju, norint pamatyti sumažintą vaizdo atvaizdą tektų papildomai siųsti sumažintą ir suglaudintą vaizdo kopiją. Kaip atrodo vaizdo dekompozicija vykdoma vilnelių transformacijos metu pavaizduota 2.4 paveiksle.



1.4 pav. Vaizdo dekompozicijos gaunamos vykdant vilnelių transformaciją pavyzdys

Išvardintos savybės yra svarbios dirbant su dideliais vaizdais. Vienu didžiausiu metodo trūkumu galima įvardinti dideles laiko sąnaudas vaizdo kodavimui [39–40]. JPEG 2000 metodas daugiausia yra naudojamas specializuotuose įrenginiuose, taip pat ir medicininuose. Jis ir yra žymiai daugiau paplitęs negu JPEG LS. Tačiau dėl jo nesuderinamumo su dauguma WEB naršyklių pasiekti įprasto JPEG populiarumo jam taip pat nepavyko.

1.2.2. Vaizdų glaudinimo kokybės vertinimas

Vaizdo kokybės matavimas yra esminis komponentas daugelyje vaizdų apdorojimo uždavinių. Pagal kokybės metrikų pritaikymo vaizdų apdorojimo uždaviniuose pobūdį, galima išskirti 3 taikymų rūšis [41]:

- 1) Vaizdo kokybės vertinimas kokybės kontrolės sistemose. Tokio taikymo pavyzdys yra automatinio vaizdų registravimo sistemos, kuriose pagal realiajame laike vykdomus vaizdo kokybės matavimus, automatiškai derinami vaizdo registravimo parametrai.
- 2) Vaizdo apdorojimo sistemų ir algoritmų efektyvumui vertinti. Tarkime reikia pasirinkti algoritmą konkrečiam vaizdo apdorojimo uždaviniui atlikti.

Pagal apdorotų vaizdų kokybės įverčius galima išsirinkti tą algoritmą, kuriuo apdorotų vaizdų kokybė yra geriausia.

3) Vaizdo apdorojimo sistemose taikomų algoritmų parametrų optimizavimui. Pavyzdžiui, vaizdinės komunikacijos sistemoje, naudojant vaizdo kokybės metrikas galima parinkti pirminio filtravimo ir kitus parametrus.

Egzistuoja daug vaizdų kokybės vertinimo metodų. Vaizdai vertinami įvairiais aspektais [42–43]. Stambiausiame lygmenyje, vaizdų kokybės vertinimo metodai skirstomi į dvi grupes: subjektyvūs ir objektyvūs.

Galutinis vaizdo turimos informacijos skaitytojas dažniausiai yra žmogus. Logiška, kad tokiu atveju tiksliausiai vaizdo kokybę ir turėtų įvertinti žmogus, o jo vertinimas turėtų būti tiksliausias. Tačiau, skirtingi žmonės tą pačią informaciją priima skirtingai, subjektyviai. Metodai, kuriuose kokybę vertina žmogus vadinami subjektyviais. Šie metodai geri tuo, kad jais vertinant vaizdų kokybę atmetami neesminiai vaizdo iškraipymai, kurie dėl biologinių žmogaus regos ypatybių yra sunkiai pastebimi. Neigiama metodų pusė yra ta, kad skirtingi stebėtojai tą patį vaizdą vertina skirtingai, todėl net ir identiškos kokybės vaizdai gali būti įvertinti skirtingai. Šiam trūkumui sušvelninti naudojamas daugkartinis vertinimas, o galutinis įvertis nustatomas kaip visų vertinimų vidurkis.

Ryškiausias, subjektyvus kokybės vertinimo metodo pavyzdys yra vidutinės nuomonės įvertis [44]. Šiuo metodu nustatomi dveji įverčiai: absoliutiniai ir reliatyvūs. 1.2 lentelėje pateikti šiuos įverčius aprašančių kriterijų pavyzdžiai.

1.2 lentelė. Vidutinės nuomonės įverčio kriterijai

Absoliutūs įvertis		Reliatyvūs įvertis	
Įvertis	Kokybės vertinimo kriterijus	Įvertis	Vaizdo kokybės aprašymas
5	Puiki	5	Geriausia grupėje
4	Gera	4	Geresnė už vidutinę
3	Patenkinama	3	Vidutinė
2	Bloga	2	Blogesnė už vidutinę
1	Labai bloga	1	Bloga

Absoliutūs įvertis naudojamas, kai norima bendrai įvertinti vaizdo kokybę, jos tinkamumą praktiniam naudojimui. Reliatyvūs įvertis naudojamas, norint įvertinti sąryšį tarp grupėje esančių vaizdų kokybės.

Vidutinės nuomonės įvertis praktikoje naudojamas daug metų. Nepaisant to, kad metodas yra labai nepatogus, lėtas ir brangiai įgyvendinamas, net ir šiandien jo atsisakyti neskubama.

Alternatyva subjektyviems yra objektyvūs vaizdų kokybės vertinimo metodai. Objektyviais vadinami tokie vaizdų kokybės vertinimo metodai, kurių vertinimo rezultatas yra pagal žinomą algoritmą apskaičiuotas kokybės nusakantis

skaičius. Matuojant vaizdo kokybę objektyviai, lyginamos dviejų vaizdų (etaloninio ir tiriamojo) atitinkamų taškų skaisčio vertės, ko pasekoje apskaičiuojama vaizdo kokybę nusakanti vertė.

Tarp objektyviai vaizdo kokybę vertinančių algoritmų populiariausi yra vidutinės kvadratinės klaidos įvertis (VKK) ir pikinis signalo–triukšmo santykis (PSTS) [45]. Rekonstruotam vaizdui, kurio taškų stulpelių skaičius yra M , o eilučių N , vidutinės kvadratinės klaidos įvertis apskaičiuojamas pagal išraišką:

$$VKK = \frac{1}{NM} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} [|f(i,j) - f_r(i,j)|^2]; \quad (1.1)$$

čia f – vidutinės kvadratinės klaidos įvertis; f – originalaus vaizdo taško -tosios eilutės -tajame stulpelyje skaisčio vertė; f_r – vertinamojo vaizdo taško -tosios eilutės -tajame stulpelyje skaisčio vertė.

Pikinis signalo triukšmo santykis apskaičiuojamas remiantis VKK įverčiu:

$$PSTS = 10 \log_{10} \left(\frac{(f_{\max})^2}{VKK} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{f_{\max}}{\sqrt{VKK}} \right); \quad (1.2)$$

čia F – pikinis signalo–triukšmo santykis; $f_{\max}$ – maksimali vaizdo taško skaisčio vertė.

Šie įverčiai yra nesudėtingai apskaičiuojami ir pateikia nuo stebėtojo nepriklausomą, lengvai palyginamą skaitinį rezultatą. Didžiausia minėtų kokybės vertinimo metodų problema yra tai, kad efektyviai vertinti vaizdų kokybę jais galima tik kai vertinamų vaizdų iškraipymai yra to paties pobūdžio [46]. Tenkinant šią sąlygą, objektyvaus kokybės vertinimo metodų teikiami rezultatai pakankamai gerai koreliuoja su VKK įverčiu, t.y. subjektyviai prasčiau žmogaus įvertintas vaizdas turės didesnę VKK. Lyginant vaizdus su skirtingo pobūdžio iškraipymais, VKK įverčiai gali labai skirtis nuo subjektyvaus vaizdų tyrimo rezultatų. Ši problema sukūrė vieną pagrindinių objektyviaus vaizdų kokybės nustatymo metodikų tobulinimo uždavinių: sukurti metodiką gebančią kuo tiksliau atkartoti subjektyvaus vertinimo rezultatus.

Siekiant panaikinti rezultato atsikartojamumo problemą, per pastaruosius 3–4 dešimtmečius buvo sukurta daug objektyvaus vaizdų kokybės vertinimo metodų, kuriuos naudojant kokybės įvertis apskaičiuojamas atsižvelgiant į žmogaus regėjimo sistemos specifiką. Šiais metodais vertinimas atliekamas pigiai, greitai ir žmogaus įsikišimas nereikalingas [47–52]. Žmogaus regai tirti naudojami fiziologiniai, anatomiciniai ir psichofiziologiniai aspektai [53–54]. Nustatyta, kad žmogaus regėjimo sistema yra daug jautresnė skaisčio pokyčiams,

negu jo absoliučiajai vertei. Taip pat, kad žmogaus rega vidutiniams dažniams yra daug jautresnė negu aukštiesiems ir panašiai.

Nepaisant ilgų tyrimų metu įdėtų pastangų, sukurti sudėtingi, žmogaus regėjimo sistemos specifika pagrįsti, vaizdo kokybės vertinimo metodai teikia labai nedidelį pranašumą lyginant su paprasčiausiais metodais – vidutinės kvadratinės klaidos įverčiu ar pikinis signalo triukšmo santykiu. Literatūroje teigiama, kad sudėtingos objektyvaus vaizdo kokybės vertinimo metodikos, vertinant vaizdus su skirtinga iškraipymų prigimtimi ir taikant griežtas testavimo sąlygas, neturi pranašumo prieš paprasčiausius VKK ir PSTS matematinius įverčius [42, 55–56].

Dėl išvardintų priežasčių VKK ir PSTS vis dar yra populiariausi objektyvūs vaizdo kokybės įverčiai [57–58]. Populiarumą patvirtina ir tai, kad dauguma vaizdo glaudinimo algoritmų yra optimizuoti pagal vidutinės kvadratinės klaidos įvertį [59].

Nežiūrint į tai, kad literatūros signalų glaudinimo klausimais yra pakankamai daug, tačiau joje pagrindinai analizuojamas ir lyginamas skirtingų glaudinimo metodų, o ne skirtingos paskirties vaizdų glaudinimo efektyvumas. Literatūroje praktiškai negalima rasti atsakymo į klausimus kokiais glaudinimo metodais reikia glaudinti mažai kontrastingus, stambių objektų vaizdus? Ar tie patys metodai tinka vaizdams su smulkiais, gana skirtingo intensyvumo elementais?

1.3. Didelių vaizdų sudarymo apjungiant keletą mažesnių metodai

Dažnai reikalingas vaizdas gali būti gautas tik apjungiant kelis mažesnius vaizdus. Tai daroma sudarant panoramines nuotraukas $135^{\circ} \times 200^{\circ}$ iš įprastų fotoaparato $50^{\circ} \times 35^{\circ}$ nuotraukų [60–64]. Dėl fotodetektorių skiriamosios gebos apribojimų, fotožemėlapių vaizdas turi būti klijuojamas iš dalių [65–68]. Nuskaitant didelius dokumentus, galimybę juos nuskenuoti apriboja skaitymo įrenginio matmenys [69–71]. Šiuolaikinėje medicinoje yra įprasta naudoti kompiuterinius diagnostikos metodus [72–74]. Čia, analogiška išvardintoms, problema atsiranda registruojant didelių matmenų rentgeno, endoskopijos ir kitų rūšių vaizdus. Keli medicininių rentgeno vaizdų sudarymo, apjungiant mažesnius fragmentus, būdai yra pateikti [75–78]. Kaip teigiama šiuose darbuose, didžiausius apribojimus sudarant didelius vaizdus, vieno registravimo metu, įneša kaina ir fiziniai įrenginio matmenys.

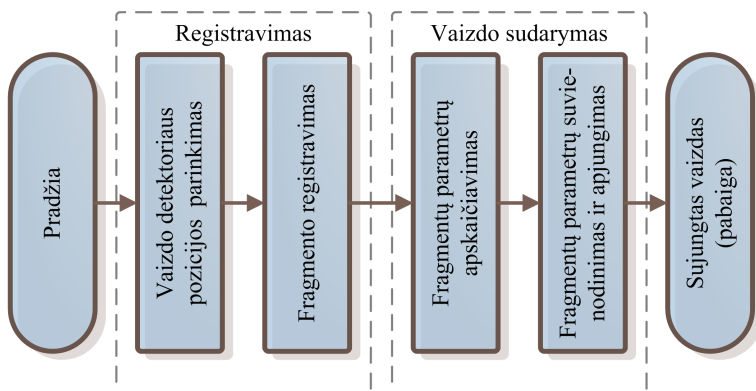
Norint iš kelių mažesnių vaizdo fragmentų padaryti didelį vientisą vaizdą, reikia labai tiksliai žinoti kaip vaizdo fragmentai yra išdėstyti vienas kito atžvilgiu. Tai būtina sąlyga sudarant didelį vaizdą iš mažesnių fragmentų. Kad

sudarytas vaizdas neturėtų sujungimo siūlių būtina garantuoti fragmentų registravimo sąlygų: skaisčio, kontrasto, skiriamosios gebos ir kitų, sutapimą. Siekiant nustatyti kaip fragmentai turi būti uždėti vienas ant kito, kad būtų įmanomas apjungimas gali būti elgiama dvejopai:

- vaizdo fragmentai fiksuojami galimai tiksliau ir sujungiami pasikliaujant tik fiksavimo parametrais;
- persidengiantys vaizdo fragmentai fiksuojami mažesniu tikslumu, o atsiradę netikslumai eliminuojami, pasinaudojant apjungimo parametrais nustatytais persidengiančiose vaizdo srityse.

Pirmasis būdas reikalauja techninės įrangos tikslumo ir idealiai sutampančių registravimo sąlygų. Jis yra brangus ir sudėtingas. Be to, pagal [79], apjungiant vaizdus tokiu būdu, sunku išvengti vaizdo segmentuotumo ir sujungimo siūlių.

Antrajam būdai įgyvendinti gali būti naudojama daug paprastesnė technika. Šiuo atveju tenka apdoroti informaciją, persidengiančiose vaizdo srityse. Vertinant šiuolaikinės kompiuterinės technikos pajėgumus ir kainą, antrasis būdas šiuo metu yra daug patrauklesnis. Tačiau pasirinkimas priklauso ir nuo paties vaizdo turinio. Patikimas persidengiančių vaizdo fragmentų apjungimas įmanomas tik tada, kai vaizde yra pakankamai ryškių detalių. 2.5 paveiksle pavaizduota šiuo būdu pagrįsto, [80] siūlomo didelių vaizdų sudarymo iš mažesnių fragmentų proceso apibendrintas algoritmas:



1.5 pav. Didelio vaizdo sudarymo iš mažesnių fragmentų apibendrintas algoritmas

Vaizdo sudarymas pradedamas detektoriaus pozicionavimu. Detektorius turi būti pozicionuojamas taip, kad užfiksuoti fragmentai persidengtų nurodytu gyliu. Nustačius tinkamą detektoriaus poziciją registruojamas fragmento vaizdas. Registravimas kartojamas tol, kol užregistruojami visi fragmentai. Turint visus vaizdo fragmentus pradedama jų analizė. Analizės metu turi būti nustatyti

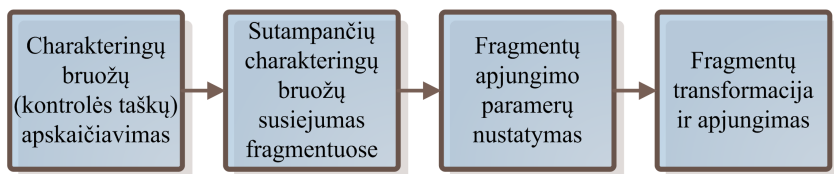
fragmentų parametrai, pagal kuriuos vėliau būtų įmanoma apjungti fragmentus į vieną bendrą vaizdą. Parametrų, kuriuos būtina nustatyti, kiekis yra priklausomas nuo vaizdo registravimo sąlygų. Pavyzdžiui, jeigu fragmentai registruojami lygiagretaus detektoriaus perstūmimo būdu, griežtai nekeičiant atstumo iki registruojamo objekto ir nekeičiant posūkio kampo – apjungimo metu nereikia vykdyti fragmentų mastelių ir posūkio kampų suvienodinimo uždavinių. Šaltinyje [81] nurodomi šie pagrindiniai vaizdo fragmentų apjungime naudojami parametrai: perstūmimas, posūkio kampas, mastelis, perspektyvos korekcija, afininė korekcija, detektoriaus lęšių iškraipymo korekcija, apšviestumas, kontrastas ir pan.

Nustatant apjungimui būtinus fragmentų parametrus vykdoma jų persidengiančių sričių analizė. Praeityje apjungimo parametrai būdavo nurodomi ekspertiškai, t.y. žmogus stebėdamas vaizdą nurodydavo apjungimo parametrus. Tobulėjant technologijoms atsirado galimybė šį veiksmą automatizuoti. Žinoma daug metodų skirtų automatiniam apjungimo parametrų nustatymui. Darbuose [80, 82–84] šie parametrų nustatymo metodai apibendrintai skirstomi į dvi grupes:

- metodus pagrįstus srities analize, šios grupės metodų pritaikymas pateikiamas darbuose [75–76, 85–87];
- pagrįstus charakteringų bruožų analize [62–63, 67–68, 77–78, 88].

Taikant srities analize pagrįstus metodus, efektyviai įmanoma nustatyti tik fragmentų postūmį vienas kito atžvilgiu. Leidžiamas tik labai minimalus posūkio kampų, mastelių ar kitų parametrų nesutapimas. Postūmis nustatomas skaičiuojant pasirinktą klaidos metriką apibrėžtuose galimo postūmio režiuose. Taškas, kuriame apskaičiuota klaidos metrika yra mažiausios vertės, laikomas postūmio tašku. Paprasčiausias būdas nustatyti galimo postūmio režius yra ieškoti jo visoje persidengiančioje fragmentų srityje. Praktikoje tokia paieška dažniausiai trunka per ilgai. Todėl buvo sukurti metodai skirti paieškos pagreitinimui. Vienas iš būdų pagreitinti paiešką yra pateiktas [89]. Jame panaudota hierarchinė postūmio taško paieškos tikslinimo technika, pagal kurią paieška pradedama grubiu tinkleliu, o užbaigiama palaipsniui didinant tikslumą. Paieškos pagreitinimui taip pat naudojama *Fourier* transformacija [80], skleidimas *Taylor* eilutėmis [90] ir kitos technikos. Kadangi srities analizės metoduose, kaip klaidos metrika dažniausiai naudojami normuoti fragmentų tarpusavio koreliacijos koeficientų įverčiai, tokie metodai dar yra vadinami koreliaciniais.

Antrosios grupės metodų, pagrįstų charakteringų vaizdų bruožų analize, galimybės yra didesnės. Šiais metodais įmanoma apjungti vaizdų fragmentus besiskiriančius visais anksčiau išvardintais parametrais. Metodų veikimo esmė pavaizduota apibendrintame algoritme 2.6 paveiksle.



1.6 pav. Vaizdo fragmentų apjungimo pagal charakteringuosius bruožus algoritmas

Pagal šį algoritmą, pirmiausia apjungiamuose fragmentuose yra ieškoma charakteringų bruožų. Kaip charakteringi bruožai gali būti naudojamos uždaros vaizdo sritys, vaizde identifikuotos briaunos, linijų susikirtimai, kampai ir pan. Charakteringi bruožai dažniausiai išreiškiami taškais: sričių svorio centrai; linijų centrai, kraštai, susikirtimai; kampų taškai ir pan. Šie taškai literatūroje dažnai vadinami kontrolės taškais. Nustačius kontrolės taškus ieškoma jų atitikimo apjungiamuose fragmentuose. Šiam tikslui pasiekti dažniausia naudojami įvairūs kontrolės taškų aplinkos panašumo įverčiai ir jų tarpusavio išsidėstymo patikrinimo metodai. Surasti atitinkantys taškai susiejami. Žinant, susietųjų taškų koordinatas, apjungiamuose fragmentuose galima nustatyti kaip reikia transformuoti vieną ar abu fragmentus, kad juos sujungus jie taptų vientisu vaizdu. Transformacijos yra aprašomos parametrais, kurie ir yra nustatomi šiame algoritmo žingsnyje. Dažniausiai taikomos geometrinės ir skaisčio paletės transformacijos, kurias atlikus fragmentai yra sutapdinami. Paskutinis apjungimo algoritmo žingsnis dažniausiai būna fragmentų sujungimo siūlių maskavimas taikant perėjimo funkcijas.

Charakteringų bruožų paieška pagrįsti metodai jau gerokai anksčiau buvo taikomi identiškų objektų identifikavimui, skirtingu kampu užregistruotuose vaizduose. Pastaruoju metu sparčiai auga jų populiarumas vaizdo fragmentų apjungimo taikymuose [91–92]. Čia fragmentai dažniausiai būna fiksuojami panašesnėmis sąlygomis ir bruožų susiejimo uždavinys supaprastėja.

Pasirinkimas, kokių charakteringųjų bruožų ieškoti vaizde, priklauso nuo vaizdo, kurį planuojama registruoti, turinio ir registravimo sąlygų. Vaizde turi būti pakankamai objektų, patikimai aptinkamų pasirinktos rūšies charakteringų bruožų detektoriumi. Taip pat vaizde neturi būti iškraipymų, kuriems pasirinktas bruožų detektorius yra neatsparus. Jeigu tik yra galimybė, būtina remtis apriori apie vaizdą žinoma informacija, jeigu taip nėra detektorius turi būti kiek įmanoma lankstesnis, kad susitvarkytų su visomis galinčiomis iškilti situacijomis. Kitaip tariant, idealus charakteringų bruožų detektorius kontrolės taškus turi sugebėti nustatyti tiksliai nepriklausomai nuo vaizdo turinio, vaizdą paveikusių triukšmų ir vaizdo projekcijos. Darbe [93] charakteringų bruožų taškams keliama tokie reikalavimai:

1. Aiškumas: apskaičiuoti kontrolės taškai turi rodyti aiškiai žmogaus išskiriamus objektus vaizde.
2. Invariantiškumas: kontrolės taškai turi būti tiksliai nustatomi nepriklausomai nuo su vaizdu atliktų geometrinių ir spalvinių transformacijų.
3. Stabilumas: kontrolės taškų apskaičiavimas turi būti atsparus triukšmams.
4. Unikumas: kontrolės taškai turi būti globaliai unikalūs vaizde, kas sudaro sąlygas surasti tuos pačius taškus persidengiančiose vaizdo srityse.

Jeigu charakteringų bruožų detektorius tenkina išvardintas sąlygas, vadinasi jis yra tinkamas efektyviam taškų, persidengiančiose vaizdų srityse, susiejimui. Šiuo metu populiariausi yra kampų taškų detektoriai [94–95]. Vienas pirmųjų, šios rūšies detektorių, sėkmės susilaukė *Moravec* kampų taškų detektorius [96–97]. *Moravec* detektorius tikrina kiekvieną vaizdo tašką pagal kampuotumo įvertį. Taškai su lokaliais kampuotumo įverčio maksimumais traktuojami kaip kampų taškai. Pats autorius kaip pagrindinę detektoriaus problemą įvardina jo jautrumą kampo orientacijai tiriamo taško atžvilgiu. Šią problemą, pakankamai gerai, sprendžia *Harris-Plessey* kampų taškų detektorius [98]. Šis detektorius pasiūlytas jau prieš 20 metų, žinomi visi jo trūkumai: pakankamai žemas atsparumas triukšmams, prastoka kai kurių kampų rūšių lokalizacija ir didelės skaičiavimo sąnaudos. Netgi nepaisant to, kad yra sukurti kampų detektoriai [99–100] lenkiantys beveik visus *Harris-Plessey* detektoriaus parametrus. Iš [101–102] išplaukia, kad jis vis dar yra tarp pačių populiariausių kampų detektorių.

Šiuo metu sparčiai populiarėja nesusiję su kampų taškais vaizde charakteringų bruožų detektoriai. Vienas iš jų yra 1999 metais pasiūlytas SIFT detektorius [103]. SIFT detektoriumi, persidengiančiose fragmentų srityse galima patikimai nustatyti tuos pačius taškus skirtinguose fragmentuose, netgi kai nesutampa jų posūkio kampai ir masteliai. Taip pat pabrėžiamas šio detektoriaus atsparumas skaisčio pokyčiams ir triukšmams. 2006 metais buvo pristatytas dar vienas detektorius pavadinimu SURF, autorių pristatomas, kaip mažesnių skaičiavimo sąnaudų reikalaujantis SIFT analogas [104]. Metais vėliau šis teiginys buvo patvirtintas kitų autorių pristatytame darbe [105].

Apibendrinant galima teigti, kad srities analize pagrįsti metodai yra tinkamesni mažo kontrastingumo vaizdams, kuriuose nėra aiškių objektų. Svarbiausi metodų apribojimai yra du: apjungiami fragmentai turi turėti panašias arba identiškas skaisčio funkcijas ir turi sutapti fragmentų posūkio kampai su masteliais. Charakteringais bruožais paremti metodai yra daug lankstesni. Jiems nebūdingi fragmentų pasukimo kampų, mastelių vienodumo apribojimai, tačiau būtina sąlyga – vaizde turi būti pakankamai daug aiškių objektų. Iš persidengiančių vaizdo fragmentų apjungimo metodų apžvalgos susidaro įspūdis, kad charakteringais bruožais pagrįsti metodai yra daug tobulesni už pagrįstus srities analize. Naujausiems metodams netgi žemas kontrastingumas nėra

problema. Tačiau yra taikymų, kur sritys analize pagrįsti metodai vis dar populiarūs. Pavyzdys – medicininių rentgeno nuotraukų apjungimas. Šiuose vaizduose charakteringais bruožais pagrįsto apjungimo dažniausiai atsisakoma todėl, kad registruojamas objektas tarp skirtingų fragmentų registravimo momentų gali sujudėti. Kadangi šiuose vaizduose nėra fono, pagal charakteringus bruožus nustatyti kontrolės taškai gali pateikti visiškai neteisingus apjungimo parametrus. Srities analize grįsti koreliaciniai metodai šios problemos neturi, jų naudojimo atveju, perslinkimo taško ieškoma visoje persidengiančioje fragmentų srityje.

1.4. Pirmojo skyriaus išvados. Uždavinių formulavimas

Iš atliktos analitinės literatūros apžvalgos išplaukia:

1. Šiuo metu žinomos ir naudojamos dokumentų valdymo sistemos yra išstobulintos.
2. Moderniose DVS, dokumento sąvoka labai plati, todėl šios sistemos yra tinkamos ne tik darbui su įprastais dokumentais, bet ir srityse, kuriose dokumentais yra vaizdo, garso, video, vektoriniai ir kitų rūšių specializuoti duomenys.
3. DVS naudojant specializuotoje aplinkoje labiausiai trūkstami komponentai yra integracija su specializuota technine įranga (automatizuotas duomenų įvedimas) ir duomenų saugojimo/perdavimo posistemų adaptavimas dideliems kiekiams specializuotų duomenų.

Sprendžiant komponentų integracijos ir duomenų saugojimo/perdavimo posistemio adaptavimo problemas reikia siekti tokio tikslo – ištirti specialios paskirties vaizdų glaudinimo galimybes, parinkti tokių vaizdų saugojimui ir perdavimui tinkamiausią formatą arba jų derinį, sudaryti algoritmus automatizuotam specialios paskirties vaizdų įvedimui ir juos ištirti.

Darbo tikslui pasiekti reikia išspręsti tokius uždavinius:

1. Ištirti specialiosios paskirties ir dokumentų valdymo sistemoms įprastųjų vaizdų glaudinimo metodų tinkamumą specializuotų vaizdų saugojimui ir perdavimui.
2. Pasiūlyti specialios paskirties vaizdų automatizuoto sudarymo apjungiant keletą mažesnių fragmentų metodus, pagrįstus dirbtinių žymių įterpimu ir sutapdinimu pagal bendrąsias savybes.
3. Sudaryti pasiūlytų metodų algoritmus ir eksperimentiškai ištirti jų galimybes.

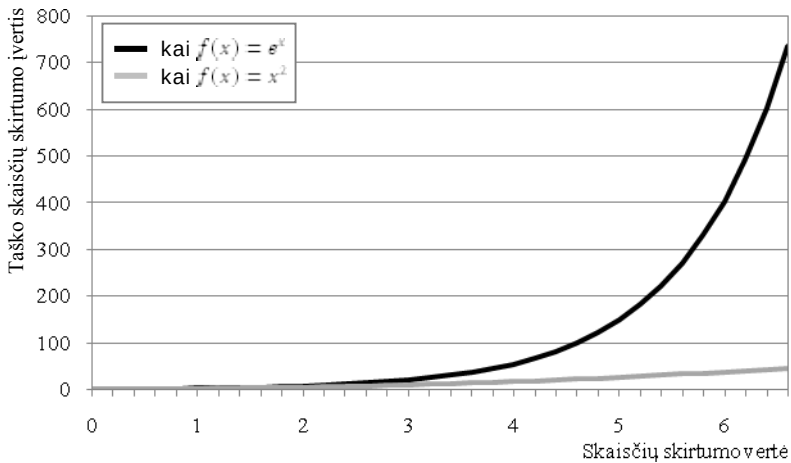
Vaizdų glaudinimo metodų tyrimas

Specialios paskirties dokumentų valdymo sistemose, vaizdų saugyklos turi tenkinti du vienas kitam prieštaraujančius reikalavimus – vaizdų glaudinimo santykis turi būti maksimalus, dėl didelės jų apimties, kai tuo tarpu leistinas informacijos praradimas turi būti toleruojamas minimaliai.

Šiame skyriuje aprašoma kompromisinio sprendimo paieška – ieškomas glaudinimo metodas, vaizdus glaudinantis mažiausiu informacijos praradimu ir didžiausiu glaudinimo santykiu. Tuo tikslu siūloma glaudinimo metodus palyginti pagal vidutinės eksponentinės klaidos kriterijų. Pateikiamas vaizdų palyginimo metodo įgyvendinimo algoritmas, pasirinkti vaizdų glaudinimo metodai ištirti eksperimentiškai. Nustatyti ir pasiūlyti tinkamiausi medicininių ir aviacinių vaizdų saugojimui glaudinimo sprendimai. Skyriui parengti panaudoti autoriaus darbai [A3, A4].

2.1. Vaizdų glaudinimo kokybės palyginimo metodas

Populiariausios vaizdų kokybės vertinimo metrikos yra vidutinės kvadratinės klaidos ir pikinio signalo-triukšmo santykio įverčiai. Yra žinomi šių įverčių trūkumai, kurių pagrindinis prastas atitikimas subjektyvaus vertinimo rezultatams, kai vaizdų iškraipymo pobūdis yra skirtingas. Tačiau ir naujesni metodai, kuriuose atsižvelgiama į žmogaus regėjimo sistemos ypatumus, subjektyvaus vertinimo rezultatus atitinka tik konkrečiai jiems pritaikytomis sąlygomis. Į tai atsižvelgiant, vaizdų glaudintų įvairiais formatais kokybės vertinimui siūlomas vidutinės eksponentinės klaidos įvertis. Šis įvertis yra analogiškas vidutinės kvadratinės klaidos įverčiui: įvertinamas iškraipymas kiekviename vaizdo taške ir apskaičiuojamas visų taškų klaidų vidurkis. Originalaus ir tiriamojo vaizdo atitinkamų taškų skaisčio skirtumo eksponentė vietoje kvadrato pasirinkta dėl staigesnio jo vertės didėjimo. Kaip skiriasi skaisčio skirtumo kvadrato ir eksponentės augimas pavaizduota 2.1 paveiksle.



2.1 pav. Eksponentinio ir kvadratinio įverčių priklausomybė nuo skaisčio skirtumo vertės

Kaip matyti iš 2.1 paveikslo, skaisčių skirtumui pasiekus vertę 4 – eksponentinio įverčio vertė siekia ~50, skirtumui pasiekus 6 – įvertis jau siekia ~500. VKK įvertis auga kur kas lėčiau, kas sudaro didesnę tikimybę lokaliai klaidai būti užmaskuotai vidurkinimo metu. Jeigu vaizdo skaisčiui koduoti

naudojami 256 intensyvumo laipteliai, žmogaus akis pastebi tik apytiksliai 3–4 skaisčio lygmenų skirtumus (tam įtakos turi vaizdo atvaizdavimo įrenginys). Naudojant VEK įvertį glaudinto vaizdo taškų skaisčiui vidutiniškai pakitus 4 laipteliais, vidutinis eksponentinis įvertis įgaus vertę ~50, skirtumui didėjant toliau įvertis labai sparčiau augs. Spartus augimas užtikrina, kad ir lokali klaida, po suvidurkinimo turės stiprią įtaką bendram įverčiui.

Vienmatėje erdvėje VEK įvertis apskaičiuojamas pagal 2.1 išraišką:

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e^{|A_i - A_{gi}|}, \quad (2.1)$$

čia – vidutinė eksponentinė klaida; – taškų vaizde skaičius; – originalaus vaizdo -tojo taško intensyvumas; – glaudinto vaizdo -tojo taško intensyvumas. Norint šią išraišką pritaikyti vaizdams lyginti ją reikia modifikuoti. Visų pirmą realiai naudojami vaizdai yra dvimačiai, t.y. jie turi du matmenis X ir Y . Atsižvelgiant į vienos papildomos dimensijos atsiradimą, išraišką 4.1 galima pertvarkyti taip:

$$D = \frac{1}{XY} \sum_{i=1}^X \sum_{j=1}^Y e^{|A_{ij} - A_{gij}|}, \quad (2.2)$$

čia – naujai įvestas kintamasis vaizdo plotis; – vaizdo aukštis; – originalaus vaizdo -tojo pločio ir -tojo aukščio taško intensyvumas; – glaudinto vaizdo -tojo pločio ir -tojo aukščio taško intensyvumas.

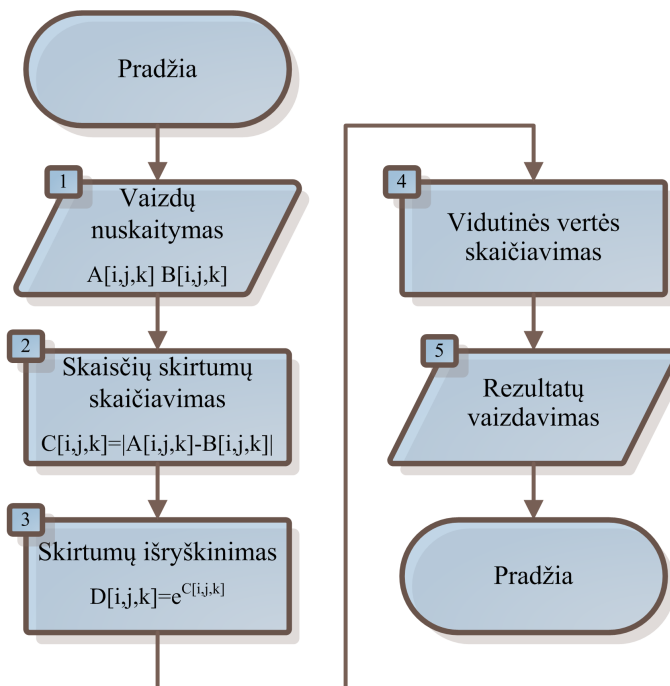
2.2 išraiška jau yra tinkama monochrominių glaudintų vaizdų VEK įverčio apskaičiavimui. Tačiau spalvotų vaizdų taškui aprašyti jau neužtenka vieno skaičiaus. Spalvotiems vaizdams aprašyti yra naudojami spalviniai kanalai. Pavyzdžiui, labiausiai kompiuteriniuose vaizduose paplitusiame spalvų kodavimo metode RGB (angl. Red Green Blue) naudojami trys spalvų kanalai: raudonasis, žaliasis ir mėlynasis. Taško vaizde spalvą nusako spalvų kodavimui naudojamų kanalų intensyvumų kombinacija. Monochrominiai vaizdai turi vieną kanalą, aptartasis RGB – tris, taip pat egzistuoja ir kiti spalvų kodavimo metodai, kuriuose kanalų gali būti daugiau. 2.2 išraiška pritaikyta spalvotiems vaizdams atrodo taip:

$$D = \frac{1}{XYC} \sum_{i=1}^X \sum_{j=1}^Y \sum_{k=1}^C e^{|A_{ijk} - A_{gijk}|}, \quad (2.3)$$

Šioje išraiškoje A – spalvinių kanalų vaizde skaičius; B – originalaus vaizdo i -tojo pločio ir j -tojo aukščio taško intensyvumas k -tame spalviniame kanale; C – glaudinto vaizdo i -tojo pločio ir j -tojo aukščio taško intensyvumas k -tame spalviniame kanale.

2.2. Vaizdų glaudinimo kokybės vertinimo algoritmo įgyvendinimas

Nepriklausomai nuo metodo įgyvendinimo aplinkos pirmoji užduotis yra tiriamojo vaizdo parametrų nustatymas. Tai atliekama 2.2 paveiksle pavaizduoto algoritmo bloke 1. Reikia nustatyti taškų vienoje vaizdo eilutėje kiekį X , vaizdo eilučių skaičių Y bei spalvinių kanalų skaičių. Taškų stulpelių ir eilučių vaizde kiekiai nustato dvimačio masyvo, kuriame bus saugomas vaizdas dydį, spalvinių kanalų vaizde kiekis – šių masyvų kiekį. Kiekvienas spalvinis kanalas turi savo atskirą masyvą.

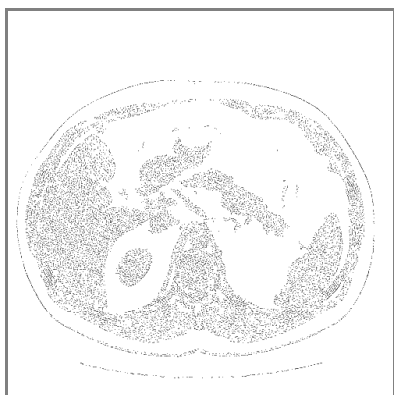


2.2 pav. Vaizdų palyginimo metodo įgyvendinimo algoritmas

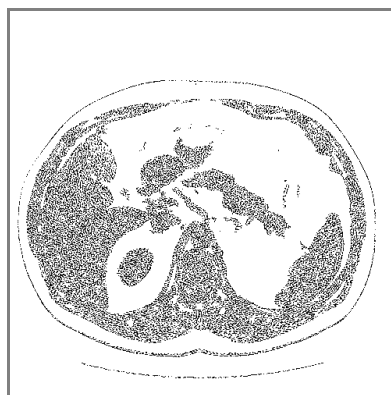
Kai vaizdo struktūra nustatyta, kitu žingsniu skaitomas vaizdo turinys. Šio veiksmo rezultatas yra lyginamųjų vaizdų taškų masyvų rinkiniai. Jeigu lyginami vienspalviai vaizdai rinkinyje bus du masyvai, jeigu vaizdai spalvoti rinkinyje bus masyvų kiekis lygus dvigubam vaizdų spalvinių kanalų skaičiui.

2.2 paveikslo 2 bloke pavaizduotas dviejų vaizdų skaisčių matricų skirtumo skaičiavimas. Iš pirmojo vaizdo atitinkamo taško skaisčio atimamas antrojo vaizdo to paties taško skaisčio. Ko pasekoje gaunama nauja vaizdų skirtumų matrica.

Nustatyti intensyvumų skirtumai kitame bloke dirbtinai išryškinami. Tuo tikslu kiekvienam skirtumų matricos elementui apskaičiuojama eksponentė. Ši operacija menkai įtakoja pačias mažiausias skirtumų vertes, tačiau išryškina akimi pastebimus ir aukštesnius skirtumus. Vaizdas suformuotas iš aprašyto skaičiavimo rezultato vadinamas klaidos žemėlapiu. 2.3 ir 2.4 paveiksluose pateikti klaidos žemėlapių pavyzdžiai. 2.3 paveiksle skirtumai yra vos pastebimi netgi ir dirbtinai padidinus jų ryškumą, 2.4 paveiksle skaisčio skirtumams apskaičiuota eksponentė ir klaidos žemėlapyje vaizdas yra ryškus.



2.3 pav. Etaloninio ir tiriamojo vaizdų skaisčių skirtumų vaizdas



2.4 pav. Etaloninio ir tiriamojo vaizdų skaisčių skirtumų eksponentėje vaizdas

Algoritmo bloke pažymėtame 4 numeriu apskaičiuojamas galutinis rezultatas – vidutinė eksponentinės klaida. Visų klaidos žemėlapių vaizdo taškų vertės yra sumuojamos ir gautas rezultatas dalinamas iš taškų skaičiaus. Visų skaičiavimų rezultatas yra vienas skaičius apibūdinantis originalaus ir glaudinto vaizdo skirtumus. Vertė 1.0 reiškia, kad lyginami vaizdai yra identiški, didesnės vertės reiškia didesnę skirtumą. Vaizdo klaidos žemėlapis yra kaip tarpinis rezultatas algoritmo ketvirtajame bloke. Atliekant skirtingų vaizdų rūšių glaudinimo tyrimą klaidos žemėlapis leidžia vizualiai stebėti glaudinimo klaidas

pasiskirstymą skirtingose vaizdo srityse, todėl analizės metu yra ne mažiau svarbus negu vidutinės eksponentinės klaidos įvertis.

2.3. Glaudintų vaizdų kokybės vertinimo eksperimentai

Naudojant programinę įrangą sukurta pagal 2.2 skyriuje aprašytą algoritmą buvo tiriami populiariausi vaizdų glaudinimo metodai. Tyrimo tikslas buvo iširti pasirinktais glaudinimo algoritmais glaudintų vaizdų kokybę ir gaunamus glaudinimo santykius. Tyrime buvo naudoti šie glaudinimo metodai: JPEG, JPEG LS, JPEG 2000, GIF, PNG, RLE, LZW. Metodų tyrimui naudoti 3 vaizdų rinkiniai:

- vienspalviai medicininiai vaizdai, medicininio vaizdo pavyzdys pateiktas 2.5 paveiksle, visi rinkinio vaizdai pateikti priede: 1.1–1.19 paveiksluose;
- vienspalviai aviaciniai vaizdai, vaizdo pavyzdys pateiktas 2.6 paveiksle, visi rinkinio vaizdai pateikti priede: 2.1–2.8 paveiksluose;
- spalvoti bendrojo pobūdžio vaizdai, vaizdo pavyzdys pateiktas 2.7 paveiksle, visi rinkinio vaizdai pateikti priede: 3.1–3.5 paveiksluose.

Vienspalvių medicininių vaizdų rinkinys buvo sudarytas iš 8 bitais koduotų medicininių vaizdų gautų ultragarso, magnetinio rezonanso, kompiuterinės tomografijos ir rentgeno įrenginiais.

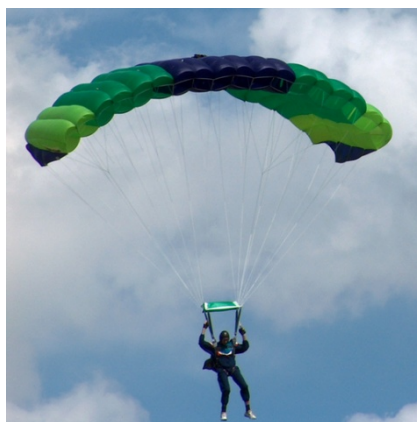
Antrasis tyrime naudotas vaizdų rinkinys buvo sudarytas iš 8 bitais koduotų vienspalvių aviacinių vaizdų. Vaizdai buvo parinkti taip, kad juose dominuotų skirtingo pobūdžio teritorijos: vandens telkiniai, miškai, pasėlių laukai bei urbanizuotos teritorijos.



2.5 pav. Tyrimams naudoto medicininio vaizdo pavyzdys



2.6 pav. Tyrimams naudoto aviacinio vaizdo pavyzdys



2.7 pav. Tyrimams naudoto bendrojo pobūdžio vaizdo pavyzdys

Analizei atrinkti spalvotieji, bendrojo pobūdžio vaizdai buvo 24 bitais koduoti vaizdai gauti skaitmeniniu fotoaparatu fiksuojant aplinką.

Atliekant tyrimą, visų rinkinių vaizdai buvo glaudinami naudojant skirtingus vaizdų glaudinimo metodus. Visiems glaudintiems vaizdams buvo analizuojama:

- kokybė;
- glaudinimo santykis.

Gauti rezultatai yra pateikti 2.1–2.3 lentelėse. Prieš pradedant analizę būtina atsižvelgti į tai, kad tyrime panaudoti tiek glaudinti su informacijos praradimu, tiek be informacijos praradimo vaizdai. Algoritmams glaudinantiems vaizdus be

informacijos praradimo buvo apskaičiuojamas vienintelis įvertis – glaudinimo santykis, visų jų glaudinimo kokybė yra identiška.

Glaudavimo metodai PNG, LZW ir RLE priklauso be informacijos praradimo glaudinančiai metodų grupei. Glaudinimo metodas GIF vienspalvių 8 bitų vaizdų atveju veikia kaip glaudinimo be informacijos praradimo algoritmas, tačiau juo glaudinant spalvotus, 24 bitų vaizdus, vaizdai iškraipomi ir GIF tampa su informacijos praradimu glaudinančiu metodu. Metodai JPEG LS ir JPEG 2000 yra lanksčiausi. Glaudinant vaizdus šiais metodais galima aktyviai pasirinkti koks glaudinimas reikalingas priklausomai nuo to ar konkrečiu atveju informacijos praradimas yra leistinas ar ne.

2.4. Vaizdų glaudinimo metodų tyrimo rezultatai

Pagal medicininių vaizdų glaudinimo analizės duomenis pateiktus 2.1 lentelėje, iš visų tirtų be informacijos praradimo glaudinančių metodų geriausia kokybė buvo aptikta metodu JPEG LS glaudintuose vaizduose. Šiuo metodu glaudintas testinis vaizdų rinkinys užėmė tik 33 % neglaudintai būsenai reikalingos vietos. Vos 3 % procentais žemesnis glaudinimo santykis buvo nustatytas JPEG 2000 metodu glaudintuose medicininiuose vaizduose. PNG metodu glaudinti vaizdai užėmė 50 % ankstesnės atminties talpos. Tai yra rezultatas daugiau negu 10 % žemesnis už JPEG LS ir JPEG 2000 glaudintose vaizduose nustatytą glaudinimo santykį. Glaudinimo metodais GIF, LZW ir RLE glaudintiems vaizdams atminties talpos reikėjo daugiausiai ir ji sudarė apie 60 % neglaudintos informacijos apimtį.

2.1 lentelė. Vienspalvių medicininių vaizdų glaudinimo analizės rezultatai

Metodas	Dydis, KB	Dydis, %	VEK
BMP	3917	100	1,0
GIF	2194	56	1,0
PNG	1902	49	1,0
JPEG 2000 (bp)	1410	36	1,0
LZW	2236	57	1,0
RLE	2639	67	1,0
JPEG-LS	1315	33	1,0
JPEG 2000 (100)	1410	36	1,0
JPEG (100)	1561	40	1,1

JPEG 2000 (66)	214	6	28,0
JPEG (66)	351	9	19,4
JPEG 2000 (33)	83	2	37,2
JPEG (33)	233	6	27,5

Su vienspalviais aviaciniais vaizdais situacija kiek kitokia. Šių vaizdų glaudinimo tyrimo rezultatai yra pateikti 2.2 lentelėje. Kaip matyti iš duomenų pateiktų lentelėje, šiuo atveju glaudinant vaizdus be informacijos praradimo JPEG LS ir JPG 2000 vėl pasirodė geriausi, tačiau šį kartą abejais metodais glaudintuose vaizduose nustatytas beveik vienodas glaudinimo santykis. JPEG LS ir JPEG 2000 metodais glaudintų vaizdų apimtis sudarė 60 % neglaudintų vaizdų užimamos atminties. Trečiasis geriausias rezultatas buvo pasiektas glaudinant vaizdus PNG formatu. Tačiau šiuo formatu glaudinti vaizdai užėmė net 90 % neglaudinto vaizdo apimties. 10 % apimties sumažinimas yra per menkas, kad jį būtų galima laikyti efektyviu. Kiti, be informacijos praradimo glaudinantys, algoritmai vienspalvių aviacinių vaizdų atveju yra visiškai beverčiai. Jais glaudintiems vaizdams saugoti reikalinga atminties apimtis yra didesnė už jų originalioje būsenoje užimamą talpą.

Spalvotų bendrojo pobūdžio vaizdų glaudinimo metu gauti nuo abiejų ankstesnių tyrimų besiskiriantys rezultatai. Šiuo atveju geriausiai vaizdus glaudino metodas JPEG 2000. Jis sutaupė apie 50 % atminties talpos. Vos 7 % prastesni rezultatai gauti vaizdus glaudinat metodu JPEG LS. Nedaug nuo jų skyrėsi ir PNG – 60 %. Glaudinimo metodai LZW ir RLE, kaip ir vienspalvių aviacinių vaizdų atveju, jokios naudos glaudinant nedavė. Jais glaudinti vaizdai užėmė apytiksliai tiek pat atminties talpos kaip ir neglaudinti.

2.2 lentelė. Vienspalvių aviacinių vaizdų glaudinimo analizės rezultatai

Metodas	Dydis, KB	Dydis, %	VEK
BMP	3752	100	1.0
GIF	3961	106	1.0
PNG	3313	88	1.0
JPEG 2000 (bp)	2204	59	1.0
LZW	3989	106	1.0
RLE	3922	105	1.0
JPEG-LS	2189	58	1.0
JPEG 2000 (100)	2204	59	1.0

JPEG (100)	2382	63	1.1
JPEG 2000 (66)	157	4	57.5
JPEG (66)	530	14	32.2
JPEG 2000 (33)	56	2	73.5
JPEG (33)	326	9	48.4

Tais atvejais kai glaudinimas be informacijos praradimo neduoda rezultatų glaudinimo santykį pagerinti galima tik į vaizdus įnešant iškraipymus – glaudinant su informacijos praradimu. Naudojant šiuos metodus pasiekiami daug didesni glaudinimo santykiai. Didesni glaudinimo santykiai pasiekiami aukojant vaizdų kokybę, įnešant į juos iškraipymus. Dauguma su praradimu glaudinančių metodų leidžia pasirinkti įnešamų iškraipymų dydį. Tai suteikia galimybę keisti glaudinimo santykį.

Glaudinant su informacijos praradimu, pagal 2.1–2.3 lentelėse pateiktus tyrimų rezultatus, geriausias yra JPEG 2000. Šiame algoritme pareikalavus aukščiausios glaudinimo kokybės jis glaudina be informacijos praradimo. Tačiau, mediciniškų ir aviacinių vaizdų atveju, juo glaudintų vaizdų glaudinimo santykis išlieka keliais procentais didesnis negu įprasto JPEG aukščiausia kokybe glaudinami su informacijos praradimu vaizdai. Mažinant JPEG 2000 ir įprastinio JPEG glaudinimo kokybę išryškėja JPEG 2000 glaudinimo pranašumas. Glaudinant priede pateiktą medicininių vaizdų rinkinį (1.1–1.19 priedo paveikslai) formatais JPEG 2000 bei įprastiniu JPEG ir abiem jiems parinkus 66 % kokybės lygmenį (aukščiausias lygmuo 100 %), glaudintiems vaizdams saugoti reikės atitinkamai ~15 ir ~10 kartų mažiau atminties talpos negu neglaudintame formate. Sumažinus glaudinimo kokybę iki 33 % kokybės lygmens glaudinimo santykiai pakyla iki ~50 (JPG 2000) ir ~15 (įprastas JPG).

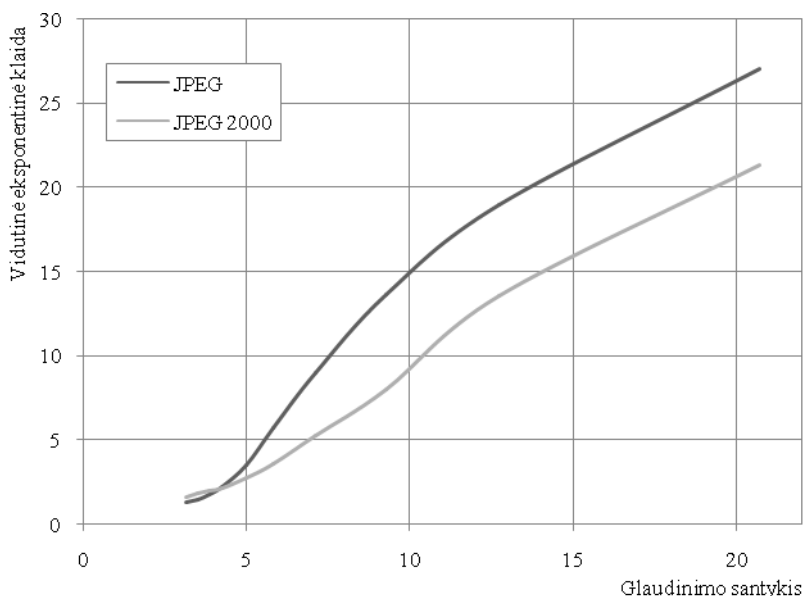
2.3 lentelė. Spalvotų bendrojo pobūdžio vaizdų glaudinimo tyrimo rezultatai

Metodas	Dydis, KB	Dydis, %	VEK
BMP	3840	100	1,0
GIF	749	19	46,5
PNG	2216	57	1,0
JPEG 2000 (bp)	1806	47	1,0
LZW	3873	99	1,0
RLE	3756	96	1,0
JPEG-LS	2090	54	1.0
JPEG 2000 (100)	1806	47	1,0

JPEG (100)	1047	27	10,7
JPEG 2000 (66)	163	4	38,2
JPEG (66)	199	5	42,0
JPEG 2000 (33)	60	2	50,8
JPEG (33)	122	3	51,5

Reikia pastebėti, kad nustačius tą patį kokybės lygmenį JPG 2000 ir įprastiniame JPG skiriasi ne tik glaudinimo santykis. Kartu su didesniu glaudinimo santykiu JPG 2000 įneša ir didesnę vidutinę eksponentinę klaidą.

Norint palyginti šiais metodais glaudintų vaizdų kokybę, lyginti reikia tuo pačiu santykiu skirtingais algoritmais glaudintus vaizdus. Tuo tikslu buvo atliktas papildomas eksperimentas. Vienspalvių medicininių vaizdų rinkinys (1.1–1.19 priedo paveikslai), kuris iš visų tyrime naudotų vaizdų rinkinių glaudinosi didžiausiu santykiu, buvo glaudintas įvairiais JPEG algoritmo kokybės lygmenimis. Iš gautos glaudintų vaizdų aibės buvo išrinktas dešimties vaizdų poaibis, kuriame glaudintų vaizdų apimtis ties kiekvienu vaizdu sumažėja po 100 KB. Pagal išrinktų vaizdų apimtį parinkti artimiausios apimtys JPEG 2000 algoritmu glaudinti vaizdai. Sudarytoms JPEG ir JPEG 2000 algoritmais glaudintų vaizdų aibėms apskaičiuota vidutinė eksponentinė klaida. Eksperimento rezultatai pateikti 2.8 paveiksle:

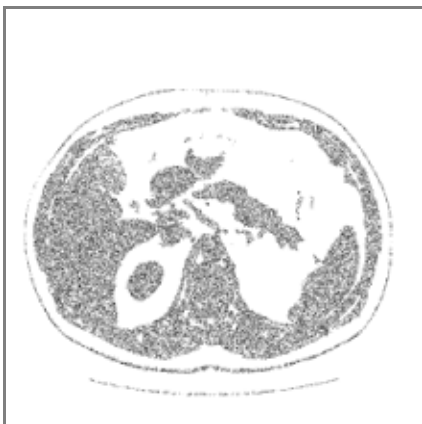


2.8 pav. Vidutinės eksponentinės klaidos priklausomybė
nuo glaudinimo santykio dydžio

Iš 2.1–2.3 lentelių matyti, kad JPEG 2000 vaizdus glaudina didesniu santykiu, tačiau vertinant kokybę, esant tiems patiems glaudinimo santykiams JPEG 2000 pranašesnis ne visuomet. Kaip matyti iš 2.8 paveikslą kol glaudinimo santykis mažesnis už 5, JPEG glaudina beveik su tokia pačia vidutine eksponentine klaida kaip ir JPEG 2000. Kol santykis mažesnis už 4 JPEG glaudinimo klaida netgi mažesnė.

Medicininėje programinėje įrangoje vaizdų informacijos iškraipymas dėl glaudinimo yra neleistinas. Klaidos, kuri gali atsirasti dėl glaudintų su praradimu medicininių vaizdų darant medicininių sprendimą, kaina yra per aukšta. Kadangi medicininiams vaizdams glaudinimas su informacijos praradimu yra netinkamas tai dėl didžiausio glaudinimo santykio tinkamiausias medicininių vaizdų glaudinimui yra JPEG LS. Iš visų tirtų vaizdų grupių aviaciniai vaizdai glaudinasi prasčiausiai. Glaudinat be informacijos praradimo gaunamas nedidelis glaudinimo santykis, o glaudinant su praradimu, esant tam pačiam glaudinimo santykiui gaunama didesnė vidutinė eksponentinė klaida. Įvertinant tai, kad aviaciniai vaizdai dažniausiai būna labai dideli, o jų glaudinimo be informacijos praradimo efektyvumas yra mažas, aviaciniams vaizdams glaudinti tinkamesnis būtų efektyviausiai su informacijos praradimu vaizdus glaudinęs metodas JPEG 2000.

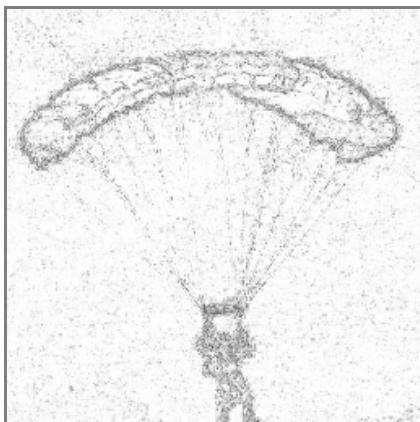
Priežastys, dėl kurių medicininiai vaizdai buvo suglaudinti aukštesniais negu kitų rūšių vaizdai glaudinimo santykiais, matomos skirtingų vaizdų rūšių klaidos žemėlapiuose pateiktuose 2.9–2.11 paveiksluose.



2.9 pav. Vienspalvio medicininio vaizdo klaidos žemėlapis



2.10 pav. Vienspalvio aviacinio vaizdo klaidos žemėlapis

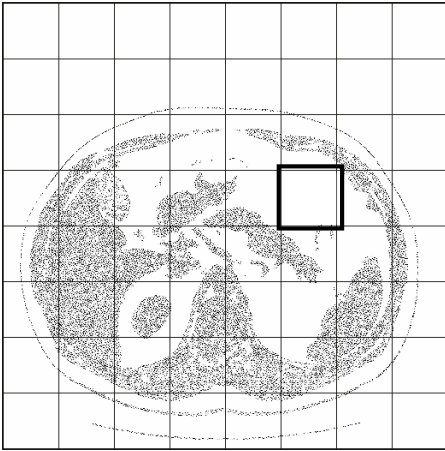


2.11 pav. Spalvoto bendrojo pobūdžio vaizdo klaidos žemėlapis

Iš šių paveikslų matyti, kad tik medicininiam vaizde yra visiškai baltų sričių, kuriose vidutinė eksponentinė klaida lygi vienetui. Foto žemėlapio vaizde – atvirkščiai, beveik visose vaizdo srityse klaida yra pakankamai didelė. Bendrojo pobūdžio vaizduose matomas tarpinis variantas: nedidelė klaida yra visame vaizdo plote – panašiai kaip aviaciniuose vaizduose ir tik nedidelėje vaizdo dalyje ji yra didesnė – kaip medicininuose vaizduose.

Medicininuose vaizduose sritys kuriose nėra klaidos yra nulemtos medicininės įrangos. Vaizdai yra generuojami skaitmeninėmis priemonėmis ir informacija juose dažniausiai yra koncentruota vaizdo centre. Sritys, kuriose intensyvumas yra pastovus arba kinta labai lėtai glaudinasi labai dideliu glaudinimo santykiu. Netgi glaudinantys su informacijos praradimu metodai tokias sritis glaudina be iškraipymų. Tą įrodo eksperimento rezultatai pateikti 2.12 paveiksle. Čia pavaizduota kaip vidutinė eksponentinė klaida yra pasiskirsčiusi vaizdo segmentuose. Segmentai sudaryti vienspalvį medicininį vaizdą padalinus į 64 vienodo dydžio kvadratus. Kiekvienas iš segmentų individualiai glaudintas JPEG algoritmu nustačius 66 % kokybę.

1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	31,12	60,17	41,74	34,47	30,35	22,58	14,73	17,05
1,00	1,00	1,78	2,23	2,84	1,41	1,00	1,00	1,00	22,02	58,73	33,48	35,72	25,13	9,63	50,07	9,43
1,00	13,43	15,56	4,66	8,29	15,38	11,11	1,00	1,00	3,10	34,61	28,28	45,48	45,66	35,50	27,74	2,12
12,63	47,27	14,47	38,23	15,47	1,00	22,91	4,68	1,00	1,00	2,97	9,11	8,25	9,03	7,41	2,21	1,00



2.12 pav. Glaudinto vaizdo vidutinė eksponentinė klaida apskaičiuota vaizdo segmentams

Kaip matyti iš 2.12 paveikslo, vaizdo segmentai kuriuose intensyvumas yra pastovus, netgi glaudinti algoritmu iškraipiančiu informaciją, išlieka nepakitę – vidutinė eksponentinė klaida lygi 1. Glaudinimas dar žemesniu kokybės lygmeniu vienodo intensyvumo srityse nieko nekeičia, jos išlieka nepakitusios, kai tuo tarpu srityse su kintamu intensyvumu vidutinė eksponentinė klaida didėja. Klaida tuo didesnė kuo intensyvumo pokyčiai staigėsni.

Šis eksperimentas paaiškina, kodėl medicininius vaizdus glaudinant LZW ir RLE algoritmais vaizdų apimtis sumažėja apie 35 %, o aviacinių ir bendrojo pobūdžio vaizdų glaudinimas šiais formatais yra beprasmiškas. Dirbtinai sukurtose vaizdo srityse, kuriose nekinta intensyvumas, nėra informacijos ir todėl joms glaudinti puikiai tinka netgi bendrojo pobūdžio informacijos glaudinimo algoritmai. Tačiau kaip matyti iš 2.12 paveikslo, srityse kuriose yra medicininės informacijos ir intensyvumo pokyčiai staigūs – vidutinė eksponentinė klaida yra panaši į aviacinių ir bendrojo pobūdžio vaizduose stebimą klaidą.

Iš 2.12 paveikslo išplaukia, kad didesnis glaudinimo santykis tirtuose medicininiuose vaizduose buvo pasiektas tik todėl, kad vaizduose yra dirbtinai sukurtų sričių, kurios glaudinasi itin dideliu santykiu bei kokybe. Tokios vaizdo sritys, vertinant medicininių vaizdų glaudinimo santykį ir kokybę labai įtakoja rezultatą. Neatsižvelgus į atskirų vaizdo sričių glaudinimą, susidaro įspūdis, kad medicininiai vaizdai glaudinami didžiausiu iš visų tirtų vaizdų rūšių santykiu ir kokybe. Tačiau atskirų vaizdo sričių analizė parodė, kad svarbiausią informaciją nešantys medicininių vaizdų fragmentai glaudinasi santykiu ir kokybe analogiška aviaciniams ir bendrojo pobūdžio vaizdams.

2.5. Medicininių vaizdų glaudinimo rekomendacijos

Vaizdų glaudinimas informacinėse sistemose svarbus taupant duomenų saugyklos talpą ir perduodant vaizdą informacinės sistemos vartotojui.

Pagal atliktos analizės rezultatus, algoritmai glaudinantys su informacijos praradimu garantuoja daug didesnius glaudinimo santykius. Tačiau, jau buvo minėta, kad medicinoje iškraipyti vaizdai yra nepriimtini. Duomenų saugykloje visada galima išskirti vaizdų saugojimui reikalingą talpą. Tam tinkamas ir pakankamai nedidelis 2:1 glaudinimo santykis.

Vaizdo perdavimas iš saugyklos vartotojui – jautresnė informacijos apimties dydžiui sistemos dalis. Čia vaizdo apimtis tiesiogiai įtakoja vaizdo perdavimo laiką. Informacijos perdavimo kanalai yra tokia infrastruktūros dalis, kurią modernizuoti, praplėsti dažnai nėra techninių galimybių arba yra tiesiog per brangu. Medicininį sprendimą galima priimti tik analizuojant neiškraipytą vaizdą. Vadinasi, bet kurio atveju teks perduoti neiškraipytą vaizdą ir bendrame informacijos sraute nieko sutaupyti nepavyks. Lieka tik sprendimo priėmimo pagreitinimo galimybė pirmiausiai pasiunčiant svarbiausią vaizdo informaciją.

Kaip svarbiausią vaizdo informaciją galima išskirti vaizdo turinio žemėlapi. Lėčiausiai persiunčiami yra dideli vaizdai, Tačiau šiuose dideliuose vaizduose svarbiausia dažnai būna tik tam tikra vaizdo dalis. Siunčiant vaizdą tradiciniu metodu, norint pamatyti dominančią sritį tenka laukti kol bus parsųstas visas vaizdas. Tai užtrunka ilgai. Sprendimu čia galėtų būti aukštu santykiu glaudinto vaizdo žemėlapio perdavimas. Pagal vaizdo žemėlapi būtų galimybė pasirinkti dominančią vaizdo sritį, kuri būtų persųsta pirmiausiai. Taip būtų sutrumpintas vaizdo persiuntimo laikas: viso vaizdo persiuntimo laikas sutrumpėtų iki dominančios srities persiuntimo laiko. Kadangi vaizdo žemėlapis neskirtas medicininio sprendimo priėmimui – čia galima naudoti glaudinimą su informacijos praradimu.

Vaizdų siuntimas panaudojant vaizdo žemėlapius gali būti aprašomas tokiu nuoseklumu:

1. Vaizdų saugykloje saugomi be informacijos praradimo glaudinti vaizdus.
2. Pirmiausia siunčiamas vaizdas glaudintas metodu glaudinančiu su informacijos praradimu. Glaudinimo santykis tokiu atveju gali siekti 50:1 ir daugiau. Taip perduoti vaizdai vis dar leidžia suprasti vaizdo turinį. Jie vadinami vaizdo žemėlapiais.
3. Atsiųstame vaizdo žemėlapyje pasirenkama dominanti sritis.
4. Pažymėta vaizdo sritis atsiunčiama glaudinta be informacijos praradimo.
5. Parsųstos vaizdo srities analizės metu, fone siunčiama be praradimo glaudinta likusi vaizdo dalis.

Didžiausias pateikto būdo trūkumas yra perteklinės informacijos siuntimas. Vaizdas siunčiamas tiek glaudintas dideliu santykiu su informacijos praradimu, tiek mažu santykiu be informacijos praradimo. Vaizdo analize paremtą sprendimą galima priimti greičiau, tačiau informacijos perdavimo kanalas papildomai apkraunamas du kartus siunčiama, pasikartojančia informacijos dalimi. Perteklinės informacijos kiekis priklauso nuo vaizdo žemėlapių glaudinimo santykio dydžio. Perduodant santykiu 10:1 glaudintą vaizdo žemėlapi ir darant prielaidą, kad be iškraipymų vaizdas glaudinsis santykiu 2:1 – perteklinė informacija sudaro apie 20 % perduodamos informacijos apimtį. Tuo atveju, kai tą patį kanalą dalinasi keli vartotojai perteklinė informacijos dalis gali tapti reikšminga.

Išvengti perteklinės informacijos siuntimo aprašytu būdu naudojant tirtus vaizdų glaudinimo metodus nėra galimybių. Visų tirtų metodų darbo rezultatas yra vientisas informacijos rinkinys, iš kurio glaudintą vaizdą galima atstatyti tik turint visą rinkinį. Perteklinės informacijos problemos mažinimo sprendimu būtų specialus vaizdo glaudinimo metodas leidžiantis originalų vaizdą atstatyti perdavus tik dalį glaudinto vaizdo informacijos, nelaukiant kol jis bus perduotas visas. Tokiu atveju būtų galimybė vaizdą perduoti dalimis ir vos tik priėmus kiekvieną naują dalį atkuriamą vaizdą tikslinti. Priėmus paskutinįją glaudinto vaizdo duomenų dalį turėtų būti atstatytas originalus vaizdas.

Pagal 2.4. poskyryje pateiktus tyrimų rezultatus didžiausias glaudinimo santykis buvo aptiktas JPEG LS be informacijos praradimo glaudintuose vaizduose. Glaudinamųjų su informacijos praradimu metodų tarpe, mažiausios VEK atžvilgiu geriausią rezultatą garantuoja JPEG 2000 (kai glaudinimo santykis didesnis už 5). Remiantis šiais duomenimis, vaizdo glaudinimui ištirtų metodų tarpe tinkamiausias metodas yra JPEG LS, vaizdo žemėlapiui JPEG-2000.

Vaizdo žemėlapių glaudinimo patikrinimui buvo atliktas papildomas tyrimas. Bandomieji medicininiai vaizdai (1.1–1.19 priedo paveikslai) buvo glaudinti formatu JPEG 2000 pasirinkus glaudinimo santykį 10:1. Vaizdų žemėlapių glaudinimo kokybei nekeliami aukšti reikalavimai, svarbu kad žemėlapis gerai atspindėtų vaizdo turinį. Vertinant ekspertiškai, galima sakyti, kad tokiu dideliu santykiu glaudinti vaizdai atrodo labai panašūs į originalus. Atidžiau neišsižiūrėjus, o kai kuriais atvejais ir išsižiūrėjus, netgi sunku nustatyti kuris iš jų originalas. Vertinant kokybę skaičiais, tirtame vaizdų rinkinyje daugumos vaizdų vidutinė eksponentinė klaida neviršija ~50. Kokybės vertinimas sudarytas taip, kad kuo labiau išryškintų net mažiausius neatitikimus. Vidutinės eksponentinės klaidos vertė 50 rodo, kad dauguma glaudinto vaizdo taškų nuo atitinkamų originalo taškų skiriasi mažiau negu 4 skaisčio lygmenimis. 8 bitais koduotuose vaizduose yra 256 skaisčio lygmenys. Dėl šios priežasties plika akimi, šie skirtumai yra sunkiai pastebimi. Dėl nedidelių

reikalavimų vaizdo žemėlapių kokybei glaudinimo santykį galima parinkti daug didesnį.

2.4 lentelė. Vaizdo žemėlapių glaudinimo kokybės tyrimo rezultatai

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
VEK	3,34	3,37	53,58	18,24	25,41	40,76	42,79	49,99	44,85	49,98	27,50	27,83	72,93	55,69	16,95	59,34	76,07	37,77	46,70

Nors tirti algoritmai nesuteikia galimybės vaizdą atstatyti iš glaudinto vaizdo duomenų dalies, panaudoti perduoto vaizdo žemėlapių informaciją perduodant originalų vaizdą yra. Pagal 2.4 lentelę, vaizdo žemėlapių glaudinto santykiu 10:1 kokybė yra gera. Skirtumai tarp originalaus ir glaudinto vaizdo taškų intensyvumo verčių yra nedideli. Jie daug mažesni už originalaus vaizdo taškų intensyvumo vertes. Vadinasi vietoje paties vaizdo glaudinant skirtumą tarp aukštu glaudinimo santykiu glaudinto vaizdo žemėlapių ir originalaus neglaudinto vaizdo galima tikėtis geresnio santykio.

Siekiant tai patikrinti buvo atliktas papildomas tyrimas. Kiekvienam iš priede pateiktų bandomųjų medicininių vaizdų (1.1–1.19 priedo paveikslai) buvo apskaičiuoti skirtuminiai vaizdai:

$$A_{si,jk} = \frac{I_m}{2} + (A_{ijk} - A_{gijk}); \quad (2.4)$$

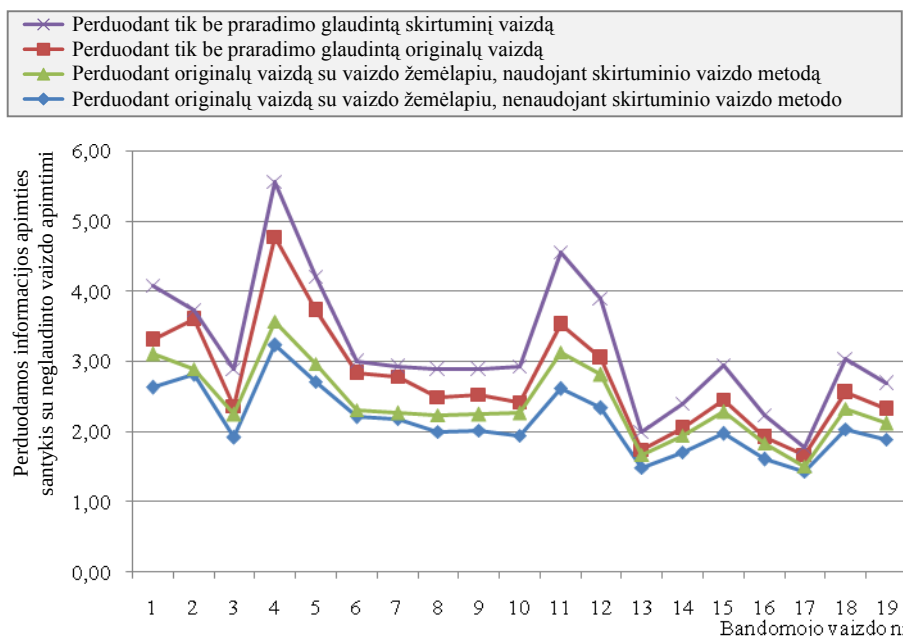
čia I_m – skirtuminio vaizdo i -tojo pločio ir j -tojo aukščio taško intensyvumas i -tame spalviniame kanale; A_{ijk} – originalaus vaizdo i -tojo pločio ir j -tojo aukščio taško intensyvumas i -tame spalviniame kanale; A_{gijk} – glaudinto vaizdo i -tojo pločio ir j -tojo aukščio taško intensyvumas i -tame spalviniame kanale; – maksimali galima vaizdo taško skaisčio vertė naudojamame vaizdo kodavime.

Skaičiuojant skirtuminį vaizdą, skirtumai gali būti teigiami ir neigiami. Vaizduose taškų intensyvumai turi tik teigiamas vertes. Norint apskaičiuotus glaudinto ir neglaudinto vaizdų atitinkamų taškų skirtumus paversti vaizdu – neigiamas vertes būtina panaikinti. Tuo tikslu 2.4 išraiškoje prie intensyvumų skirtumo yra pridėdama didžiausią galimą neigiamą skirtumą atitinkanti konstanta. Jeigu skirtuminio vaizdo taškus norima koduoti tokiu pačiu bitų skaičiumi kaip ir originalus vaizdas konstanta turi būti lygi pusei maksimalios galimos intensyvumo vertės.

Apskaičiuoti skirtuminiai vaizdai buvo glaudinti be praradimo glaudinančiu algoritmu JPEG LS. Tyrimo rezultatai pateikiami 2.13 paveiksle.

Paveiksle pavaizduotos 4 kreivės. Kreivės matomos pačiame viršuje taškai (pažymėti kryžiuokais) apibūdina JPEG 2000 metodu be praradimo glaudintų skirtuminių vaizdų glaudinimo santykius. Žemiau jos matoma kreivė (taškai pažymėti kvadratais) vaizduoja atitinkamų originalių bandomųjų medicininių vaizdų, taip pat glaudintų be praradimo metodu JPEG LS, glaudinimo santykius. Kreivė, kurios taškai pažymėti trikampiais, rodo visos su bandomuoju vaizdu susijusios perduodamos informacijos (vaizdo žemėlapis + originalus vaizdas) apimties santykį su neglaudinto bandomojo vaizdo apimtimi, kai perdavime naudojamas skirtuminis vaizdas. Žemiausiai iš visų matoma kreivė vaizduoja neglaudintų bandomųjų vaizdų ir su jais susijusios kanalu perduodamos informacijos (vaizdo žemėlapis + originalus vaizdas) apimties santykius, kai kanalu perduodamas be praradimo glaudintas pilnas originalus vaizdas.

Kaip matyti iš 2.13 paveikslo, be praradimo glaudinamas skirtuminis vaizdas glaudinasi didesniu negu pats be praradimo glaudinamas vaizdas santykiu. Vadinasi skirtuminio vaizdo panaudojimas leidžia sumažinti kanalu perduodamos informacijos kiekį, tačiau taip pat aiškiai matoma, kad kiekviename iš tirtų bandomųjų vaizdų sutaupoma informacijos dalis skiriasi. Nuo paties vaizdo priklauso kiek gali būti sutaupyta. Nors tirtuose vaizduose informacijos kiekio padidėjimo užfiksuota ir nebuvo, tačiau 2 ir 17 bandomųjų vaizdų atveju sutaupymo praktiškai nėra.

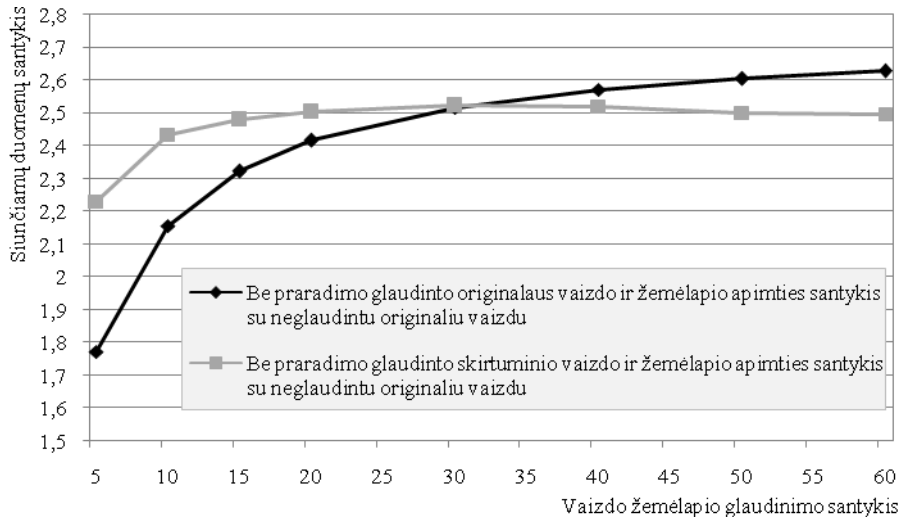


2.13 pav. Skirtuminio vaizdo panaudojimo perteklinės informacijos šalinimui tyrimas

Kadangi perduodamas skirtuminis vaizdas priėmimo pusėje naudingas tik kartu perduodant ir didelio santykiu glaudintą vaizdo žemėlapi, svarbu vertinti suminės informacijos apimties santykį su neglaudintu vaizdu. 2.13 paveiksle pateiktos kreivės atitinkačios suminės informacijos santykius vėlgi rodo, kad skirtuminio vaizdo naudojimas leidžia sumažinti kanalu perduodamos informacijos kiekį.

Svarbu atkreipti dėmesį į tai, kad nors skirtuminio vaizdo naudojimas ir padidina perduodamos informacijos glaudinimo santykį, tačiau pašalinama yra tik tam tikra perteklinės informacijos dalis. Visiškas vaizdo žemėlapių siuntimo atsisakymas vistiek kanalą apkrautų mažiau. Be to, skirtuminio vaizdo naudojimo perteklinei informacijai šalinti efektyvumas – labai priklauso nuo vaizdo žemėlapių glaudinimo santykio. Priklausomybė pateikta 2.14 paveiksle.

Kaip matyti iš 2.14 paveikslo, skirtuminio vaizdo glaudinimo metodas naudingas tik kai vaizdo žemėlapių glaudinimo santykis yra mažesnis negu 30:1. Šis santykis buvo nustatytas atlikus bandymą su testiniais mediciniais vaizdais (1.1–1.19 priedo paveikslai). Kitas testinių vaizdų rinkinys galėtų pateikti šiek tiek besiskiriantį rezultatą. Vienareikšmiškai pasakyti kada skirtuminis vaizdo glaudinimas naudingas, kada ne – galima tik atlikus bandymą prieš perduodant be praradimo glaudintą vaizdą.



2.14 pav. Vaizdo žemėlapis glaudinimo santykio įtaka perteklines informacijos šalinimui

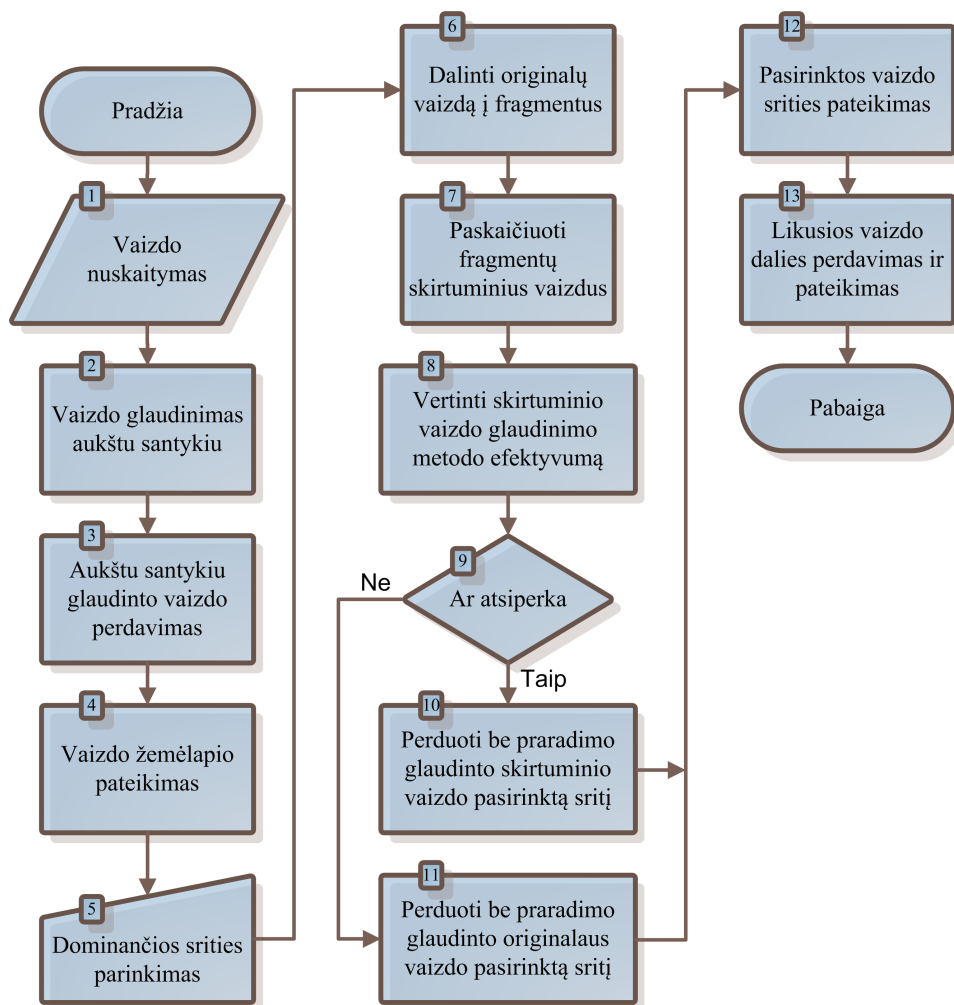
Atlikus skirtuminio vaizdo perdavimo naudingumo tyrimą, siūlomas medicininių vaizdų perdavimo metodas, kurio algoritmas pavaizduotas 2.15 paveiksle.

Pagal 2.15 paveiksle pateiktą algoritmą, pirmiausia vaizdas turi būti glaudinamas su pradimu dideliu glaudinimo santykiu, o gautas rezultatas nedelsiant siunčiamas kaip vaizdo žemėlapis peržiūrėjimui. Šių veiksmų vykdymas nurodytas algoritmo 3 ir 4 blokuose. Toliau, nusiūstame vaizdo žemėlapyje vartotojas turi pasirinkti jį dominančią sritį, kuri būtų siunčiama pirmiausiai (blokas 5).

Kai dominanti sritis parinkta, vaizdas turi būti dalinamas į fragmentus (6 blokas). Dalinimas turi vykti taip, kad būtų perduodama kuo mažiau informacijos už dominančios srities ribų.

Padalinus vaizdą į fragmentus, pradedamas jų perdavimas kanalu. Pirmiausia reikia patikrinti ar skirtuminio vaizdo glaudinimas konkretaus vaizdo fragmento atveju yra efektyvus. Tuo tikslu, 7 bloke sudaromas skirtuminis vaizdas, o 8 skirtuminis ir originalus vaizdai glaudinami be informacijos praradimo. Tada vertinama ar be informacijos praradimo glaudinto skirtuminio vaizdo apimtis mažesnė už be informacijos praradimo glaudintą originalų vaizdą ar ne. Apimties sutaupymo atveju, kanalu nedelsiant turi būti perduodamas be praradimų glaudintas dominančios vaizdo srities skirtuminis vaizdas (10 blokas), jeigu ne – originalus (11 blokas).

Perdavus dominančios vaizdo srities be informacijos praradimo glaudintą fragmentą, perduodami su šia sritimi besiribojantys fragmentai ir taip tęsiama tol kol perduodamas visas originalus vaizdas (blokas 13). Šių fragmentų perdavimui taip pat verta naudoti skirtuminio vaizdo metodą, nors tai ir neišskirta 2.15 paveiksle pateiktame algoritme.



2.15 pav. Vaizdo perdavimo algoritmas.

Vaizdų, kuriems nekeliamas glaudinimo be informacijos praradimo reikalavimas, perdavimui 2.15 paveiksle pateiktas metodas netinka. Skirtuminio vaizdo glaudinimas su praradimu, originalaus vaizdo atstatymo metu sąlygoja

sunkiai nuspėjamą vaizdo kokybės pokytį. Tokiems vaizdams glaudinti reikia tiesiog pasirinkti tyrimo metu geriausius rezultatus pademonstravusį su praradimu glaudinantį metodą. Kai dominantis glaudinimo santykis mažesnis už 5 – tai bus glaudinimo metodas JPEG, kai didesnis – JPEG 2000.

2.6. Antrojo skyriaus išvados

1. Glaudinimo efektyvumo tyrimui buvo sukurtas vaizdų kokybės palyginimo metodas, įvertinantis net mažiausias, vaizde esančias klaidas. Taikant pasiūlytą metodą pasiekiamas dvejetainis rezultatas. Skaitinė vidutinės eksponentinės klaidos vertė leidžia kiekybiškai palyginti su praradimu glaudinančių algoritmų į vaizdą įnešamą klaidą. Klaidų pasiskirstymas vaizde – klaidos žemėlapis, leidžia stebėti, kuriose vaizdų srityse atsiradusi nesuvidurkinta eksponentinė klaida yra didžiausia. Vaizdų žemėlapis leidžia visapusiškai analizuoti vaizdų glaudinimo specifiką.

2. Tyrimais įrodyta, kad be praradimo glaudintuose vaizduose didžiausias glaudinimo santykis, vidutiniškai 1:2, gaunamas vaizduose glaudintuose JPEG LS metodu. Su informacijos praradimu glaudintuose vaizduose geriausia kokybė yra JPEG 2000 metodu glaudintuose vaizduose, bet tik tuo atveju, kai glaudinimo santykis didesnis už 1:5.

3. Algoritmai TGA ir RLE yra naudingi tik glaudinant dirbtinai sukurtas vaizdo dalis, turinčias vienodą arba lėtai kintantį intensyvumą.

4. Medicininiais įrenginiais gauti vaizdai turi daug sričių, kuriose intensyvumas kinta lėtai arba yra pastovus. Tokios vaizdų sritys glaudinasi dideliu glaudinimo santykiu. Sritys, kuriose intensyvumas yra pastovus, be klaidos glaudinasi net ir su informacijos praradimu glaudinančiais metodais. Tai paaiškina kodėl glaudinant medicininius vaizdus gaunamas didesnis už aviacinių ir bendrojo pobūdžio vaizdų glaudinimo santykis.

5. Medicininuose vaizduose iškraipymai yra neleistini. Šis apribojimas reikalauja tokius vaizdus glaudinti tik be informacijos praradimo glaudinančiais metodais. Be praradimo glaudintų medicininių vaizdų glaudinimo santykis vidutiniškai yra 1:2. Vaizdų glaudintų santykiu 1:2 saugojimas nėra problema,

6. Vaizdų glaudintų santykiu 1:2 perdavimas lėtais kanalais užtrunka nepageidaujamai ilgai. Vaizdo perdavimui greičiau nei 10 s reikia naudoti vaizdo žemėlapius. Dideliu glaudinimo santykiu, iki 50:1, glaudintas vaizdo žemėlapis leidžia pasirinkti vaizdo sritį, kuri turi būti siunčiama pirmiausiai. Taip sudaroma galimybė anksčiau pradėti vaizdo analizę.

7. Įrodyta, kad perteklinės informacijos kiekį, naudojant vaizdo žemėlapius, galima sumažinti pritaikius skirtuminio vaizdo metodą. Metodas veiksmingas tik

ribotame vaizdo žemėlapių glaudinimo santykių diapazone. Ribinis glaudinimo santykis priklauso nuo vaizdo turinio. Metodo naudingumą būtina patikrinti kiekvienam vaizdai. Skirtuminio vaizdo metodas leidžia pašalinti iki 50 % dėl vaizdo žemėlapių perdavimo atsirandančios perteklinės informacijos.

Didelių vaizdų sudarymas panaudojant dirbtines žymas

Sudarant didelius vaizdus dažnai naudinga vietoje vieno didelio vaizdo apjungti kelis mažesnius vaizdus. Tai lemia techninės įrangos galimybės, jos matmenys ir kaina. Šiame skyriuje sprendžiamos automatinio didelių vaizdų sudarymo, apjungus kelis mažesnius vaizdus, problemos. Pateikiamas didelio vaizdo formavimo iš atskirai registruotų jo dalių metodas. Pasiūlytas metodas leidžia visiškai automatizuotu būdu, neįnešant į vaizdą pakeitimų, apjungti atskirai registruotas vaizdo dalis. Pateikiamas algoritmas pilnai automatizuoto vaizdo fragmentų apjungimo įgyvendinimui, analizuojami vaizdų apjungimui reikalingų parametrų: posūkio kampo, mastelio ir vaizdo skaisčio nustatymo uždaviniai. Pateikiamas vaizdo pasukimo kampo nustatymo algoritmas ir šio algoritmo eksperimentinės patikros aprašymas. Skyriui parengti panaudoti autoriaus darbai [A2, A5].

3.1. Didelių vaizdų sudarymo problema

Dažnai reikalingas vaizdas gali būti gautas tik apjungiant kelis mažesnius vaizdus. Tai daroma sudarant panoraminės nuotraukos $135^{\circ} \times 200^{\circ}$ iš įprastų fotoaparato ($50^{\circ} \times 35^{\circ}$) nuotraukų. Dėl fotodetektorių skiriamosios gebos apribojimų fotožemėlapių vaizdus tenka klijuoti iš dalių. Skenuojant didelius dokumentus, jų galimybes riboja skaitymo įrenginio matmenys. Medicinoje darant didelių matmenų rentgeno nuotrauką didžiausius apribojimus įveda kainą sąlygojantis įrenginio sudėtingumas bei fiziniai matmenys.

Norint iš kelių mažesnių vaizdo fragmentų padaryti didelį vientisą vaizdą reikia labai tiksliai žinoti kaip vaizdo fragmentai yra išdėstyti vienas kito atžvilgiu. Tik taip galima gauti vientisą vaizdą be sujungimo žymių. Atliekant vaizdų apjungimą elgiamasi dvejopai:

- 1) vaizdai fiksuojami vaizdus galima tiksliau ir sujungiami pasikliaujant tik fiksavimo parametrais;
- 2) persidengiantys vaizdai fiksuojami mažesniu tikslumu, o atsiradę netikslumai eliminuojami, pasinaudojant apjungimo parametrais nustatytais persidengiančiose vaizdo srityse.

Pirmasis būdas reikalauja didelio techninės įrangos tikslumo. Jis yra brangus ir sudėtingas. Be to, taip apjungus vaizdus, sunku išvengti vaizdo segmentuotumo. Naudojant antrąjį būdą nebūtina tiksliai žinoti vaizdo fiksavimo parametrų, bet čia reikia apdoroti informaciją, persidengiančiose vaizdo srityse. Vertinant šiuolaikinės kompiuterinės technikos pajėgumus ir kainą, antrasis būdas šiuo metu yra daug patrauklesnis.

3.2. Didelių vaizdų sudarymo etapai

Persidengiančių vaizdų apjungimo algoritmą galima suskirstyti į 4 etapus:

- 1) detektoriaus pozicionavimas;
- 2) vaizdo registravimas;
- 3) vaizdo parametrų nustatymas;
- 4) parametrų suderinimas ir vaizdo apjungimas.

Iš pirmo žvilgsnio algoritmas neatrodo sudėtingas, tačiau trečiasis žingsnis „vaizdo parametrų nustatymas“ anaiptol nėra paprastas. Norint nustatyti apjungimui reikalingus vaizdų parametrus – pasukimą ar mastelį,

persidengiančioje vaizdų srityje būtina išskirti tuos pačius objektus. Kadangi vaizdai būna labai įvairūs, objektų išskyrimas yra problematiškas. Vienuose vaizduose bus aiškių objektų, kituose tik neryškūs kontūrai. Net ir esant aiškiems objektams, neturint apie juos išankstinės informacijos, atsiranda problemų, nes negarantuojama, kad parametrų nustatymui bus pasirinkti tie patys objektai.

Išvardintos kliūtys parodo, kad aprašomu atveju visiškai automatizuotas vaizdų apjungimas yra neįmanomas. Anksčiau ar vėliau įvyksta klaida, kuri reikalauja žmogaus įsikišimo į apjungimo procesą. Norint šio trūkumo išvengti į vaizdą būtina įterpti papildomą informaciją.

Papildoma informacija į vaizdą turi būti įterpta dar prieš jo registravimą. Tai reiškia, kad į vaizdą reikia įterpti atskaitos taškus, pagal kuriuos vėliau būtų galima vykdyti apjungimą. Atskaitos taškų įterpimo į vaizdą sudėtingumas labai priklauso nuo apjungiamų vaizdų pobūdžio. Pavyzdžiui sudarant fotožemėlapius atskaitos informaciją į juos įterpti per brangu, nes čia dirbama su didelių matmenų vaizdais ir įvedant atskaitos taškus juos pirmiausia reikėtų erdvėje patalpinti nutolusius vienas nuo kito dideliais atstumais. Antra jie turėtų būti pakankamai dideli ir ryškūs, kad būtų galima juos išskirti registruotame vaizde. Apjungiant vaizdus registruojamus nedideliu atstumu nuo objekto viskas paprastėja. Vienas iš būdų įvesti į vaizdą papildomą informaciją yra aprašytas [75]. Šiame darbe aprašomas medicininių rentgeno vaizdų apjungimas, kai papildomai atskaitos informacijai gauti naudojamas tinklelis. Metodas leidžia vaizdų apjungimą visiškai automatizuoti. Jis turi vieną esminį trūkumą: visame apjungto vaizdo plote matomas tinklelis. Tai yra dirbtinai įvestas iškraipymas, mažinantis vaizdo kokybę. Šiame skyriuje pateikiamas alternatyvus medicininių rentgeno vaizdų apjungimo metodas, leidžiantis visiškai automatizuoti jų apjungimą neįvedant į vaizdą dirbtinių iškraipymų.

3.3. Reikalavimai į vaizdą įnešamoms dirbtinėms žymoms

Norint vaizdus apjungti visiškai automatizuotu būdu į vaizdą būtina įterpti dirbtines žymas. Dirbtinės žymos turi:

- 1) būti paprastai ir tiksliai išskiriamos vaizde;
- 2) leisti apskaičiuoti vaizdo fragmentų apjungimo parametrus;
- 3) leisti kiekvieno parametro vertę apskaičiuoti nepriklausomai nuo kitų parametrų (pvz.: leisti nustatyti vaizdo pasukimo kampą nepriklausomai nuo mastelio);
- 4) būti lengvai pašalinami iš vaizdo, nepaliekant iškraipymų.

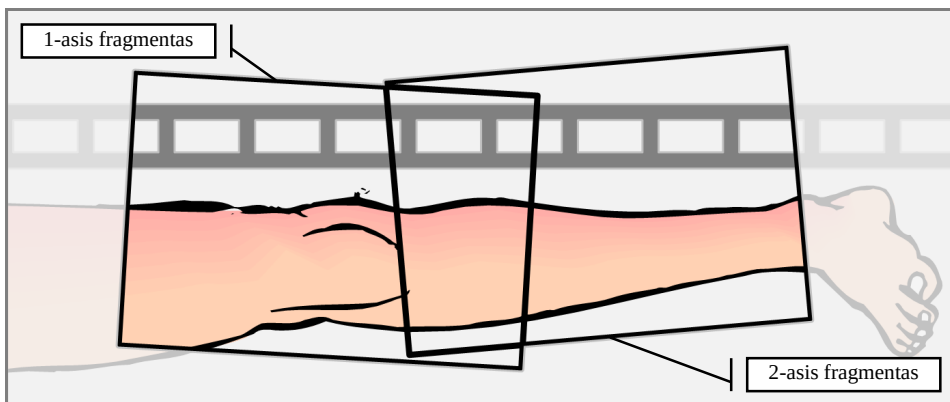
Medicininuose rentgeno vaizduose dirbtiniams žymekliams iškeltus reikalavimus tenkina metalinė (ar kitos gerai sugeriančios rentgeno spindulius medžiagos) juosta su stačiakampio formos ertmėmis, rentgeno nuotraukos registravimo metu padėta šalia registruojamo objekto. Juostos forma pavaizduota 3.1 paveiksle.



3.1 pav. Dirbtinės žymos funkciją medicininuose rentgeno vaizduose vykdančios metalinės juostos forma

Tam, kad ši juosta rentgeno nuotraukoje atsirastų kaip dirbtinė sutapdinimo žyma, rentgeno nuotraukos registravimo metu ji turi būti padėta šalia registruojamo objekto. Registruojant rentgeno vaizdo fragmentus tiek juosta, tiek registravimo objektas turi išlikti vienas kito atžvilgiu nepajudinti. 3.2 paveiksle pateiktas aprašyto proceso paaiškinimas. Jame matome rentgeno aparatu registruojamą objektą – šiuo atveju žmogaus koją, šalia registruojamo objekto – dirbtinių žymų juostą, ir 2 rėmelius parodančius rentgeno detektoriaus apimamas vaizdo dalis 1-ojo ir 2-ojo fragmentų registravimo metu. Kaip matyti iš 3.2 paveikslo, vaizdo registravimo poziciją pakeitė tik detektorius.

Metaliniai objektai rentgeno vaizduose visuomet turi didesnę negu žmogaus kūno dalys skaidrį. Tai leidžia nesudėtingai išskirti šios juostelės formą vaizde. Kadangi juostelė registravimo metu dedama šalia objekto – yra galimybė ją lengvai iš vaizdo pašalinti neiškraipant registruojamo objekto.



3.2 pav. Rentgeno vaizdo registravimas fragmentų sutapdinimui naudojant dirbtinės žymos funkciją vykdančią juostą

Pagal dirbtinių žymų juostos stačiakampius galima nustatyti fragmentų posūkio kampus ir mastelius. Tikslus vaizdo posūkio kampas gali būti apskaičiuotas nepriklausomai nuo mastelio, t. y. net kai vaizdo fragmentai užfiksuoti skirtingu masteliu. Jeigu du rentgeno vaizdo fragmentai bus užfiksuoti skirtingais pasukimo kampais, apjungimo metu kiekvienas fragmentas bus orientuojamas statmenai juostai. Tokiu būdu apjungtas vaizdas bus orientuotas taip kaip bus padėta juosta registravimo metu.

Dirbtinių žymeklių juosta turi būti netrumpesnė už registruojamą objektą (pvz.: ranką, koją arba netgi visą žmogaus kūno ilgį). Nors vienas pilnas juostos stačiakampis turi būti užregistruotas kiekviename iš apjungiamų vaizdo fragmentų. Vaizdo fragmentai turi turėti mažiausiai 20 % persidengimą.

Fragmentų apjungimui naudojant aprašytą dirbtinių žymų juostą, apjungimas bus pagrįstas tiek vaizdo savybių nustatymu, tiek srities analizės metodu. Fragmentų posūkio kampo ir mastelio skaičiavimai pagrįsti dirbtinių žymeklių juostos į vaizdą įvestais charakteringais bruožais. Vaizdo fragmentų poslinkis ieškomas srities analizės būdu – persidengimo srityje skaičiuojant koreliacijos koeficientą.

3.4. Visiškai automatizuoto medicininių rentgeno vaizdų apjungimo algoritmas

Poskyryje pasiūlytas algoritmas, kuris leidžia įgyvendinti vaizdo fragmentų su dirbtiniais stačiakampės formos žymekliais apjungimą. Algoritmas pateiktas 3.3 paveiksle.

Vaizdo fragmentų apjungimas pradedamas pirmosios gretimų vaizdo fragmentų poros įkėlimu į operatyviąją atmintį (1 blokas).

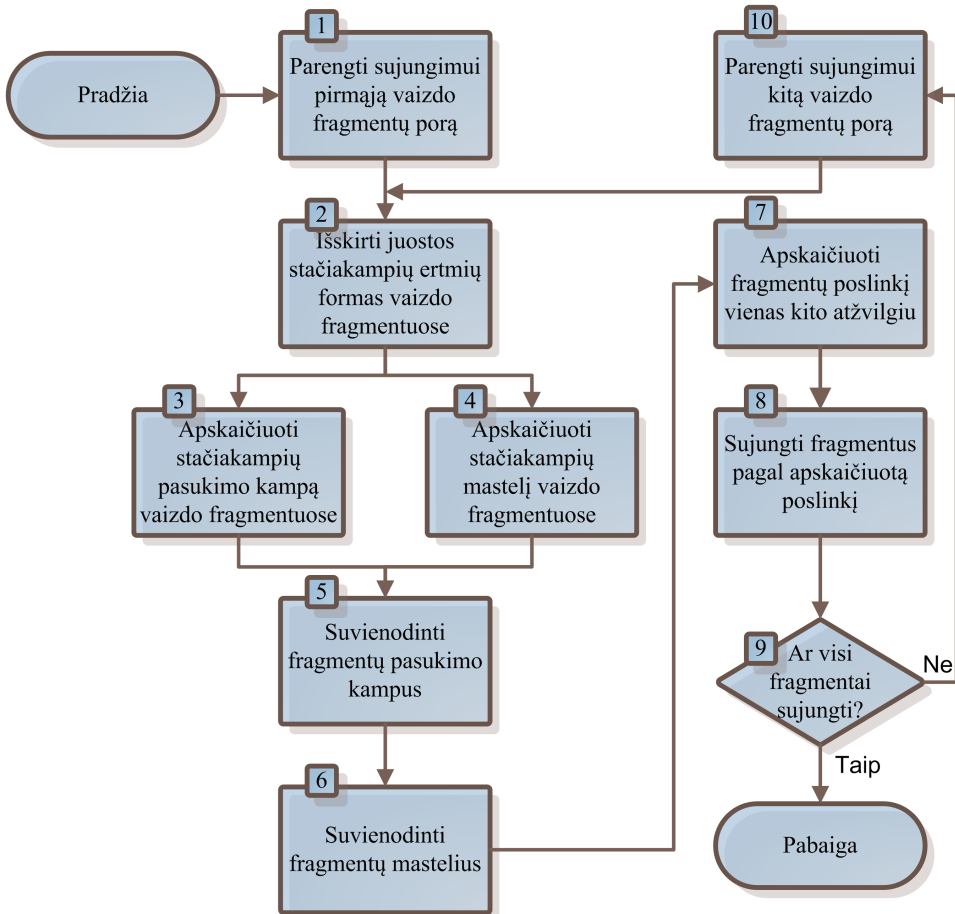
Toliau abiejuose fragmentuose išskiriamos dirbtinių žymų juostos stačiakampių ertmių formos (2 blokas). Turint stačiakampių formas galima lygiagrečiai apskaičiuoti vaizdo fragmento posūkio kampo ir mastelio parametrus. Tai atliekama 3 ir 4 blokuose.

Fragmentų sutapdinimas naudojant koreliacijos metodą yra įmanomas tik tuomet, kai vaizdo fragmentų pasukimo kampai ir masteliai vienodi. Dėl šios priežasties algoritmo blokas, kuriame apskaičiuojamas fragmentų perstūmimas vienas kito atžvilgiu pavaizduotas po 5 ir 6 blokų, kuriuose pagal anksčiau algoritmo nustatytus posūkio kampo ir mastelio parametrus suvienodinami

fragmentų pasukimo kampai ir masteliai. Pastarųjų operacijų atlikimo eiliškumas nesvarbus, tačiau lygiagrečiai juos vykdyti negalima.

Kai abiejuose fragmentuose masteliai ir posūkio kampai vienodi galima koreliaciniu metodu ieškoti jų tarpusavio perslinkimo (7 blokas). Suradus perslinkimą, kitame algoritmo bloke fragmentai surastu poslinkiu uždedami vienas ant kito ir atlikus siūlės šalinimo procedūras sujungiami.

Procedūra kartojama tol kol apjungiami visi užregistruoti vaizdo fragmentai (8 blokas).

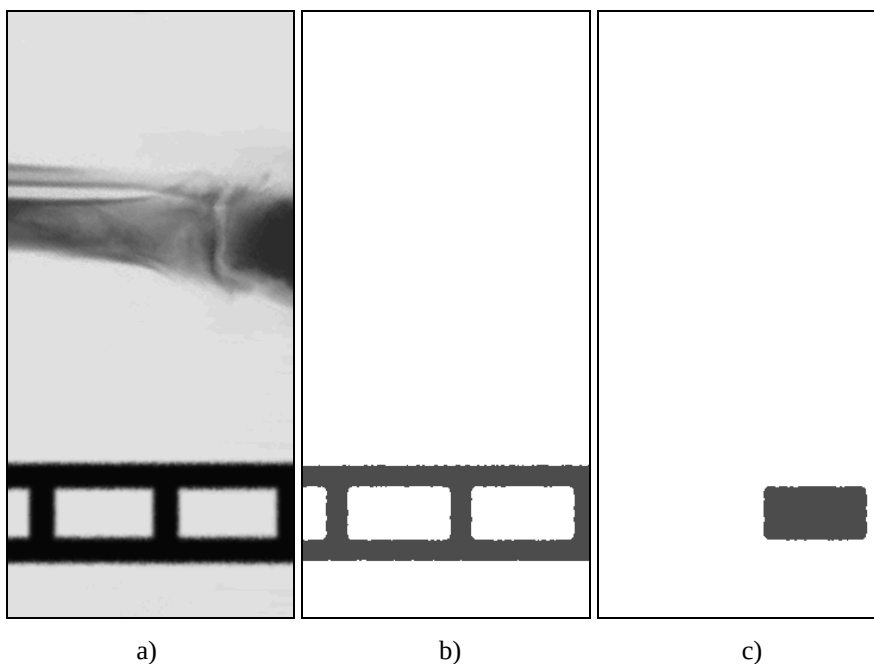


3.3 pav. Vaizdo fragmentų apjungimo, panaudojant dirbtinių žymų juostą su stačiakampėmis kiaurymėmis, algoritmas

3.4.1. Dirbtinių žymų juostos stačiakampių rentgeno vaizde išskyrimas

Svarbiausia įkeliamų į vaizdą dirbtinių žymų juostos dalis yra stačiakampės formos kiaurymės. Kad nustatyti šių kiaurymių formą vaizde, pirmiausia reikia nustatyti pačios juostos formą.

3.4 paveiksle, a) pateikta metalinės juostelės vaizdas invertuotoje rentgeno nuotraukoje. Rentgeno vaizde metalinės juostos kontūrai visada bus ryškesni už žmogaus kūno dalių vaizdus. Ši savybė leidžia nesudėtingai, panaudojus slenksčio funkciją, išskirti dirbtinių žymeklių juostos kontūrus iš kitų vaizdo elementų. Slenksčio funkcija padalina vaizdą į dvi sritis: aukšto skaisčio sritį, kuri 3.4 paveiksle pavaizduota juoda spalva ir žemo skaisčio sritį, kuri yra baltos spalvos. Rentgeno nuotraukos apdorotos slenksčio funkcija vaizdas pateiktas 3.4 paveiksle, b). Šiame paveiksle tamsi sritis yra dirbtinių žymų juostos formos, o šviesioji – likusioji vaizdo dalis.



3.4 pav. Dirbtinių žymų juostoje esančių stačiakampių
kiaurymių išskyrimas rentgeno vaizde

Nustačius dirbtinių žymų juostos formą vaizde, galima imtis jos kiaurymių formos nustatymo. Visos kiaurymės juostos formoje yra vienodos, todėl pakanka nustatyti bet kurios iš jų, pilnai telpančios vaizde, formą. Paprasčiausiai nustatoma kraštinės kiaurymės forma. Veiksmų nuoseklumas, nustatant dešiniausią juostos stačiakampį yra toks:

1) Juosta yra vaizdo viduryje, tačiau viršutinė ir apatinė vaizdo sritys turi tokį patį skaištį kaip ir juostos kiaurymės. Norint, kad vaizde baltoji spalva vaizduotų tik kiaurymių formą, viršutinę ir apatinę vaizdo sritis būtina užpildyti juostos kontūrų spalva.

2) Po pirmojo veiksmo baltoji spalva vaizde nurodo juostos kiaurymę. Jeigu dešiniausia vaizde matoma kiaurymė ribojasi su dešiniąja vaizdo briauna – ji taip pat užpildoma juostos kontūro spalva.

3) Po antro veiksmo likęs nepalietas dešiniausias stačiakampis ir bus ieškomas stačiakampis, pagal kurį vėliau bus nustatomi vaizdo pasukimo kampas bei mastelis. Šios stačiakampės kiaurymės formą sudarantys vaizdo taškai kopijuojami į tuščią tokio paties dydžio vaizdą, kuriame vėliau bus vykdomi kampo ir mastelio nustatymai.

Pagal šį algoritmą išskirta žymeklių juostos stačiakampė kiaurymė pavaizduota 3.4 paveiksle, c.

3.4.2. Vaizdo fragmento pasukimo kampo nustatymas

Jeigu rentgenogramos registravimo metu, kartu su medicininio vaizdo fragmentu užregistruojama dirbtinių žymų juosta, tada vaizdo fragmento posūkio kampą galima nustatyti visiškai automatizuotu būdu. Vaizdo fragmento posūkio kampas sutampa su dirbtinių žymeklių juostos stačiakampių kiaurymių posūkio kampu. Taigi, norint nustatyti vaizdo fragmento posūkio kampą būtina nustatyti dirbtinių žymų juostos stačiakampių kiaurymių posūkio kampą.

Žymų juostos stačiakampio kiaurymės posūkio kampą patogiau nustatyti pagal jos vaizdo spektrą. Tai įmanoma dėl šios spektro savybės: jeigu analizuojamas vaizdas turi ašinę simetriją, tuomet centruotas jo spektras taip pat turi simetrijos liniją, kuri yra pasisukusi tiek, kiek ir objekto ašis.

Skaitmeninė rentgenograma yra žemo kontrastingumo dvimatis vaizdas

$X_{M \times N}$:

$$X_{M \times N} = \begin{bmatrix} X_{0,0} & X_{1,0} & \dots & X_{m,0} & \dots & X_{M-1,0} \\ X_{0,1} & X_{1,1} & \dots & X_{m,1} & \dots & X_{M-1,1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{0,n} & X_{1,n} & \dots & X_{m,n} & \dots & X_{M-1,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{0,N-1} & X_{1,N-1} & \dots & X_{m,N-1} & \dots & X_{M-1,N-1} \end{bmatrix}; \quad (3.1)$$

čia: $X_{m,n}$ – rentgenogramos vaizdo taško intensyvumo vertė; $m = 0, 1, 2, \dots, M-1$ – vaizdo taško koordinatės; $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$ – vaizdo taškų skaičius vienoje eilutėje; M – taškų skaičius viename stulpelyje.

Fourier transformacijos koeficientai $X_{p,q}$ skaitmeniniai rentgenogramai X paskaičiuojami pagal tokią išraišką:

$$X_{p,q} = \sum_{m=0}^{M-1} \left(w_M^{pm} \sum_{n=0}^{N-1} (w_N^{qn} X_{m,n}) \right); \quad (3.2)$$

čia: $X_{p,q}$ – dvimačio rentgenogramos spektro kompleksinės amplitudės; $p = 0, 1, 2, \dots, M-1$, $q = 0, 1, 2, \dots, N-1$ – *Fourier* spektro kompleksinių amplitudžių koordinatės; $w_M = \exp(-j2\pi)$ – fazės daugiklis žingsniui eilutėje, $w_N = \exp(-j2\pi)$ – fazės daugiklis žingsniui stulpelyje, M – taškų skaičius vaizdo spektro eilutėje; N – taškų skaičius vaizdo spektro stulpelyje.

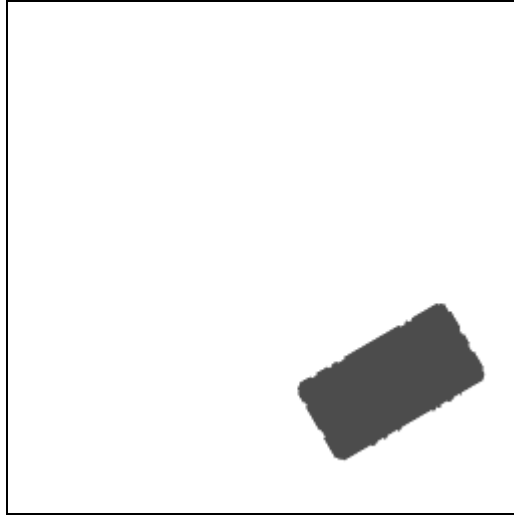
Apskaičiuotas *Fourier* transformacijos koeficientų masyvas yra kompleksinis. Kiekvienas koeficientas turi realiąją $Re[\cdot]$ ir menamąją $Im[\cdot]$ dalis. Stačiakampio pasukimo kampas yra apskaičiuojamas tik pagal amplitudžių spektrą. Tuo tikslu *Fourier* transformacijos koeficientų masyvui būtina apskaičiuoti modulių masyvą $|X_{p,q}|$:

$$|X_{p,q}| = \sqrt{(Re[X_{p,q}])^2 + (Im[X_{p,q}])^2}. \quad (3.3)$$

Fourier koeficientų modulių masyvui apskaičiuotas pagal (3.3) išraišką būdingi koeficientų verčių skirtumai. Pakankamai nedidelė didelių verčių koeficientų sritis užgožia likusią vaizdo dalį kurio koeficientai yra maži vertės. Didelių verčių įtaką galima sumažinti pateikiant spektro koeficientų modulius logaritminiame mastelyje $X_{p,q}$:

$$X_{p,q}, \text{ db} = 20 \log [X_{p,q}]. \quad (3.4)$$

Dirbtinių žymų juostos stačiakampis išskirtas iš skaitmeninės 256×256 , 8 bitais koduotos rentgenogramos pavaizduotas 3.5 paveiksle. Stačiakampis yra pasuktas 35 laipsnių kampu. Šiam stačiakampiui apskaičiuotas *Fourier* transformacijos spektras yra pateiktas 3.6 paveiksle. Šis spektras taip pat turi 256 taškų eilutes, 256 taškų stulpelius, kurio amplitudės koduotas 8 bitų kodu. Tamsesnės sritys vaizde atitinka didesnes koeficientų vertes. Tiesios sritys vaizde gana aiškiai matomos, jų posūkio kampas atitinka stačiakampio posūkio kampą.

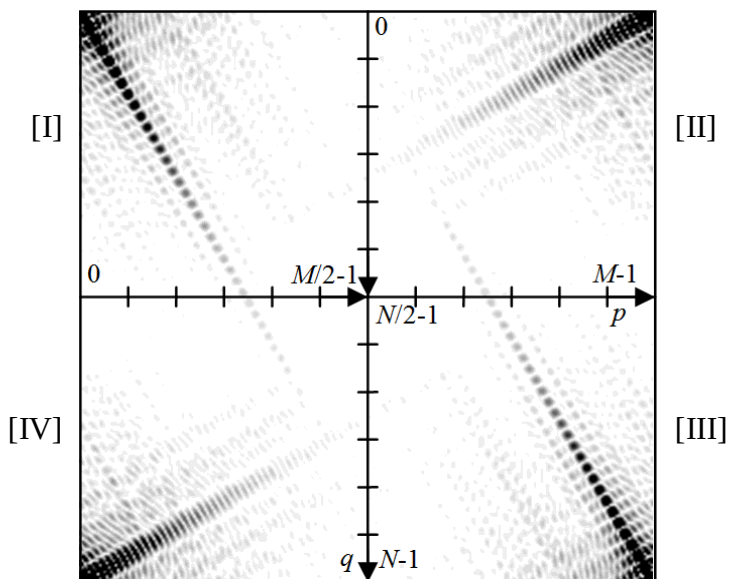


3.5 pav. Pasuktas dirbtinių žymeklių juostos stačiakampis išskirtas skaitmeninės rentgenogramos vaide

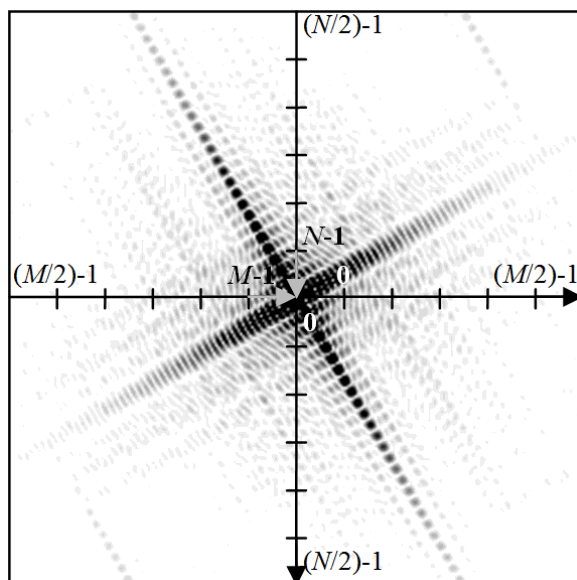
Norint apskaičiuoti vaizdo pasukimo kampą, $X_{p,q}$ matricą būtina centruoti. Intensyvumų maksimumas turi būti iš vaizdo kraštų perkeltas į centrą. O tai reiškia, kad reikia sukeisti vaizdo kvadrantus vietomis: pirmąjį su trečiuoju ir antrąjį su ketvirtuoju. Matematiškai ši operacija aprašoma tokia išraiška:

$$\begin{aligned} \begin{cases} p_c = p + M/2, \\ q_c = q + N/2; \end{cases} & \text{ kai: } \begin{cases} 0 \leq p \leq M/2, \\ 0 \leq q \leq N/2; \end{cases} \\ \begin{cases} p_c = p - M/2, \\ q_c = q - N/2; \end{cases} & \text{ kai: } \begin{cases} M/2 \leq p \leq M, \\ 0 \leq q \leq N/2; \end{cases} \\ \begin{cases} p_c = p + M/2, \\ q_c = q - N/2; \end{cases} & \text{ kai: } \begin{cases} 0 \leq p \leq M/2, \\ N/2 \leq q \leq N; \end{cases} \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\begin{cases} p_c = p - M/2, \\ q_c = q - N/2; \end{cases} \text{ kai: } \begin{cases} M/2 \leq p \leq M, \\ N/2 \leq q \leq N. \end{cases}$$



3.6 pav. Pasukto stačiakampio amplitudžių spektras logaritminiame mastelyje



3.7 pav. Centruotas pasukto stačiakampio amplitudžių spektras logaritminiame mastelyje

Po koeficientų matricos centravimo operacijos vaizdas tampa centro požūriu simetriškas (3.7 pav.). Šiame vaizde ketverios centre prasidedančios tiesės yra dar aiškiau matomos. Dvi ryškesnės turi tokį patį posūkio kampą kaip ir stačiakampis. Taigi, norint nustatyti stačiakampio, o kartu ir vaizdo fragmento posūkio kampą, reikia apskaičiuoti minėtų tiesių posūkio kampą.

Vizualiai posūkio kampą nurodančios tiesės atrodo ilgesnės, tai reiškia, kad išilgai tiesių sumuojant skaisčių vertes suma turi būti didžiausia. Kadangi vaizdas centro atžvilgiu yra simetriškas, pakeitus vaizdo koordinačių sistemą į polinę galima nesunkiai rasti azimuto kampus, kuriuose intensyvumai yra didžiausi.

Norint vaizdo koordinačių sistemą pakeisti į polinę pirmiausia koordinačių sistemos pradžia yra perstumama į vaizdo centrą:

$$N_0 = \frac{N}{2}, \quad M_0 = \frac{M}{2}. \quad (3.6)$$

Pagal naują koordinačių sistemos pradžią vaizdo taškų kampai apskaičiuojami taip:

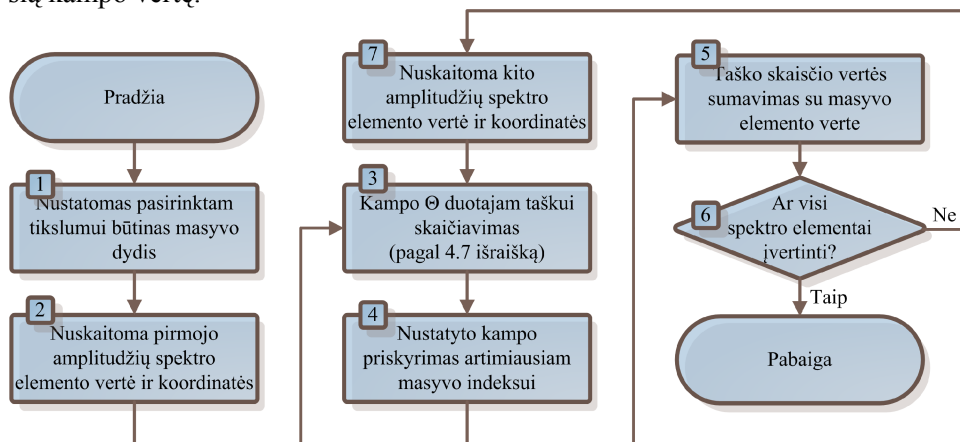
$$\Theta = \begin{cases} \arctan(\Delta p / \Delta q) & \text{kai } \Delta p > 0 \text{ ir } \Delta q \geq 0 \\ \arctan(\Delta p / \Delta q) + 2\pi & \text{kai } \Delta p > 0 \text{ ir } \Delta q < 0 \\ \arctan(\Delta p / \Delta q) + \pi & \text{kai } \Delta p < 0 \\ \pi/2 & \text{kai } \Delta p = 0 \text{ ir } \Delta q > 0 \\ 3\pi/2 & \text{kai } \Delta p = 0 \text{ ir } \Delta q < 0 \end{cases}; \quad (3.7)$$

čia: $\Delta p = (M_0 - \text{taško atstumas iki centro eilutėje})$; $\Delta q = (N_0 - \text{taško atstumas iki centro stulpelyje})$.

Skaičiuojant ryškiausių tiesių pasukimo kampą, taškų išdėstytų tuo pačiu atžvilgiu centro kampu, skaisčiai yra sumuojami. Sumavimą paaiškina algoritmas pateiktas 3.8 paveiksle.

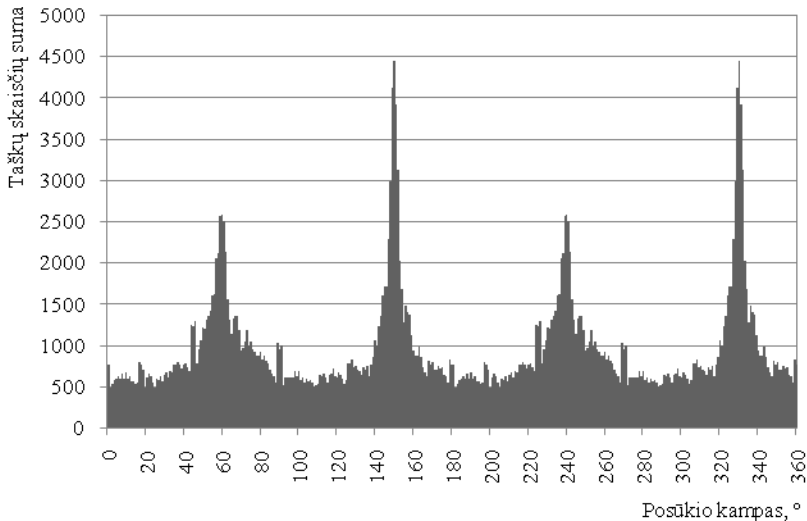
Algoritmas pradedamas nuo masyvo, kuriame centruoto rentgenogramos amplitudžių spektro logaritminiame mastelyje koeficientai bus sumuojami pagal kampą, dydžio nustatymo (1 blokas). Kampo nustatymo tikslumas priklauso nuo vaizdo raiškos ir kampų intervalų, kuriuose sumuojami spektro koeficientai, kiekio. Norint, kad kampo nustatymo tikslumas būtų $0,5^\circ$ spektro koeficientus reikia sumuoti 360-yje sričių. Tam reikalingas 360 elementų masyvas. Norint tikslumą padidinti iki $0,1^\circ$ – masyvo elementų kiekį reiktų padidinti iki 1800.

Toliau nuskaitoma pirmojo spektro koeficiento vertė ir pagal išraišką 3.7 apskaičiuojamas koeficiento kampas spektro centro atžvilgiu (2 ir 3 blokai). Apskaičiuotas kampas yra priskiriamas vienam iš masyvo elementų apimančiai šią kampo vertę.



3.8 pav. Amplitudžių spektro koeficientų verčių sumavimo pagal kampą algoritmas

Nustačius masyvo elementą atitinkantį apskaičiuotą kampo vertę, 5 bloke masyvo elemento vertė padidinama analizuojamo koeficiento dydžiu. Pirmojo koeficiento vertę priskyrus vienam iš masyvo elementų analogiškai veiksmai atliekami su visais likusiais spektro koeficientais. Algoritmas užbaigiamas, kai 6 bloke nustatoma, jog kiekvieno spektro koeficiento vertė buvo priskirta masyvui.



3.9 pav. Pasukto stačiakampio amplitudžių spektro logaritminiame mastelyje vertės susumuotos pagal posūkio, atžvilgiu centro, kampą

Po šių veiksmų gaunamas masyvas turintis elementų kiekį atitinkantį kampų padalų skaičių. Masyvo elementų vertės atitinka toje pačioje kampo padaloje centro atžvilgiu išdėstytų spektro koeficientų sumą. Grafiškai tokio masyvo pavyzdys yra pavaizduotas 3.9 paveiksle.

Ryškiausių atšakų posūkio kampas bus ten, ties kuriuo masyvo elementu suskaičiuota intensyvumų suma bus didžiausia.

Nustačius visose rentgenogramose esančios dirbtinių žymų juostos stačiakampių posūkio kampus, visų apjungiamų vaizdo fragmentų kampai turi būti suvienodinti. Suvienodinant fragmentus reikia paskuti taip, kad stačiakampių ilgoji sienelė būtų pakreipta 0° laipsniu, kitaip tariant būtų horizontali. Tokiu būdu fragmentai ir visas iš sujungtų fragmentų sudarytas vaizdas bus pertvarkytas taip, kad jame matoma dirbtinių žymeklių juostelė bus horizontali.

3.4.3. Fragmento mastelio nustatymas

Vaizdo fragmento mastelis yra proporcingas dirbtinių žymų juostos stačiakampių plotui vaizde. Kai stačiakampis iš vaizdo jau yra išskirtas (3.4 pav., c), vaizde lieka 2 skaičio lygiai. Vienas jų atitinka stačiakampį, kitas stačiakampio aplinką. Norint surasti stačiakampio plotą tereikia suskaičiuoti taškų turinčių stačiakampio formos skaištį kiekį.

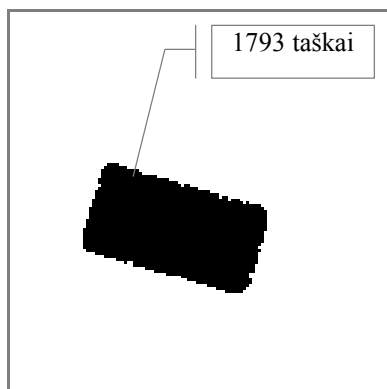
Norint visų fragmentų mastelius sulyginti, galima veikti keliomis kryptimis:

1. Susieti vaizdo mastelį su dirbtinių žymeklių juostos stačiakampio dydžiu. Šiuo atveju visų vaizdų masteliai turėtų būti keičiami taip kad visų fragmentų stačiakampių plotai maksimaliai priartėtų prie pasirinkto dydžio konstantos. Po tokių veiksmų visi užregistruoti vaizdai visuomet turės tą patį mastelį.
2. Mastelius keisti taip, kad visų fragmentų stačiakampių plotai būtų prilyginti pirmojo fragmento stačiakampio dydžiui. Tokiu būdu viso apjungto vaizdo mastelis bus toks, kaip pirmame vaizde ir tai leis vaizdo registravimo metu valdyti pasirinkti norimą mastelį.

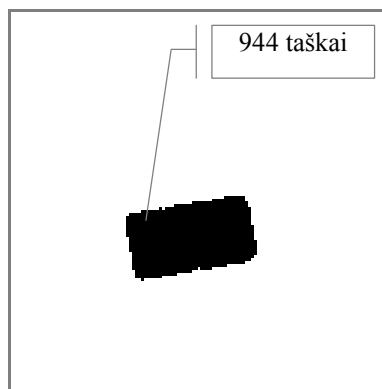
Praktinis mastelių suvienodinimo uždavinio sprendimo pavyzdys pateiktas 3.10 paveiksle. 3.10 paveikslo a ir b vaizduose pateikti dirbtinių žymų juostos stačiakapiai užfiksuoti atitinkamai 1-ame ir 2-ame vaizdo fragmentuose. Paveiksluose nurodyti stačiakampių formą sudarantys taškų skaičiai. Tiek vizualiai, tiek pagal skaičius aiškiai matyti, kad 3.10 paveiksle c, pateiktas stačiakampis yra mažesnis. Kiek reikia padidinti antrojo fragmento mastelį, kad jis sutaptų su pirmojo fragmento masteliu galima apskaičiuoti pagal 3.8 išraišką:

$$M_{k\pi} = \sqrt{\frac{S_1}{S_x}} \times 100 \%;$$
(3.8)

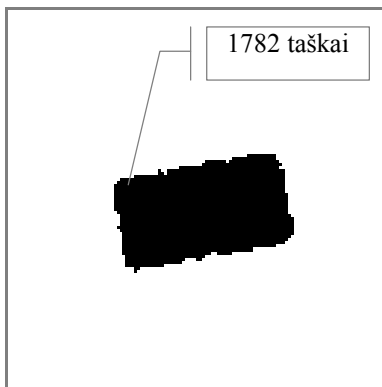
čia – vaizdo fragmento užfiksuoto -tuoju numeriu eilučių ir stulpelių mastelio keitimo koeficientas išreikštas procentais; – pirmajame rentgenogramos vaizdo fragmente išskirto dirbtinės žymų juostos stačiakampio plotas; – dirbtinės žymų juostos stačiakampio plotas užfiksuotas -tuoju numeriu registruotame fragmente.



a)



b)



c)

3.10 pav. Apjungiamų rentgenogramos mastelių suvienodinimas pagal vaizde išskirto dirbtinių žymų juostos stačiakampių plotus

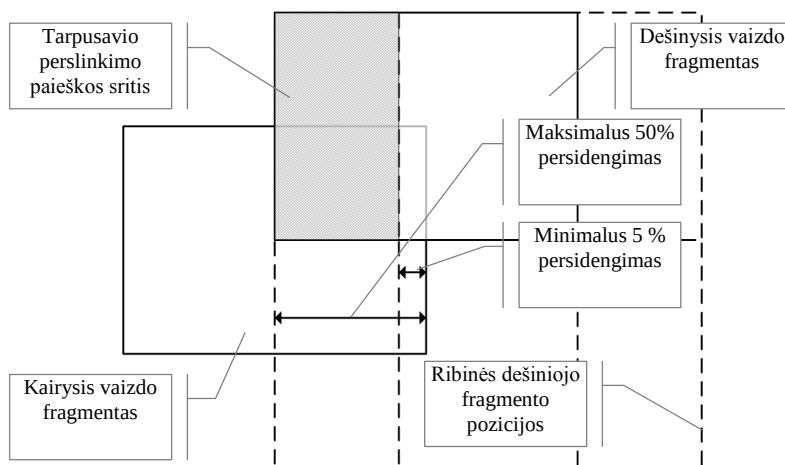
3.8 išraišką taikant 3.10 paveikslo a ir b vaizduose pateiktų stačiakampių plotų suvienodinimui apskaičiuotas mastelio keitimo koeficientas

$M_{k2} = 137,8$. Šiuo dyžiu padidintas antrojo fragmento stačiakampio vaizdas pateiktas 3.10 paveiksle, c. Vizualiai šio stačiakampio plotas atrodo identiškas pirmojo fragmento stačiakampio plotui, tačiau lyginant jų plotų vertes pastebimas skirtumas. Pagrindinė šio skirtumo atsiradimo priežastis – diskretizavimo paklaida. Analogiškai kaip pavyzdyje buvo suvienodinti vaizdo fragmente išskirtų dirbtinės žymų juostos stačiakampių plotai, naudojant mastelio keitimo koeficientas būtų suvienodinti ir pačių fragmentų masteliai. Stačiakampiai pavyzdyje buvo panaudoti tam, kad būtų įmanoma skaičiais įvertinti suvienodinimo rezultata.

Kuris mastelių suvienodinimo metodų tinkamesnis nuspręsti galima tik konkretaus vaizdo fragmentų apjungimo taikymo atveju. Pirmasis būdas patogesnis tada, kai siekiama viso vaizdo mastelį parinkti taip kaip jis parinktas pirmame fragmente. Antrasis būdas naudingas tada kai reikia turėti visuomet vienodą, fiksuotą mastelį.

3.4.4. Fragmentų tarpusavio perstūmimo nustatymas

Rentgenogramos fragmentų tarpusavio perstūmimo nustatymui siūloma naudoti vaizdų tarpusavio koreliacijos koeficientą. Fragmentų perslinkimą pagal koreliacijos koeficientą nustatyti galima tik tuomet, kai fragmentai yra vienodo mastelio ir to paties posūkio kampo. Šie fragmentų parametrai turi būti suvienodinti prieš tarpusavio perslinkimo skaičiavimą.



3.11 pav. Fragmentų tarpusavio perstūmimo paieškos sritis

Fragmentų tarpusavio perslinkimo paieškos sritis priklauso nuo maksimalaus ir minimalaus galimų fragmentų persidengimų. Kokiose ribose ieškoti tikrojo tarpusavio perslinkimo priklauso nuo detektoriaus postūmio tikslumo. Kai detektoriaus pozicija yra keičiama rankiniu būdu griežti reikalavimai negalimi. Tačiau, iš vienos pusės fragmentų tarpusavio perslinkimas negali būti mažesnis už 5 %, nes žemo kontrasto rentgeno vaizdų sutaptinti mažesniu persidengimu neįmanoma, todėl ieškoti ten tarpusavio perslinkimo nėra prasmės. Iš kitos pusės siūloma taikyti 50 % persidengimo paieškos sritį, nes koreliacijos koeficiento skaičiavimas yra imli skaičiavimo resursams operacija, o užtikrinti, kad net ir rankiniu būdu perslenkamas detektorius kito fragmento registravimui bus perslinktas ne mažiau kaip 50 % įmanoma. Analogišką, 50 % galimo tarpusavio perslinkimo sritį siūloma taikyti ir fragmentų ašių perslinkimo paieškoje. Pagal aptartas sąlygas suformuota fragmentų tarpusavio perslinkimo paieškos sritis pateikta 3.11 paveiksle

Ieškant sutapimo pagal aprašytas sąlygas, ieškoti reikės galimų postūmio taškų aibėje kuri nuo vaizdo stulpelio ir eilutės taškų skaičių priklauso tokiu būdu:

$$G_{pt} = 0,45M \times N. \quad (3.9)$$

Tarpusavio koreliacijos koeficientas skaičiuojamas individualiai kiekvienam galimam postūmio taškui. Pasirinktame perstūmimo taške tarpusavio koreliacijos koeficientas apskaičiuojamas pagal 3.10 išraišką.

$$\begin{aligned}
 CC(p_h, p_v) &= \sum_m \sum_n (x_2(m + p_h, n + p_v) - x_1(m, n))^2 \\
 &= \sum_m \sum_n ((x_2(m + p_h, n + p_v))^2 \\
 &\quad - 2x_2(m + p_h, n + p_v)x_1(m, n) + (x_1(m, n))^2);
 \end{aligned} \tag{3.10}$$

čia: $CC(p_h)$ – fragmentų tarpusavio koreliacijos koeficientas perslinktas per stulpelių ir eilučių; $x_1(n)$ – kairiojo vaizdo fragmento taško n -tajame stulpelyje, n -tojoje eilutėje skaisčio vertė; $x_2(m + p_h, n + p_v)$ – perslinkto dešiniojo vaizdo fragmento taško skaisčio vertė m stulpelyje, n eilutėje.

Iš 3.10 išraiškos matyti, kad koreliacija bus mažiausia, kai skirtumai tarp vaizdų taškų bus mažiausi arba, kai sandas $2x_2(m + p_h, n + p_v)x_1(n)$ bus didžiausias.

Tačiau toks koreliacijos koeficiento skaičiavimas turi trūkumą: jis priklauso nuo persidengiančios vaizdų dalies ploto. Šio trūkumo neturi normalizuota koreliacija $CC_N(p_h)$:

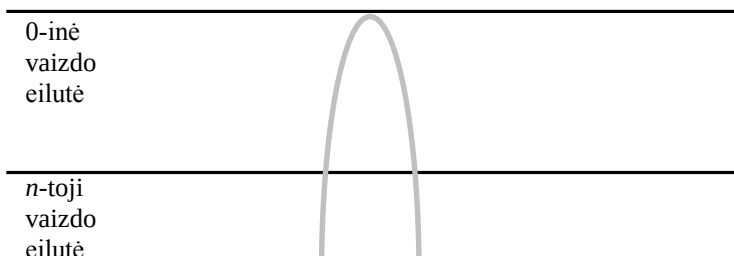
$$CC_N(p_h, p_v) = \sqrt{\frac{\sum_m \sum_n (x_2(m + p_h, n + p_v) - x_1(m, n))^2}{\sum_m \sum_n x_2(m + p_h, n + p_v) \sum_m \sum_n x_1(m, n)}} \tag{3.11}$$

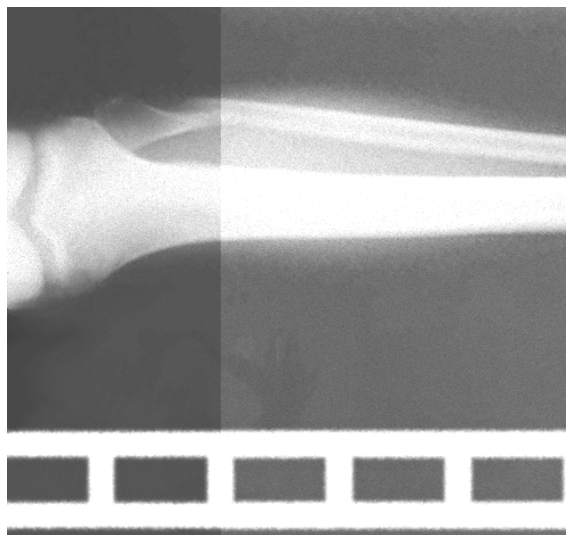
Kai normalizuotas koreliacijos koeficientas yra apskaičiuotas visoje paieškos srityje, konkretus perslinkimas nustatomas išrenkant didžiausią normalizuotos tarpusavio koreliacijos vertę. Perslinkimo taškas, kuriame vertė didžiausia ir bus fragmentų sutapdinimo taškas.

Žinant tikslų sutapdinimo tašką, paskutinė vaizdo sudarymo operacija yra fragmentų sujungimas sutapdinimo taške.

3.4.5. Dviejų fragmentų sujungimas

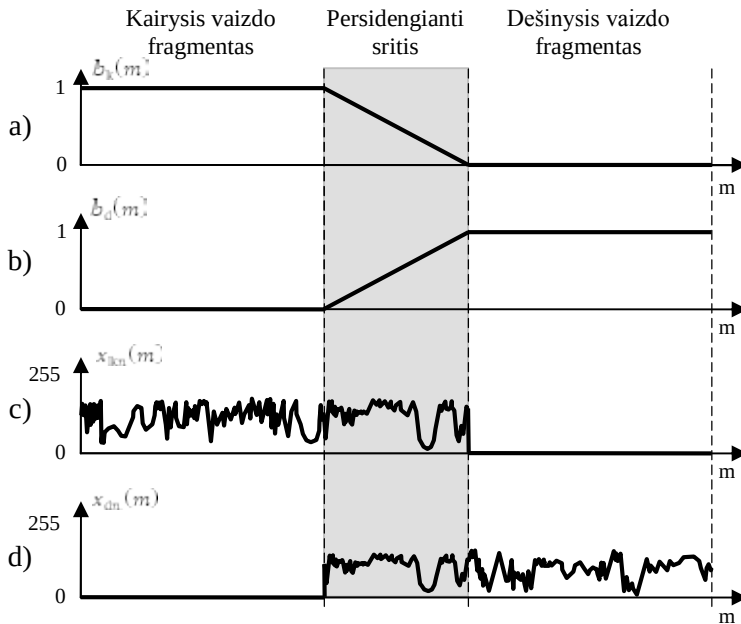
Netgi žinant tikslų vaizdo fragmentų pasukimo kampą, mastelį ir postūmį vienas kito atžvilgiu, negalima tiesiog uždėti vieno vaizdo fragmento ant kito, nes liks sujungimo žymės. Tai parodyta 3.12 paveiksle.





3.12 pav. Tiesiogiai sujungti du vaizdo fragmentai

Sujungimo vieta pažymėta šviesiu ovalu. Paveiksle matyti gana aiški linija. Siūlė atsiranda visų pirma todėl, kad pasiūlytame metode neatsižvelgiama į apjungiamų vaizdo fragmentų ryškumą. Tačiau netgi ir suvienodinus vidutinius fragmentų ryškumus siūlė išryškėja dėl atsitiktinių triukšmų atsirandančių vaizdo fiksavimo momentais, bei mastelio ir pasukimo kampo suvienodinimo operacijų metu įvestų triukšmų. Nors 3.12 paveiksle ši linija ir dirbtinai išryškinta, tačiau ją pašalinti galima tik taikant ryškumo perėjimus tarp sujungto vaizdo fragmentų.

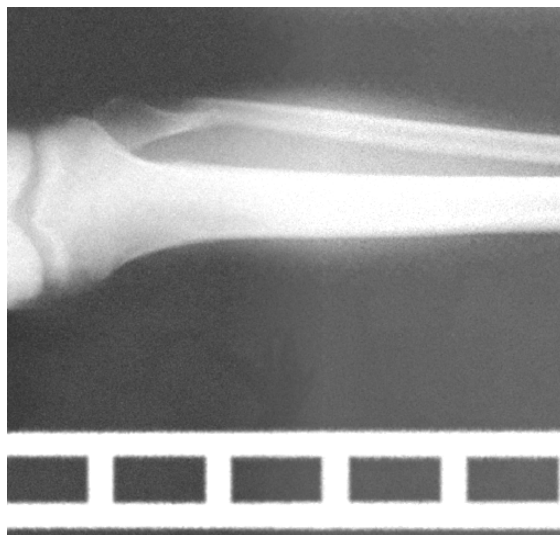


3.13 pav. Perėjimo funkcijų ir -tųjų apjungiamų fragmentų eilučių -tųjų taškų skaisčių verčių pavyzdys

Ryškimų perėjimas vykdomas pagal tokią išraišką:

$$x_{rz}(m) = x_{kri}(m)b_k(m) + x_{dri}(m)b_d(m); \quad (3.12)$$

čia: x_{ri} – -tojo apjungto vaizdo taško -tojoje eilutėje skaistis;
 x_{kri} – kairiojo vaizdo fragmento, papildyto nulinio intensyvumo vertėmis iki apjungiamo vaizdo dydžio, -tojo taško, -tojoje eilutėje skaisčio vertė (pavyzdys pateiktas 3.13 paveiksle, c); x_{dri} – dešiniojo vaizdo fragmento, papildyto nulinio intensyvumo vertėmis iki apjungiamo vaizdo dydžio, -tojo taško, -tojoje eilutėje skaisčio vertė (pavyzdys pateiktas 3.13 paveiksle, d);
 b_k – perėjimo funkcijos -tajam kairiojo vaizdo eilutės taškui vertė (pavyzdys pateiktas 3.13 paveiksle, a); b_d – perėjimo funkcijos -tajam dešiniojo vaizdo eilutės taškui vertė (pavyzdys pateiktas 3.13 paveiksle, b).



3.14 pav. Vaizdo fragmentai sujungti panaudojant perėjimo funkcijas

Panaudojant perėjimo funkcijas sumuojami persidengiančių vaizdo sričių taškų svertiniai intensyvumai. Palaipsniui mažinamas vieno fragmento svoris ir didinamas kito. Tokiu būdu vaizdų sujungimo siūlė yra ištempiama per visą persidengiančių vaizdų sritį ir tampa beveik nepastebima.

3.14 paveiksle pavaizduotas iš fragmentų sudarytas vaizdas. Prieš sujungimą fragmentai buvo dirbtinai iškraipyti, pakeistas vidutinis intensyvumas. Tačiau apjungimo vykdymo metu panaudojus perėjimo funkcijas sujungimo siūlė tapo praktiškai nepastebima.

3.5. Trečiojo skyriaus išvados

1. Norint medicininių rentgeno vaizdų fragmentus sutapdinti automatizuotu būdu būtina į vaizdą įterpti dirbtinius žymeklius.

2. Kaip dirbtinį žymeklį vaizdo fragmentų sutapdinimui naudojant metalinę juostelę su stačiakampėmis kiaurymėmis, fragmento pasukimo kampą, mastelį ir perstūmimą galima nustatyti visiškai automatizuotu būdu.

3. Paprasčiausia fragmento pasukimo kampą nustatyti yra skaičiuojant dirbtinių žymų juostos stačiakampio spektrą.

4. Vaizdo fragmentų mastelius galima suvienodinti apskaičiavus dirbtinių žymų juostos stačiakampių plotus fragmentuose.

5. Fragmentų apjungimo operacija turi būti vykdoma tik po mastelių ir pasukimo kampų suvienodinimo. Apjungimas vykdomas atsižvelgiant į fragmentų perslinkimą nustatytą pagal persidengiančioje fragmentų srityje apskaičiuotus normalizuotus tarpusavio koreliacijos koeficientus.

6. Dėl skirtingų aplinkos sąlygų ir triukšmų veikiančių fragmentų registravimo metu, vaizdus sutapdinus, sujungimo vietoje matoma siūlė. Siūlė tampa sunkiai pastebima persidengiančioje srityje pritaikius perėjimo funkciją. Perėjimo funkcija sujungimo siūlę ištempia per visą persidengiančią sritį.

Didelių vaizdų sudarymas panaudojant bendrąsias vaizdų savybes

Sprendžiama didelių vaizdų sudarymo iš kelių mažesnių jų fragmentų problema, pagrįsta vaizdo turinio analize. Siūloma metodika visiškai automatizuotam dvimačių fotožemėlapių vaizdų sudarymui apjungiant nedidelius persidengiančius fragmentus. Metodika pagrįsta persidengiančiųjų vaizdų sričių bendrųjų savybių nustatymu. Bendrųjų savybių nustatymui siūloma apjungiamus fragmentus fiksuoti didesniu negu 50 % persidengimu. Įrodoma, kad nežinomo turinio vaizdai patikimai ir tiksliai apjungiami į vieną didelį vaizdą, tik esant daugkartiniam jų fragmentų persidengimui. Fragmentų apjungimui būtina surasti juose esančius kampus ir jų skaičių parinkti keičiant slenksčio funkcijos vertę. Vaizde esančių kampų suradimui taikomas *Harris-Plessey* metodas papildytas prognozuojama slenksčio funkcija. Eksperimentu įrodomas siūlomo metodo tinkamumas. Skyriui parengti panaudotas autoriaus darbas [A1].

4.1. Vaizdo fragmentų sutapdinimas remiantis bendrosiomis savybėmis

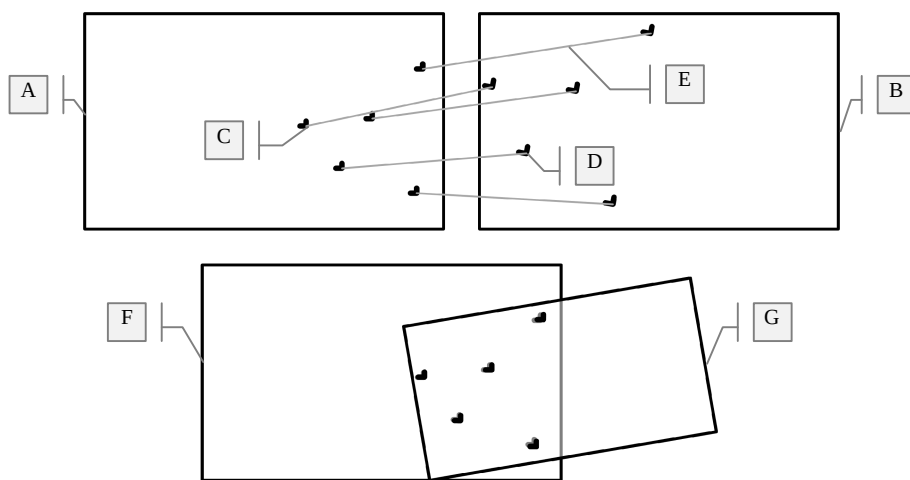
Patogiausia vaizdo fragmentų sutapdinimą vykdyti tuomet, kai vaizde yra objektų, kurių buvimas yra išanksto žinomas – tai žinomi vaizdo turinio elementai arba dirbtinai į vaizdą įneštos žymos. Pagal žinomos formos ir savybių objektus galima paprastai ir patikimai apskaičiuoti sutapdinimo parametrus. Tačiau, egzistuoja vaizdų rūšys, kur abu šie atvejai yra neįmanomi. Tokių vaizdų pavyzdys yra skaitmeniniai fotožemėlapių vaizdai.

Fotožemėlapių vaizduose nėra objektų, kurių buvimą galima būtų prognozuoti. Vaizdai visada skirtingi, todėl juose nėra galimybės charakteringus taškus surasti pagal vaizdo turinyje esančius, žinomų formų objektus. Nėra galimybės fotožemėlapių apjungimui reikalingą informaciją įvesti dirbtinai. Čia dirbama su vaizdais registruojamais iš didelių nuotolių. Norint į tokių vaizdų fragmentus įnešti dirbtines žymas, jas tektų išdėstyti dideliais atstumais registruojamame paviršiuje. Tai būtų brangu ir užimtų daug laiko. Ieškant tokiuose vaizduose charakteringų taškų, vienintelė išeitis yra visiems vaizdams bendrų savybių paieška. Kadangi būtina surasti taškus tiksliai apibrėžtus dvimatėje erdvėje, geriausia panaudoti kampų taškų nustatymo algoritmus. Fragmentų sutapdinimas naudojant kampų taškus vykdomas tokiais etapais:

1. Detektoriaus pozicionavimas.
2. Vaizdo registravimas.
3. Kampų taškų vaizdo fragmentuose nustatymas.
4. Kampų taškų apjungiamuose vaizdo fragmentuose susiejimas.
5. Sutapdinimo parametrų nustatymas.
6. Vaizdo fragmentų sutapdinimas ir apjungimas.

Pirmajame etape vykdomas detektoriaus pozicijos nustatymas. Detektoriaus pozicija vaizdo fragmentų registravimo metu turi užtikrinti persidengiančių vaizdo fragmentų registravimą. Nustačius detektoriaus poziciją registruojamas vaizdo fragmentas. Pirmasis ir antrasis etapai kartojami tol kol užregistruojami visi vaizdo fragmentai. Trečiajame etape, užregistruotuose vaizdo fragmentuose ieškoma kampų taškų. Nustačius kampų taškus, ketvirtajame etape ieškoma abiejuose vaizdo fragmentuose sutampančių kampų taškų, t. y. taškų žyminčių tą pačią vaizdo vietą. Žinant abiejuose fragmentuose sutampančius vaizdo taškus apskaičiuojami būtini geometriniai fragmentų pakeitimai sudarantys galimybę juos uždėjus vieną ant kito sutapdinti. Taigi, penktajame etape skaičiuojami fragmentų sutapdinimo parametrai. Paskutiniu metu veiksmu fragmentai yra sutapdinami ir apjungiami.

4.1 paveikslas iliustruoja dviejų vaizdo fragmentų sutapdinimo procesą. Šiame paveiksle, raidėmis A ir B pažymėti stačiakampiai vaizduoja užregistruotus kairįjį ir dešinįjį vaizdo fragmentus. Šie fragmentai turi persidengiančią sritį, tačiau vaizdumo dėlei jie pavaizduoti vienas šalia kito. C ir D pažymėti šiuose fragmentuose aptikti kampų taškai, E – žymi sąsajas tarp susietųjų kampų taškų. 4.1 paveiksle pateiktame pavyzdyje specialiai pateikti fragmentai, kurių posūkio kampas ir mastelis skiriasi. Raidė G jame rodo kaip turi būti geometriškai pakeistas dešinysis vaizdo fragmentas, kad būtų galima jį sutapdinti su kairiuoju vaizdo fragmentu.



4.1 pav. Vaizdo fragmentų sutapdinimas naudojant bendrąsias savybes: A – kairysis vaizdo fragmentas; B – dešinysis vaizdo fragmentas; C – kampų taškai nustatyti kairiajame vaizdo fragmente; D – kampų taškai nustatyti dešiniajame vaizdo fragmente; E – sąsajos tarp tų pačių kampų taškų kairiajame ir dešiniajame vaizdo fragmentuose; F ir G – tie patys kairysis ir dešinysis vaizdo fragmentai, kur dešiniojo fragmento posūkio kampas ir mastelis pakeisti taip,

Žinoma daug įvairių kampų taškų vaizduose nustatymo algoritmų. Jie skiriasi taškų suradimo tikslumu, atsparumu triukšmams, taškų suradimo priklausomybe nuo posūkio kampo, skaičiavimo sąnaudomis ir kitais parametrais. Remiantis kampų aptikimo algoritmų palyginimu pateiktu [101, 102], galima daryti išvadą, kad tinkamiausias yra algoritmas CSS. Jis tiksliausiai lokalizuoja kampus, atspariausias trukdžiams, taupiausias resursų atžvilgiu. Tačiau jo taikymas yra sudėtingas ir jis yra sunkiai adaptuojamas. Taikymo paprastumo požiūriu geriausias *Harris-Plessey* algoritmas. Pagrindiniai jo privalumai yra:

- paprastai įgyvendinamas;
- pasižymi geru kampo aptikimo atsikartojamumu;
- atsparus triukšmams, nes algoritme naudojamas Gauso filtravimas;
- lengvai adaptuojamas.

Silpnoji *Harris-Plessey* algoritmo vieta yra kampų taškų aptikimo jautrumas fragmentų posūkio kampui ir masteliui. Tačiau šiuos trūkumus siūloma pašalinti pasinaudojus fotožemėlapių vaizdų fragmentų registravimo proceso specifika, konkrečiai galimybe registruoti keletą kartų persidengiančius fragmentus.

4.2. Daugkartinis fragmentų persidengimas

Sutapdinimas įmanomas tik tada, kai apjungiami fragmentai turi persidengiančią sritį. Persidengimo gylis priklauso nuo žemės paviršiaus dalies telpančios registruojamame vaizde ilgio ir fotodetektoriaus judėjimo greičio. Registruojamame vaizde telpančio paviršiaus ilgis apskaičiuojamas pagal šią išraišką:

$$l = 2h \cdot \tan \frac{\alpha}{2}; \quad (4.1)$$

čia: – atstumas tarp vaizdo detektoriaus ir žemės paviršiaus; h yra detektoriaus objektyvo vaizdo aprėpties kampas.

Du vaizdo fragmentai persidengiančią sritį turės tuomet, kai antrasis fragmentas bus užregistruotas detektorių perslinkus atstumu mažesniu už l . Jeigu dominantis persidengimas būtų 20 %, registruojant antrą fragmentą detektoriaus perslinkimas turėtų būti apskaičiuotas pagal tokią išraišką:

$$l_{\Delta} = 0,8l; \quad (4.2)$$

čia: – detektoriaus perslinkimas prieš registruojant antrąjį fragmentą.

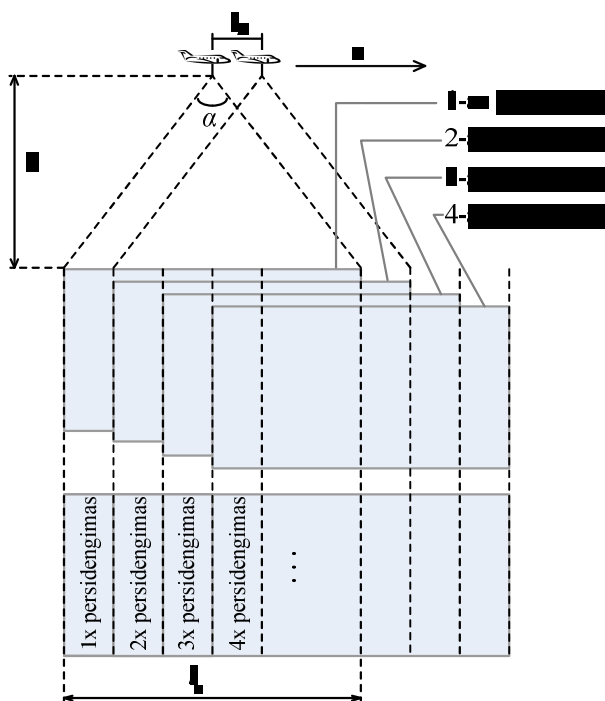
Laiko tarpas, per kurį detektorių nešantis skraidymo įrenginys nukeliauja reikalingą persidengimą užtikrinantį atstumą l_{Δ} apskaičiuojamas pagal išraišką:

$$T = \frac{0,8l}{v} = \frac{1,6h \cdot \tan \frac{\alpha}{2}}{v}; \quad (4.3)$$

čia: – laiko tarpas tarp fragmentų registravimo; – detektoriaus judėjimo greitis.

(4.3) išraiškoje esančių parametų tarpusavio sąryšį iliustruoja toks pavyzdys. Jeigu fragmentai registruojami dešimties milijonų taškų raiškos detektoriumi, kurio vaizdo kraštinių santykis yra 4:3. Tai esant raiškai lygiai 3 vaizdo taškam žemės paviršiaus metrui, užregistruotame vaizde tilps žemės paviršiaus plotas, kurio ilgis bus apie 900 metrų. Pagal (4.3) išraišką tokią aprėptį galima gauti keičiant h ir α parametrus. Detektoriumi judant greičiu 100 m/s, tai atitinka 360 km/h greitį, reikaujant 20 % persidengimo, laiko tarpas tarp fragmentų registravimo, garantuojantis reikalingą persidengimą, bus apytiksliai 7,2 s.

Iš pateikto pavyzdžio matome, kad laiko tarpas tarp registravimų yra pakankamai ilgas. Mažinant detektoriaus judėjimo greitį, jis gali būti dar prailgintas. Modernūs vaizdo detektoriai vaizdus gali registruoti trumpesniais už 1 s laiko intervalais. Vertinant vaizdo detektorių galimybes galima daryti išvadą, kad techniškai įmanoma vaizdus registruoti daug didesniu negu 20 % vaizdo persidengimu.



4.2 pav. Daugkartinis vaizdo fragmentų persidengimas registruojant fotožemėlapių vaizdus

Fragmentų persidengimui pasiekus 50 %, kiekvienas fragmento vaizdo taškas yra registruojamas 2 kartus. Persidengimo procentinį dydį didinant, vaizdo taško registracija tampa daugkartine. Tai reiškia, kad tas pats vaizdo taškas yra pakartotinai registruojamas 3, 4 ar net didesniame skaičiuje fragmentų. Vaizdo fragmentų fiksavimo procesas ir daugkartinio persidengimo susidarymo galimybė pavaizduota 4.2 paveiksle:

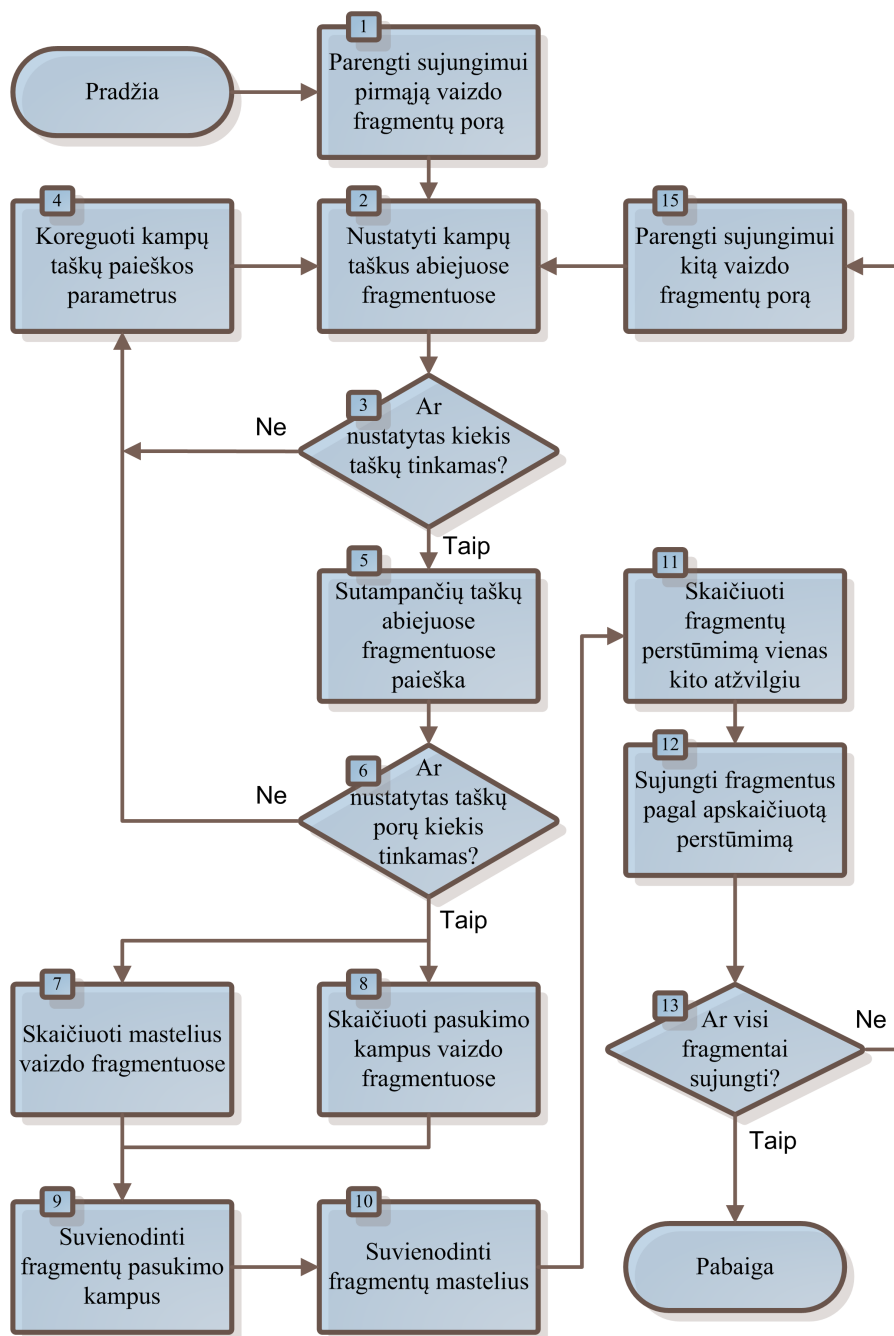
Daugkartinis persidengimas leidžia tą patį, dominantį vaizdo tašką stebėti daugelyje fragmentų. Tai leidžia nesėkmingą sutapdinimą vienoje fragmentų poroje pakartoti kitose porose, atmesti iškraipytus fragmentus ir net pasirinkti sutapdinimo sritį – kadangi nėra būtina vykdyti gretimų fragmentų apjungimo. Registruojant vaizdo fragmentus maksimaliai trumpais intervalais, fragmentų turinys labai supanašėja. Netgi patys smulkiausi pokyčiai fotožemėlapių fragmentuose atitinka didelius pokyčius realybėje. Tokie pokyčiai fiziškai negali įvykti per sekundės dalis trunkantį laiko tarpą. Aptarta fotožemėlapių vaizdų registravimo specifika leidžia padidinti sutapdinimo patikimumą iki lygmens, leidžiančio apjungimo procedūrą vykdyti automatizuotu būdu.

Registruojamuose fotožemėlapių vaizduose nėra galimybės į vaizdą įterpti dirbtinius žymeklius, kurių būvimas vaizde būtų iš anksto žinomas. Todėl joks vaizdų fragmentų apjungimo metodas, sudarant fotožemėlapių vaizdus iš apjungtų mažesnių fragmentus, negali būti 100 % patikimas. Tačiau, fragmentų registravimo metu panaudojant daugkartinį persidengimą ir maksimaliai trumpinant registravimo intervalą yra galimybė prie tokio patikimumo artėti.

4.3. Vaizdo fragmentų apjungimo pagrįsto kampų taškų ieškojimu algoritmas

Algoritmas pagal kurį vaizdo fragmentai apjungiami naudojant bendrąsias vaizdų savybes pateiktas 4.3 paveiksle. Algoritmo veikimas pagrįstas taškų, kuriuose vaizde yra kampai paieška.

Algoritmo darbas prasideda vaizdo fragmentų poros nuskaitymu. 4.2 algoritmo 1 bloke, numatytas pirmosios vaizdo fragmentų poros įkėlimas į apjungimą vykdančio įrenginio atmintį. Apjungimas vykdomas nuosekliai sujungiant gretimų vaizdo fragmentų poras. Tai reiškia, kad apjungti vaizdų fragmentus galima tiek vaizdų registravimo metu, dar neturint visos vaizdo fragmentų sekos, tiek užregistravus visus fragmentus. Paskutiniu atveju, palengvėja reikalavimai fragmentų apjungimo algoritmo spartai, tačiau vaizdus fiksuojant daugkartiniu persidengimu, labai išauga jiems saugoti reikalingos talpos dydis. Apjungimą vykdanč nedelsiant, registravimo metu saugomas tik galutinis produktas, todėl fragmentų persidengimo gylis saugomos informacijos apimčiai įtakos neturi.



4.3 pav. Persidengiančių vaizdo fragmentų apjungimo algoritmas

2 algoritmo bloke pradedama fragmentų turinio analizė. Analizuojamuose fragmentuose *Harris-Plessey* metodu ieškoma kampų taškų. Šiuo metodu aptiktų kampų taškų kiekis priklauso nuo vaizdo pobūdžio. Keičiant taškų nustatymo parametrus taškų kiekį įmanoma kontroliuoti.

Kadangi kampų nustatymo algoritmo parametrai yra prognozuojami, o prognozės kartais būna netikslios, po kampų taškų nustatymo vykdomas papildomas taškų kiekio patikrinimas (3 blokas). Jeigu aptinkama, kad nustatytas kampų taškų kiekis netinkamas, prognozuoti kampų taškų nustatymo parametrai yra koreguojami (4 blokas) ir kampų taškų nustatymo operacija vykdoma iš naujo.

Kai nustatytas kampų taškų kiekis patenka į pasirinktus režius, ieškomi abiejuose fragmentuose sutampantys taškai (3 blokas). Ši operacija labai priklauso nuo ankstesniuose algoritmo blokuose nustatyto kampų taškų skaičiaus. Esant dideliame kampų taškų skaičiui, jie yra per arti vienas kito ir atsiranda didelė tikimybė sumaišyti atitinkamus kampų taškus. Kai kampų taškų yra per mažai – didėja tikimybė, kad nebus rasti sutampantys kampų taškai ir nebus pagal ką skaičiuoti apjungimo parametrų. Po patikrinimo, 6 bloke, kai nustatytas sutampančių porų skaičius per mažas vėl grįžtama į pradžią. Čia koreguojami kampų taškų nustatymo parametrai ir kartojama kampų taškų nustatymo procedūra (4 ir 2 blokai).

Turint reikalingą susietų kampų taškų porų skaičių, 7 ir 8 blokuose lygiagrečiai skaičiuojami fragmentų posūkio kampų ir mastelių skirtumai. Nustačius šiuos skirtumus nuosekliai vykdomos kampų ir mastelių suvienodinimo operacijos (9 ir 10 blokai).

Turint fragmentus su sutampančiais posūkio kampais ir masteliais pradedama fragmentų perslinkimo vienas kito atžvilgiu skaičiavimo operaciją, jie sutapdinami ir apjungiami (11 ir 12 blokai).

13 bloke tikrinama ar yra daugiau fragmentų, kuriuos reikia apjungti. Jeigu tokių yra, į apjungimą vykdančio įrenginio atmintį įkeliami kita fragmentų pora. Algoritmas kartojamas tol, kol sujungiami visi vaizdo fragmentai.

4.3.1. Kampų taškų vaizdo fragmente nustatymas

Foto žemėlapių vaizdas sudaromas apjungiant mažesnius, dvimačius / fragmentus:

$$I_{M \times N} = \begin{bmatrix} x_{0,0} & x_{1,0} & \dots & x_{m,0} & \dots & x_{M-1,0} \\ x_{0,1} & x_{1,1} & \dots & x_{m,1} & \dots & x_{M-1,1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{0,n} & x_{1,n} & \dots & x_{m,n} & \dots & x_{M-1,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{0,N-1} & x_{1,N-1} & \dots & x_{m,N-1} & \dots & x_{M-1,N-1} \end{bmatrix}; \quad (4.4)$$

čia: $x_{i,j}$ – vaizdo taško intensyvumo vertė; $i = 0, 1, 2, \dots, M-1$, $j = 0, 1, 2, \dots, N-1$ – vaizdo taško koordinatės; m – vaizdo taškų kiekis vienoje eilutėje; n – taškų skaičius viename stulpelyje.

Norint apskaičiuoti vaizdo fragmento kamputumo žemėlapi pirmiausia skaičiuojama jo autokoreliacijos matrica AC :

$$AC = \begin{bmatrix} \left(\frac{dI}{dx} \right)^2 \otimes w & \left(\frac{dI}{dx} \frac{dI}{dy} \right) \otimes w \\ \left(\frac{dI}{dx} \frac{dI}{dy} \right) \otimes w & \left(\frac{dI}{dy} \right)^2 \otimes w \end{bmatrix}; \quad (4.5)$$

čia: $\otimes$ – konvoliucijos operacijos ženklas; w – vaizdo išvestinė kryptimi; $\frac{dI}{dx}$ – vaizdo išvestinė kryptimi; k – Gauss tipo langas.

Pasirėmus *Harris-Plessey* metodu, iš autokoreliacijos matricos galima apskaičiuoti vaizdo kamputumo įvertį – kamputumo žemėlapi $C(x, y)$:

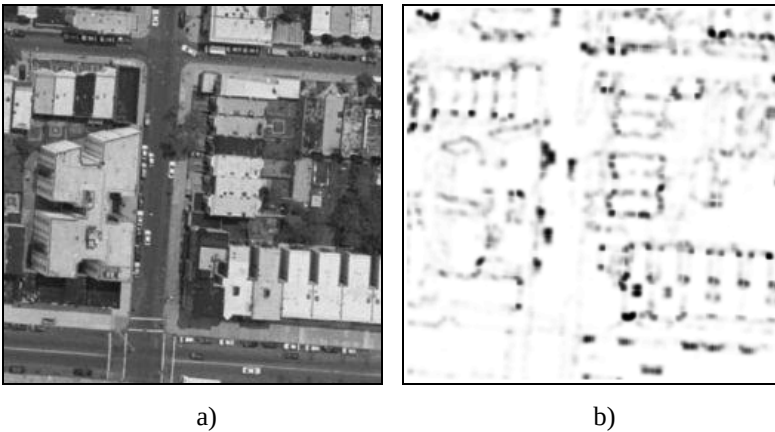
$$C(x, y) = \text{Det}(AC) - k(\text{Trace}(AC))^2; \quad (4.6)$$

čia: $C(x, y)$ – kamputumo žemėlapi matrica, $\text{Det}(AC)$ – vaizdo autokoreliacijos matricos determinantas, k – konstanta, $\text{Trace}(AC)$ – vaizdo autokoreliacijos matricos pagrindinės įstrižainės elementų suma.

Išreiškus kamputumo žemėlapi matricos $C(x, y)$ elementus per (4.5) išraiškoje aprašytos matricos elementus, gaunama tokia kamputumo žemėlapi išraiška:

$$C(x, y) = \left(\left(\frac{dI}{dx} \right)^2 \otimes w \right) \left(\left(\frac{dI}{dy} \right)^2 \otimes w \right) - \left(\left(\frac{dI}{dx} \frac{dI}{dy} \right) \otimes w \right)^2 - k \left(\left(\left(\frac{dI}{dx} \right)^2 \otimes w \right) + \left(\left(\frac{dI}{dy} \right)^2 \otimes w \right) \right)^2; \quad (4.7)$$

Originalaus vaizdo kampuotumo žemėlapis $C(\cdot)$ skaičiavimo rezultatas yra vaizdas, kuriame sritys su aiškiau išsiskiriančiais kampais atvaizduotos didesniu skaisčiu. Foto žemėlapis vaizdo fragmentas ir jo kampuotumo žemėlapis pateikti atitinkamai 4.4 paveikslo, a ir b dalyse.



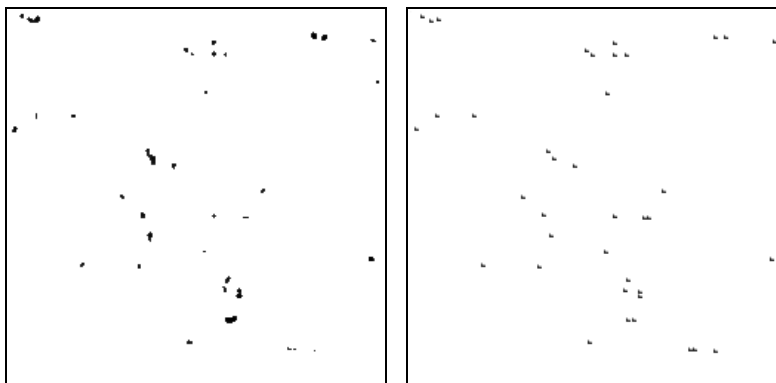
4.4 pav. Foto žemėlapis vaizdo fragmentas (a) ir jo kampuotumo žemėlapis (b)

Toliau ieškant kampų taškų, kampuotumo žemėlapis $C(\cdot)$ apdorojamas slenksčio funkcija:

$$C_{sl}(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{kai } C(x, y) \geq x_{sl} \\ 0 & \text{kai } C(x, y) < x_{sl} \end{cases}; \quad (4.8)$$

čia: $C_{sl}(\cdot)$ – kampuotumo žemėlapis apdoroto slenksčio funkcija vaizdas,
– slenksčio vertė.

Po slenksčio funkcijos gaunamas vaizdas su atskirtomis kampų sritimis. 4.5 paveiksle, a pateiktas slenksčio funkcijos taikymo 4.4 paveiksle, b pavaizduotam kampuotumo žemėlapiui rezultatas. Paskutinis žingsnis kampų taškų nustatymo procedūroje yra lokalių maksimumų izoliuotose kampų srityse suradimas. Surasti lokalūs maksimumai yra ieškomi kampų taškai. Lokalių sričių maksimumų žemėlapis pateiktas 4.5 paveiksle, b.



a)

b)

4.5 pav. Kampuotumo žemėlapis po slenksčio funkcijos pritaikymo (a) ir vaizde aptikti kampų taškai (b)

Kai toje pačioje srityje didžiausio skaisčio taškų yra keli, atsiranda kampų sričių lokalių maksimumų suradimo problemų. Tam, kad gauti tikslų kampo tašką – maksimumas turi būti vienas taškas. Norint minėtos problemos išvengti, reikia papildomai apdoroti gautus kampų taškus. Apdorojimo metu yra tikrinama ar greta tikrinamo maksimumo taško nėra kito taško su vienodu intensyvumu. Jeigu toks taškas yra – abu taškai atmetami kaip netinkami.

Pagrindiniai parametrai įtakojantys aprašyto algoritmo eigoje nustatytų kampų taškų kiekį yra: *Gauss* filtravimo lango dydis ir slenksčio funkcijos slenksčio vertė. Nuo *Gauss* filtravimo lango dydžio priklauso algoritmo atsparumas triukšmams ir jautrumas smulkiems kampų taškams. Slenksčio funkcijos slenksčio vertė nustato kokio minimalaus kampuotumo sritys bus interpretuojamos kaip kampų sritys. Šis parametras daugiausiai įtakoja algoritmo vaizde aptinkamų kampų taškų kiekį. Siekiant valdyti algoritmo aptinkamų kampų taškų kiekį, būtina prognozuoti slenksčio funkcijos slenksčio vertę.

4.3.2. Slenksčio vertės įtaka ieškomiems kampų taškams ir jos vertės parinkimas

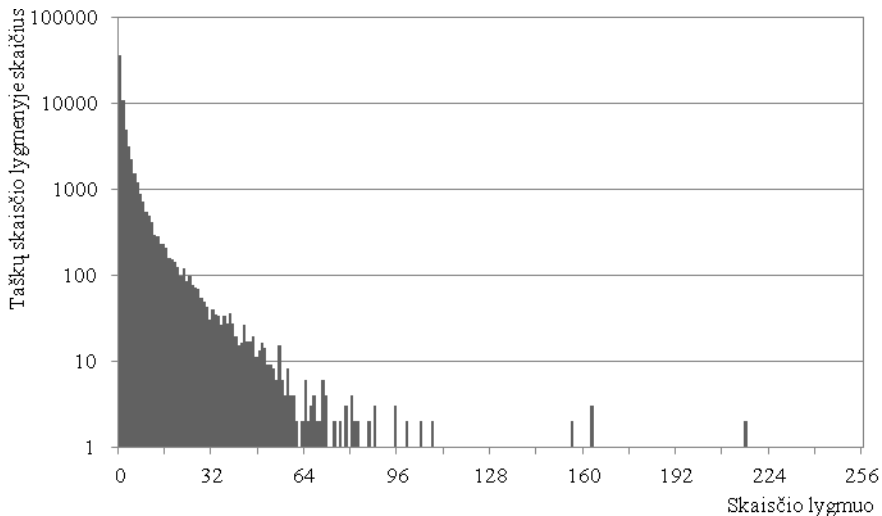
Kampuotumo žemėlapiui taikant slenksčio funkciją yra atmetama dalis vaizdo sričių, kurių kampuotumo įvertis yra mažesnis už pasirinktą slenksčių. Kiek konkrečiai sričių bus atmetama, priklauso nuo slenksčio vertės ir vaizdo, kuriam apskaičiuotas kampuotumo žemėlapis, turinio. Čia svarbiausia išvengti 2 kraštutinių variantų:

- dėl pasirinktos per aukštos slenksčio vertės visos kampotumu pasižyminčios sritys būtų pašalintos, kas panaikintų galimybę nustatyti minimalų, būtiną kampų taškų skaičių;
- dėl pasirinktos per mažos slenksčio vertės, kampais vaizde būtų pažymėta labai daug, net mažu kampotumu pasižyminčių taškų, kas vėliau labai apsunkintų dviejų tokių pačių taškų susiejimą apjungiamuose vaizdo fragmentuose.

Taigi reikia parinkti tokią slenksčio vertę, kad liktų tik tie taškai, kuriuos būtų paprasta susieti abiejuose vaizdo fragmentuose. Slenksčio vertės skaičiavimui vaizde tinka jo histograma. Norint sudaryti skaitmeninio vaizdo skaisčių histogramą, reikia apskaičiuoti kiek vaizde yra taškų atitinkančių kiekvieną iš galimų intensyvumo lygmenų. Histogramos sudarymą apibūdina tokia išraiška:

$$M \times N = \sum_{i=1}^{I_m} m_i; \quad (4.9)$$

čia M – vaizdo fragmento taškų kiekis; N – kiekis galimų skaisčio lygmenų vaizdo fragmento taškui; I_m – kiekis –tajam vaizdo skaisčio lygiui tenkančių vaizdo fragmento taškų.



4.6 pav. Kampotumo žemėlapių histograma logaritminiame mastelyje

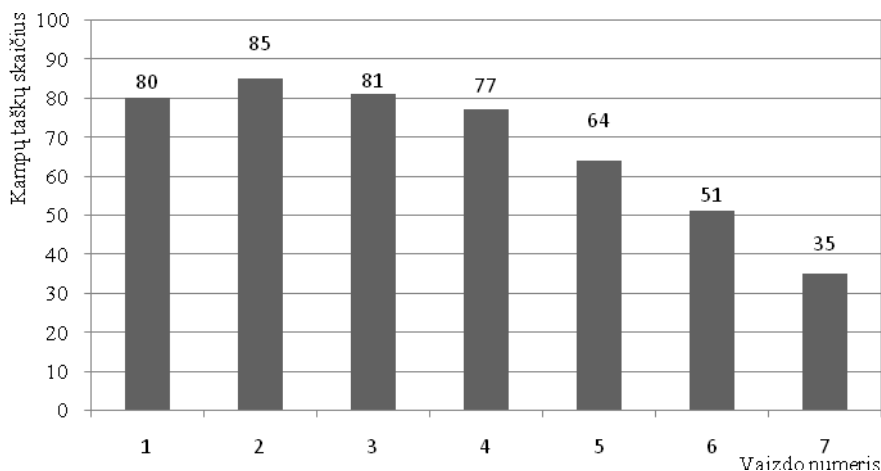
Grafiškai histograma vaizduojama stulpelių grafiku. Esant dideliame stulpelių skaičiui, histogramoje vietoje stulpelių atvaizduojama tik gaubtinė. 4.6 paveiksle pateikta 4.4 paveiksle, b esančio vaizdo fragmento histograma.

Kaip matyti, kampuotumo žemėlapio vaizdo histogramoje yra gana mažai dideliu skaisčiu pasižyminčių taškų. Didžioji dalis vaizdo turi labai nedidelį skaisčių. Tai reiškia, kad parinkus slenksčio vertę lygią galimų vaizdo skaisčių verčių matematiniam vidurkiui, vaizde, kurio histograma pavaizduota 4.6 paveiksle, po slenksčio operacijos neprilygintų nuliui taškų teliktų 0,22 %. Palyginimui, nustačius slenksčio vertę lygią dešimtdaliui maksimalios skaisčio vertės – po slenksčio funkcijos pritaikymo, neprilygintų nuliui taškų vaizde liktų 6,11 %.

Kampuotumo žemėlapiui taikant slenksčio funkciją pastebimi keli efektai:

- tolydus žemėlapis padalinamas į atskiras sritis susitelkusias aplink intensyvumo maksimumus;
- žemesni už slenksčių intensyvumo maksimumai yra pašalinami.

Pašalintos lokalių maksimumų sritys eliminuojamos iš kampų taškų paieškos. Taip galima keisti aptinkamų taškų skaičių. Tačiau kokią tiksliai slenksčio funkcijos slenksčio vertę verta pasirinkti, atsakymą galima gauti tik ištyrus vaizde aptinkamų kampų taškų skaičiaus priklausomybę nuo slenksčio vertės. Kadangi vaizde aptinkamų taškų skaičius labai priklauso nuo vaizdo turinio, sąryšį tarp slenksčio vertės, aptinkamų taškų skaičiaus ir histogramos galima nustatyti tik eksperimentiškai.

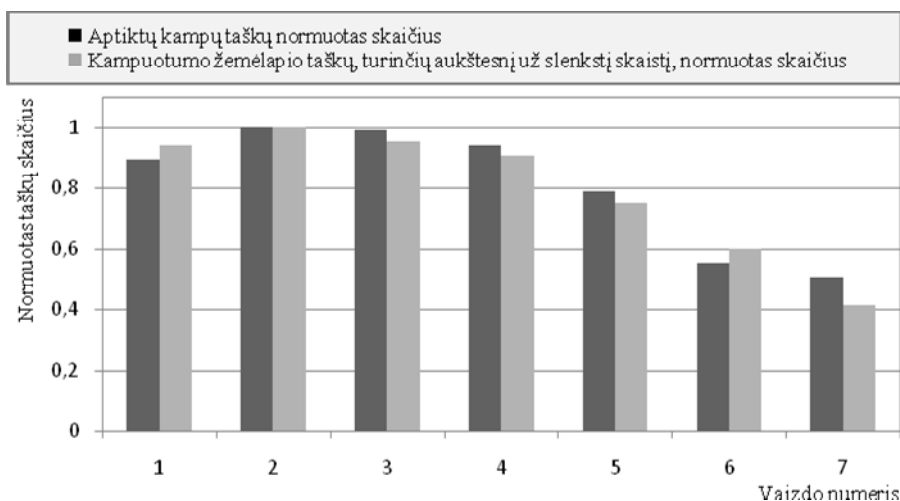


4.7 pav. Tiriamuose vaizduose aptiktų kampų skaičius pritaikius tos pačios vertės slenksčio funkciją

Tuo tikslu buvo ištirti 7 vaizdai, iš kurių 6 jungiant vieną paskui kitą sudaro vieną pailgą vaizdą, o septintasis specialiai parinktas iš teritorijos su mažesniu detalių skaičiumi. Testams naudoti vaizdai pateikti priede, 4.1–4.7 paveiksluose. Savo turiniu šie vaizdai ženkliai skiriasi vienas nuo kito: vaizdų turinys kinta nuo urbanizuotos, turinčios daug pastatų, automobilių iki miškingos teritorijos. Tai reiškia, kad nuo daug ryškių detalių turinčių vaizdų pereinama prie blankesnių. Blankių vaizdų kampuotumo žemėlapiui pritaikius aukštą slenkstį, dauguma kampų sričių bus prilygintos nuliui ir kampai neaptikti.

4.7 paveiksle pavaizduotas aptiktų kampų taškų skaičius 7 tirtuose vaizdų fragmentuose, kai jiems visiems buvo nustatyta tokia pati slenkščio funkcijos slenkščio vertė. Slenkščio vertė buvo parinkta eksperimentiniu keliu, ieškant kampų taškų 7-ame vaizde ir siekiant, kad būtų aptikti tik svarbiausi vaizdo taškai – nebūtų aptikti šiems taškams artimi taškai.

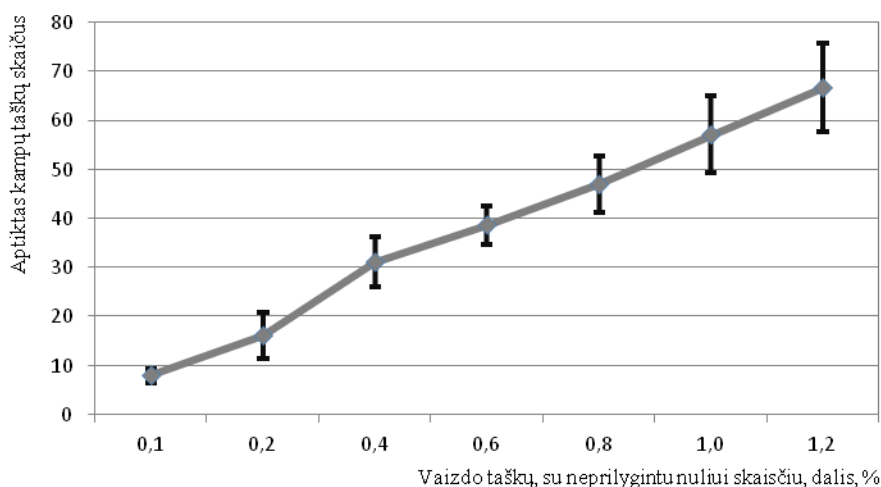
Kaip matyti iš 4.7 paveikslo, parinkus vieną konkrečią slenkščio funkcijos vertę, skirtinguose vaizduose aptinkamas kitoks kampų taškų skaičius. Tirtame vaizdų rinkinyje šis skirtumas siekia 2 kartus. Apjungiant vaizdus yra siekiama aptikti optimalų kampų taškų kiekį. Tai reiškia, kad reikia valdyti kampų nustatymo procesą, siekiant konkretaus taškų kiekio aptikimo. Vienas iš būdų parinkti reikalingą slenkščio funkcijos slenkščio vertę yra kampuotumo žemėlapio histogramos analizė.



4.8 pav. Aptiktų kampų taškų normuoto skaičiaus palyginimas su kampuotumo žemėlapio taškų, turinčių aukštesnį už slenkstį skaitį, normuotu skaičiumi

Tirtų vaizdų kampuotumo žemėlapiams taikant slenkščio funkciją, akivaizdžiai pastebima, kad didesnis kampų taškų skaičius buvo nustatytas tuose

vaizduose, kuriuose slenksčio funkcija nuliui prilygino daugiau vaizdo taškų. 4.8 paveiksle pavaizduota sąsaja tarp slenksčio funkcijos prilygintų nuliui kampuotumo žemėlapių vaizdo taškų skaičiaus ir vaizde aptiktų kampų taškų. Šiame paveiksle pavaizduotos dvi stulpelių sekos. Juodieji stulpeliai atitinka testinių vaizdų, pateiktų 4.1–4.7 priedo paveiksluose, kampuotumo žemėlapyje slenksčio funkcijos neprilygintų nuliui taškų normuotus kiekius. Pilkieji stulpeliai rodo tuose pačiuose vaizduose aptiktų kampų taškų normuotą skaičių. Priklausomybė tarp šių dviejų parametrų yra akivaizdi. Vadinas, skirtingiems vaizdams slenksčio funkcijos slenksčio vertę parenkant taip, kad funkcija nuliui visuose vaizduose prilygintų tą pačią kampuotumo žemėlapių vaizdo taškų procentinę dalį, galima tikėtis panašaus aptikto kampų taškų skaičiaus.



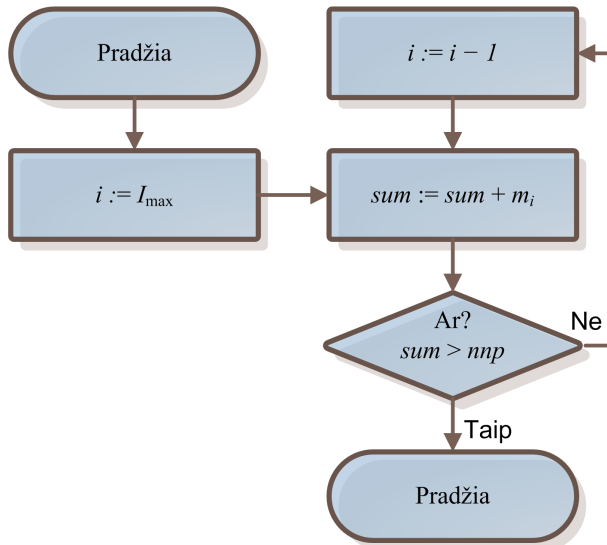
4.9 pav. Aptiktų kampų taškų skaičius pritaikius slenksčio vertę apskaičiuotą individualiai, pagal neprilygintų nuliui kampuotumo žemėlapių taškų procentinę dalį

Neprilygintas nuliui kampuotumo žemėlapių dalies plotas nėra rodiklis tiesiogiai apsprendžiantis aptinkamų kampų taškų vaizde kiekį, tačiau iš 4.9 paveikslo matyti, kad yra galimybė, naudojantis šiuo parametru valdyti aptinkamų vaizde kampų taškų kiekį.

Šiame paveiksle, ordinačių ašyje pažymėti bandomuosiuose vaizduose aptikti kampų taškų kiekiai, o absčių ašyje – slenksčio funkcijos neprilyginto nuliui kampuotumo žemėlapių vaizdo ploto procentinė išraiška. Kaip matyti iš grafiko skaičiuojant slenksčio funkcijos vertę galima pakankamai tiksliai valdyti taškų kiekį.

Slenksčio funkcijos vertę, ties kuria nuliui neprilyginta liktų tik pasirinkta dalis vaizdo taškų, galima nustatyti pagal (4.9) išraišką. Tam reikia atlikti

iteracinį skaičiavimą, kurio algoritmas pateiktas 4.10 paveiksle. Ieškant pageidaujamos slenksčio funkcijos slenksčio vertės, pagal šį algoritmą pirmiausia kintamasis i , kuris yra ieškoma slenksčio funkcijos vertė, yra nustatomas maksimaliai galimai slenksčio vertei. Maksimali galima vertė lygi maksimaliai kampuotumo žemėlapiu skaisčio vertei. Toliau imama histogramos srities indeksu i vertė ir pridama prie darbinio neprilygintų nuliui taškų skaičiaus sum . Kitame žingsnyje patikrinama ar sum nepasiekė pageidaujamos slenksčio funkcijos neprilygintų nuliui taškų skaičiaus vertės npp . Jeigu pasiekė algoritmas stabdomas, o kintamasis i yra laikomas ieškotąja slenksčio funkcijos verte. Priešingu atveju i sumažinamas vienetu ir aprašyti veiksmai kartojami iš naujo. Ciklas kartojamas tol, kol darbinė neprilygintų nuliui taškų skaičiaus vertė nepasiekia pageidaujamosios.



4.10 pav. Slenksčio funkcijos vertės nustatymo pagal kampuotumo žemėlapiu histogramą algoritmas: $I_{\max}$ – maksimali kampuotumo žemėlapiu taško skaisčio vertė; npp – taškų skaičius, kurį po slenksčio funkcijos norima palikti.

Aprašytas metodas leidžia pasirinkti tokią slenksčio vertę, kuri garantuotų norimo kampų taškų skaičiaus vaizde radimą. Tačiau skirtingiems vaizdams naudojant skirtingą slenksčio vertę iškyla kita problema – vaizduose atpažinti taškai nebūtinai sutaps. Ši problema neiškyla jeigu dviems apjungiamiesiems vaizdams taikoma tapati slenksčio funkcija. Problemos sprendimą nurodo 4.7 paveikslas. Kaip matyti, didžiausias atpažintų taškų kiekio skirtumas yra tarp pirmojo ir paskutiniojo vaizdų, tačiau visuose gretimuose vaizduose tas skirtumas yra pakankamai mažas. Taip yra todėl, kad testavimo vaizdų rinkinys

yra sudarytas su persidengimais sukarpius vieną pailgą vaizdą. Tikruose vaizduose pobūdis nesikeičia labai greitai, todėl gretimuose vaizduose aptiktų detalių skaičius ir yra labai panašus. Jeigu dvejuose apjungiamuose vaizdo fragmentuose yra labai ryški detalių kiekio ir jų skaičiaus riba, dėl kurios vaizdams tektų parinkti skirtingas slenksčio vertes – daugkartinis vaizdo fragmentų persidengimas leidžia praleisti vieną vaizdo fragmentą ir apjungimą vykdyti kitoje persidengiančių vaizdo fragmentų poroje, kurioje tokios ribos nėra.

Apibendrinant galima teigti, kad apjungiant du vaizdo fragmentus pirmiausia reikia abiems fragmentams apskaičiuoti slenksčio funkcijos vertes, pagal neprilygintą nuliui kampų plotą žemėlapiu. Toliau iš dviejų slenksčio verčių reikia išrinkti mažesniąją, kad vaizdo fragmente su mažesniu detalių skaičiumi būtų aptikta pakankamai taškų apjungimui. Jeigu dėl perdidelio kampų taškų tankio viename iš vaizdų apjungimo metu nepavyksta suporuoti reikiamo kiekio kampų taškų, kampų taškų suporavimo procedūrą reikia pakartoti apjungiant kitus vaizdo fragmentus.

4.3.3. Taškų apjungiamuose vaizduose susiejimas

Žinant vaizdo fragmentus fiksuojančio įrenginio greitį, yra galimybė apjungti vaizdus ir be jų turinio analizės, tačiau taip vykdant apjungimą sujungimo vietose liks siūlės. Siūlių atsiradimo priežastis yra fiksavimo pozicijos koordinačių ir diskretizavimo klaidos. Žinant apytikslų vaizdų perstūmimą vienas kito atžvilgiu, jį reikia patikslinti pasinaudojant nustatytais vaizdų kampų taškais. Tikslinimas vyksta dviem etapais:

- apjungiamuose vaizdo fragmentuose nustatomas reikalingas kampų taškų porų skaičius;
- vaizdai apjungiami pagal nustatytas koordinatas.

Kampų taškų poravimo procedūra vykdoma tokiu nuoseklumu:

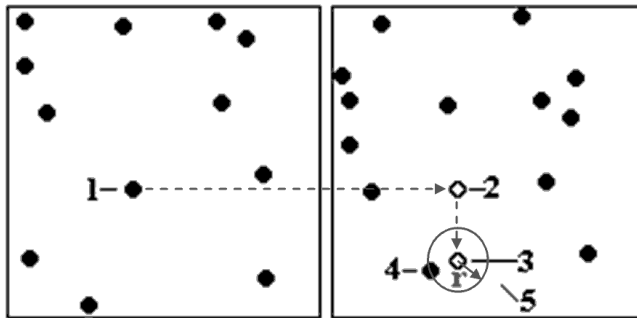
- apskaičiuojamas tikėtinas vaizdo fragmentų perslinkimas fotodetektoriaus judėjimo erdvėje;
- pirmajame fragmente išrenkami kampų taškai, kurie tikėtina bus ir antrame vaizdo fragmente;
- išrenkamas pasirinktas kiekis kampų taškų su labiausiai nutolusiais kaimynais;
- antrojo vaizdo fragmente, pasirinktų kampų taškų tikėtinų pozicijų aplinkose ieškomi kampų taškai su artimomis koordinatėmis;

- išrenkami kampų taškai nuo jų tikėtinų pozicijų nutolę nedidesniu už pasirinktą atstumu, šie taškai laikomi taškų pirmajame fragmente poromis.

Siekiant nustatyti vaizdų persislinkimą vienas kito atžvilgiu, pirmiausia reikia apskaičiuoti tikėtiną vaizdų poslinkį įvertinant judesio trajektoriją ir greitį. Dėl greičio matavimo netikslumo, greičio reguliavimo inercijos, oro srovių ir kitų trukdančių palaikyti pastovų greitį faktorių, atsiranda klaidos dėl kurių apskaičiuota perslinkimo vertė yra tik apytikslė. Tiesios skridimo trajektorijos atveju fiksuojamų vaizdo fragmentų persislinkimą (taškų skaičiumi) galima apskaičiuoti pagal tokią išraišką:

$$i_x = v \cdot t \cdot z; \quad (4.10)$$

čia: – taškų kiekis nurodantis vaizdo fragmentų persislinkimą ašies kryptimi;
 – fragmentų fiksavimo laiko intervalas; – fiksavimo įrenginio judėjimo greitis; – fiksuojamų fragmentų skiriamoji geba.



4.11 pav. Kampų taškų susiejimas apjungiamuose vaizduose.

Priėmus, kad greitis ir fiksavimo intervalas yra nekintantys dydžiai, tikėtinas vaizdų persislinkimas visada bus toks pat ir jį lengva apskaičiuoti. Žinant tikėtiną vaizdo fragmentų perslinkimą, vietoje, kurio ieškomasis kampo taškas turėtų būti, ieškomas tikrasis kampo taškas. Surastas artimiausias kampo taškas laikomas ieškomuoju kampo tašku, atitinkančiu tą pačią vaizdo vietą pirmajame vaizdo fragmente. 4.11 paveiksle taškų susiejimas pavaizduotas grafiškai. 4.11 paveiksluose a ir b pavaizduoti vaizdo ir to paties vaizdo perslinkto 25 % kampų taškų, aptiktų testiniame vaizde, pavyzdžiai. 4.11 paveiksle, a numeriu 1 pažymėtas kampo taškas kuriam poros ketinama ieškoti 4.11 paveikslo dalyje b.

Skaičiumi 2 yra pažymėta taško 1 pozicija 4.11 paveiksle, b. Numeriu 3 pažymėta tikėtina kampo taško poslinkio vieta. Taško 3 aplinkoje yra ieškomas

artimiausias kampo taškas, kuris ir bus susietas su tašku 1. Atstumas r tarp tikrųjų susieto kampo taško koordinatčių ir tikėtinios jo pozicijos yra vienas iš parametrų nusakančių susiejimo kokybę. Kuo aptikto kampo taško atstumas iki jo tikėtinios pozicijos artimesnis bendram visų aptiktų taškų atstumų vidurkiui, tuo susiejimas laikomas patikimesniu.

4.3.4. Fragmento pasukimo kampo nustatymas

Turint susietųjų kampų taškų rinkinį, pagal taškų išdėstymą apjungiamuose fragmentuose nustatomi fragmentų posūkio kampai. Paprasčiausias būdas nustatyti posūkio kampą yra apskaičiuoti susietųjų kampų taškų tarpusavio posūkio kampus kiekviename iš fragmentų.

Nustatant kiekvieno iš fragmentų posūkio kampą pakaktų palyginti posūkio kampus tarp bet kurių dviejų, atitinkamus kampų taškus jungiančių, atkarpų abiejuose fragmentuose. Tačiau tokiu būdu nustatytas posūkio kampas nebūtų tikslus. To priežastys yra kampo nustatymo lokalizavimo paklaidos, atstumai tarp dviejų kampų taškų, vaizdo registravimo triukšmai ir kita. Vienintelis būdas sumažinti netikslumus įnešančių veiksnių įtaką – nustatant posūkio kampą įvertinti posūkio kampų skirtumus tarp visų galimų kampų taškus jungiančių atkarpų apjungiamuose fragmentuose.

Tuo tikslu, abiejų fragmentų kampų taškams yra sudaromos galimų kampų taškų jungčių lentelės. Galimų taškų jungčių lentelės stulpeliuose ir eilutėse išvardijamos kampų taškų koordinatės, o viduryje surašomi langelius atitinkančių kampų taškų porų jungčių posūkio kampai.

4.1 lentelė. Posūkio kampai tarp visų galimų vaizdo fragmento kampų taškų jungčių

	K_{k1}, K_{d1}	K_{k2}, K_{d2}	...	K_{ki}, K_{di}	...	$K_{k(L-1)}, K_{d(L-1)}$	K_{kL}, K_{dL}
K_{k1}, K_{d1}		$\Delta\Theta_{1,2}$	...	$\Delta\Theta_{1,i}$	...	$\Delta\Theta_{1,(L-1)}$	$\Delta\Theta_{1,L}$
K_{k2}, K_{d2}			...	$\Delta\Theta_{2,i}$	...	$\Delta\Theta_{2,(L-1)}$	$\Delta\Theta_{2,L}$
$\vdots$				$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
K_{ki}, K_{di}					...	$\Delta\Theta_{i,(L-1)}$	$\Delta\Theta_{i,L}$
$\vdots$						$\vdots$	$\vdots$
$K_{k(L-1)}, K_{d(L-1)}$							$\Delta\Theta_{(L-1),L}$
K_{kL}, K_{dL}							

4.1 lentelėje: I kairiojo fragmento, $-$ tojo susietojo kampo taško koordinatės; I dešiniojo fragmento, $-$ tojo susietojo kampo taško koordinatės $= 1, 2, \dots$; $-$ susietųjų su kito fragmento kampais kampų taškų skaičius fragmente; $\Delta\theta_{1..L-}$ – du atitinkamus kampų taškus fragmentuose jungiančių atkarpų posūkio kampų skirtumas.

Skaiciuojant atkarpų posūkio kampų skirtumus laikoma, kad kairiajame lentelės stulpelyje išvardinti kampų taškai yra atkarpų pradžios, o viršutinėje eilutėje – atkarpų pabaigos. Kampo vertė nusako atkarpos pabaigos posūkio kampą atkarpos pradžios atžvilgiu. Jungiančių atkarpų posūkio kampo skirtumas apskaičiuojamas iš jungiančiosios atkarpos posūkio kampo kairiajame vaizdo fragmente atimant atitinkamos jungiančiosios atkarpos posūkio kampą dešiniajame vaizdo fragmente:

$$\Delta\theta = \theta_k - \theta_d; \quad (4.11)$$

čia: $-$ kampų taškus jungiančiosios atkarpos posūkio kampas kairiajame vaizdo fragmente; $-$ kampų taškus jungiančiosios atkarpos posūkio kampas dešiniajame vaizdo fragmente.

Jungiančiosios atkarpos posūkio kampai kairiajame ir dešiniajame fragmentuose apskaičiuojami pagal išraišką:

$$\theta = \begin{cases} \arctan(\Delta x / \Delta y) & \text{kai } \Delta x > 0 \text{ ir } \Delta y \geq 0 \\ \arctan(\Delta x / \Delta y) + 2\pi & \text{kai } \Delta x > 0 \text{ ir } \Delta y < 0 \\ \arctan(\Delta x / \Delta y) + \pi & \text{kai } \Delta x < 0 \\ \pi/2 & \text{kai } \Delta x = 0 \text{ ir } \Delta y > 0 \\ 3\pi/2 & \text{kai } \Delta x = 0 \text{ ir } \Delta y < 0 \end{cases}; \quad (4.12)$$

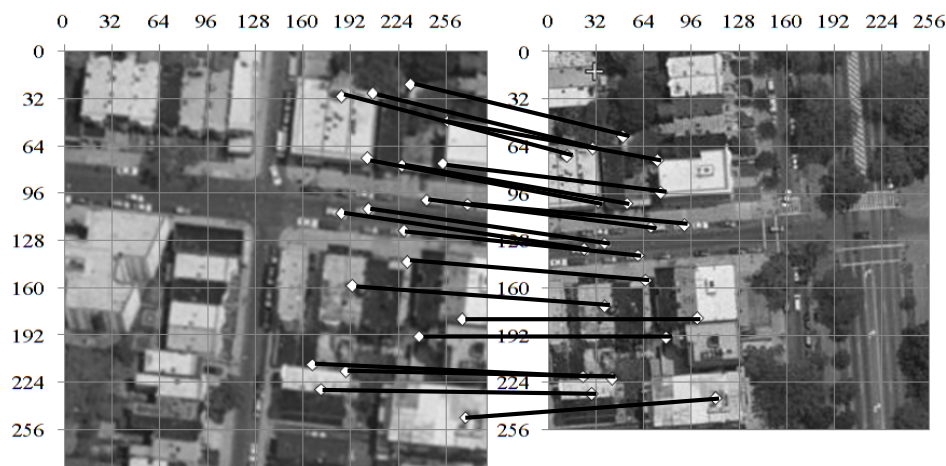
čia: $-$ x koordinatės skirtumas tarp jungiančiosios atkarpos pabaigos ir pradžios taškų; $-$ y koordinatės skirtumas tarp jungiančiosios atkarpos pabaigos ir pradžios taškų.

Apskaičiavus visų, susietuosius kampų taškus jungiančių atkarpų posūkio kampų skirtumus reikia surasti vidutinę posūkio kampų skirtumo vertę. Tai atliekama susumuojant visus kampų skirtumus ir padalinant gautą sumą iš

$L(L-)$. Gauta vidutinė posūkio kampo vertė ir bus tas kampas, kuriuo reikia pasukti dešinįjį fragmentą, kad būtų suvienodinti abiejų fragmentų posūkio kampai.

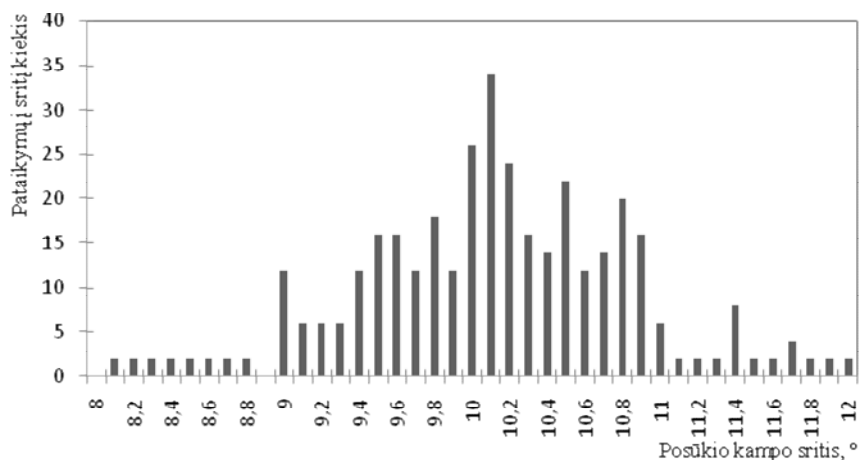
4.12 paveiksle pateiktas dviejų vaizdo fragmentų su susietais kampų taškais pavyzdys. Tarkime, norima nustatyti 4.12 paveiksle pateiktų fotožemėlapių

vaizdo fragmentų posūkio kampą. Šiame paveiksle pateiktų fragmentų posūkio kampai skiriasi 10° , o masteliai 10 %. Fragmentuose jau yra aptikti kampų taškai, iš kurių po 20 yra susieta. Vaizdumo dėlei, pateiktame paveiksle pavaizduoti tik susietieji kampų taškai ir jų sąsajos.



4.12 pav. Dviejų fotožemėlapių vaizdo fragmentų susietieji kampų taškai ir jų sąsajos

Norint apskaičiuoti paveiksle pateiktų fragmentų posūkio kampų skirtumą reikia šiems fragmentams užpildyti 4.1 pateiktą lentelę. Kadangi pateikti fragmentai turi po 20 susietųjų kampų taškų porų, lentelė turės $20(20-1)/2 = 180$ elementų. 4.13 paveiksle pateikta galimų kampų taškų jungčių lentelėje apskaičiuotų posūkio kampų skirtumų histograma.



4.13 pav. Kampų taškus jungiančių atkarpų posūkio kampų skirtumų histograma

Kaip matyti iš histogramos pateiktos 4.13 paveiksle, gaunami pakankamai stipriai nuo tikrojo posūkio kampo besiskiriantys posūkio kampai (standartinė deviacija $\sigma =$). Tačiau apskaičiuota vidutinė posūkio kampo vertė

$\Delta\Theta = 9,5^\circ$ pakankamai tiksliai atitinka tikrąjį vaizdo fragmentų posūkio kampų skirtumą.

4.3.5. Fragmento mastelio nustatymas

Nustatant vaizdo fragmentų mastelių skirtumą elgiamasi analogiškai kaip ir skaičiuojant fragmentų posūkio kampų skirtumą. Pirmiausia pildoma galimų kampų taškų jungčių lentelė. Šiuo atveju, vietoje jungčių atkarpų posūkio kampo skirtumų skaičiavimo, joje atliekamas jungčių ilgių santykių skaičiavimas. Kampų taškų jungčių ilgių santykiai apskaičiuojami pagal tokią išraišką:

$$z = \frac{\sqrt{\Delta x_k^2 + \Delta y_k^2}}{\sqrt{\Delta x_d^2 + \Delta y_d^2}}; \quad (4.13)$$

čia: – atitinkamų jungčių, tarp kampų taškų kairiajame ir dešiniajame vaizdo fragmentuose, ilgių santykis; Δx_k – x koordinatės skirtumas tarp jungiančiosios atkarpos pabaigos ir pradžios taškų kairiajame vaizdo fragmente;

Δx_d – x koordinatės skirtumas tarp jungiančiosios atkarpos pabaigos ir pradžios taškų dešiniajame vaizdo fragmente; Δy_k – y koordinatės skirtumas tarp jungiančiosios atkarpos pabaigos ir pradžios taškų kairiajame vaizdo fragmente;

Δy_d – y koordinatės skirtumas tarp jungiančiosios atkarpos pabaigos ir pradžios taškų dešiniajame vaizdo fragmente.

Apskaičiavus atitinkamų kairiojo ir dešiniojo fragmentų kampų taškus jungiančių atkarpų ilgių santykius, skaičiuojama vidutinė santykio vertė. Pagal apskaičiuotą vidutinį jungiančiųjų tiesių ilgių santykį, atliekamas vaizdo fragmentų mastelių suvienodinimas. Tokiu būdu skaičiuojant mastelį įvertinamos kiekvieno kampo taško koordinatės, o nustatyta mastelių santykio vertė yra tiksliausia.

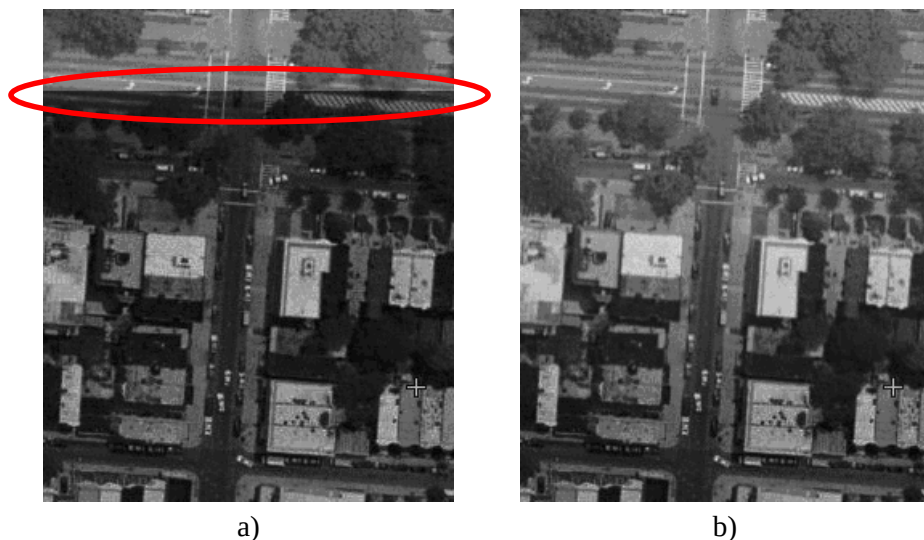
4.3.6. Fragmentų perslinkimo vienas kito atžvilgiu nustatymas

Fragmentų perslinkimo vienas kito atžvilgiu nustatymo uždavinys sprendžiamas jau po vaizdo fragmentų posūkio kampų ir mastelių suvienodinimo. Suvienodinus kampus ir mastelius, pagal atliktas transformacijas perskaičiuojamos ir susietųjų kampų taškų koordinatės. Vaizdo fragmentų

persislinkimas skaičiuojamas atskirai x ir y koordinatų ašyse. Skaičiavimas vykdomas analogiškai mastelių skirtumo skaičiavimui, tik vietoje kampų taškus jungiančių atkarpų ilgių santykių, skaičiuojami atstumai tarp susietųjų kampų taškų porų x ir y koordinatų. Perslinkimo skaičiavimas taip pat, kaip ir posūkio kampo bei mastelio nustatymas užbaigiamas vidutinės vertės suradimu. Tokiu būdu skaičiuojant perslinkimą įvertinamos kiekvieno kampo taško koordinatės.

4.3.7. Fragmentų apjungimas

Apskaičiavus fragmentų posūkio kampus, mastelius ir persislinkimą vienas kito atžvilgiu vykdomas pats vaizdo fragmentų apjungimas. Paprasčiausiai suvienodinus posūkio kampus, mastelius ir uždėjus vaizdus vienas ant kito pagal apskaičiuotą perslinkimą dviejų vaizdų sandūroje bus matoma sujungimo siūlė. Skirtingais laiko momentais užfiksuotų vaizdų tie patys taškai niekuomet nebus identiški. To priežastimi yra atmosferos pokyčiai, vaizdo fiksavimo atsitiktiniai triukšmai, objektyvo iškraipymai ir kiti faktoriai. Dalinai šiuos nesutapimus galima pašalinti (suvienodinti vidutinius skaisčius, atstatyti lęšių iškraipymus), tačiau atsitiktinius triukšmus eliminuoti nėra jokios galimybės. Problema sprendžiama sujungimo juostos ištempimu. Kadangi dalis vaizdo abiejuose fragmentuose persidengia atsiranda galimybė perėjimą nuo vieno vaizdo prie kito vietoje staigaus padaryti tolydžiu. Ištempimo operacijos metu palaipsniui, pagal pasirinktą funkciją keičiant vaizdų taškų įtaką, pereinama nuo vieno vaizdo dominavimo prie kito.



4.14 pav. Vaizdai apjungti be perėjimo funkcijos (a) ir su perėjimo funkcija (b)

4.14 paveiksle, a pavaizduotas dviejų vaizdo fragmentų su dirbtinai uždėtu triukšmu ir stipriai pakeistu vidutiniu skaisčiu, apjungimas be perėjimo funkcijos. Kaip matyti, ovalu pažymėta sujungimo siūlė yra labai ryški. 4.14 paveiksle, b pavaizduotas tų pačių iškraipytų vaizdų sujungimas su ištempimo funkcija. Čia sujungimo siūlė yra vizualiai nepastebima. Taigi šiuo metodu galima pašalinti net ir pačias ryškiausias sujungimo siūles.

4.4. Ketvirtojo skyriaus išvados

1. Automatizuotam didelių vaizdų, kuriuose yra daug smulkių kontrastingų objektų sudarymui iš mažesnių jų fragmentų būtina analizuoti vaizdų bendrąsias savybes fragmentuose.

2. Neesant vaizdo fragmentuose objektų, kurių būvimą vaizde galima prognozuoti, tikslus ir patikimas fragmentų apjungimas galimas tik esant daugkartiniam fragmentų persidengimui. Tas pats būdingas vaizdo taškas turi pasikartoti ne mažiau kaip 3 vaizdo fragmentuose.

3. Tiksliam ir patikimam gretimų vaizdo fragmentų sutapdinimui reikia ieškoti vaizdo fragmento turinyje esančių kampų taškų.

4. Vaizdo fragmente esančių kampų taškų paieškai geriausiai tinka *Harris–Plessey* kampų taškų nustatymo metodas.

5. Kampų taškų paieškos *Harris–Plessey* metodu metu vaizdo fragmente aptinkamas perteklinis kampų taškų kiekis, trukdantis sutampančių taškų susiejimui gretimuose fragmentuose.

6. Aptinkamų kampų taškų skaičių galima valdyti prognozuojama slenksčio funkcija, kurios vertė parenkama pagal kampuotumo žemėlapių taškų, turinčių aukštesnį už slenkstį skaisčių, procentinę dalį.

Rezultatų apibendrinimas

Dokumentai yra pagrindinė organizacijų komunikacijos priemonė, veiklos procesų transportas ir visa organizacijos atmintis. Dokumentų dėka skirtingas organizacijos funkcijas atliekantys padaliniai gali bendradarbiauti kurdami galutinį produktą. Glaudi sąsaja tarp organizacijos veiklos procesų ir dokumentų lėmė tai, kad dokumentų valdymo sistemoms buvo priskirtos ir veiklos procesų organizavimo funkcijos. Moderniose DVS dokumentu laikoma nuo kelių bitų apimties duomenų sekos iki tradicinio tekstinio dokumento arba vaizdinės bei garsinės medžiagos. Apribojimų dokumentų tipams panaikinimas išplėtė DVS taikymo sritį. Apžvelgiant literatūrą įsitikinta, kad DVS galima panaudoti specialios paskirties dokumentų bendrajam kūrimui. Blogiausiai specializuotiems dokumentams pritaikytos DVS funkcijos yra saugojimas, perdavimas ir automatizuotas įvedimas. Disertacijoje buvo tiriamos specializuotuose dokumentuose esančių vaizdų saugojimo ir perdavimo DVS galimybės bei sukurti automatizuoto vaizdų įvedimo į DVS metodai. Darbo metu gauti šie rezultatai:

1. Įrodyta, kad vaizdų, kuriuose iškraipymai yra neleistini, glaudinimui geriausiai tinka JPEG LS glaudinimo metodas, leidžiantis pasiekti vidutinį

vaizdų glaudinimo santykį 1:2, o vaizdų iškvietimo pagreitinimui reikia naudoti vaizdo žemėlapius.

2. Glaudinimo efektyvumo tyrimui buvo sukurtas vaizdų kokybės palyginimo metodas, įvertinantis net mažiausias vaizde esančias klaidas. Taikant pasiūlytą metodą pasiekiamas dvejopas rezultatas. Skaitinė vidutinės eksponentinės klaidos vertė leidžia kiekybiškai palyginti su praradimu glaudinančių algoritmų į vaizdą įnešamą klaidą. Klaidų pasiskirstymas vaizde – klaidos žemėlapis, leidžia stebėti, kuriose vaizdų srityse atsiradusi nesuvidurkinta eksponentinė klaida yra didžiausia. Vaizdų žemėlapis leidžia visapusiškai analizuoti vaizdų glaudinimo specifiką.

3. Analizė parodė, kad geriausiai glaudinami vaizdai, kuriuose yra daug sričių su lėtai kintančiu arba pastoviu intensyvumu. Tokiomis savybėmis pasižymi medicinine įranga gauti vaizdai. Atlikus vaizdų glaudinimo tyrimą nustatyta, kad be praradimo glaudintuose vaizduose didžiausias glaudinimo santykis, vidutiniškai 1:2, gaunamas vaizduose, glaudintuose JPEG LS metodu. Su informacijos praradimu glaudintuose vaizduose geriausia kokybė yra JPEG 2000 metodu glaudintuose vaizduose, bet tik tuo atveju, kai glaudinimo santykis didesnis už 1:5.

4. Nustatyta, kad medicininiiais įrenginiais gautus vaizdus reikia glaudinti tik be informacijos praradimo glaudinančiais algoritmais. Be praradimo glaudintų vaizdų glaudinimo santykis nedidelis, vidutiniškai 1:2. Jie perduodami lėtai ir tai trukdo bendrojo naudojimo darbą realiuoju laiku. Vaizdo perdavimui greičiau nei 10 s reikia naudoti vaizdo žemėlapius. Dideliu glaudinimo santykiu glaudintas vaizdo žemėlapis leidžia pasirinkti vaizdo sritį, kuri turi būti siunčiama pirmiausiai. Taip sudaroma galimybė anksčiau pradėti vaizdo analizę. Perteklinės informacijos kiekis, naudojant vaizdo žemėlapius, sumažinamas pritaikius skurtuminio vaizdo metodą. Metodas veiksmingas tik ribotame vaizdo žemėlapio glaudinimo santykių diapazone. Skurtuminio vaizdo metodas leidžia pašalinti iki 50 % dėl vaizdo žemėlapio perdavimo atsirandančios perteklinės informacijos.

5. Įrodyta, kad mažo kontrastingumo didelių vaizdų, sukurtų medicininiiais įrenginiais, įvedimui į DVS taikytinas vaizdo fragmentų apjungimo į vieną didelį vaizdą metodas. Tokių vaizdų sudarymui iš fragmentų būtina naudoti kartu su vaizdu sukuriamas dirbtines žymas.

6. Pasiūlyta medicininių rentgeno vaizdų fragmentų automatiniam apjungimui į vaizdą įterpti dirbtines žymas – metalinę juostelę su stačiakampėmis kiaurymėmis. Tokios, į registruojamo vaizdo fragmentus įterptos, žymos sudaro galimybę automatiškai nustatyti vaizdo fragmentų posūkio kampą, mastelio skirtumus ir tarpusavio perstūmimą. Fragmentų tarpusavio perslinkimo nustatymo operacija turi būti vykdoma tik po mastelių ir posūkio kampų vaizdo fragmentuose suvienodinimo. Vaizdo fragmentų posūkio kampai geriausiai nustatomi analizuojant dirbtinių žymų juostos stačiakampių kiaurymių spektrus,

mastelių skirtumai palyginami pagal stačiakampių žymų plotus. Tarpusavio perslinkimas nustatomas pagal persidengiančioje fragmentų srityje apskaičiuotus tikėtino perslinkimo koreliacijos koeficientus.

7. Įrodyta, kad didelius vaizdus su smulkiais ir kontrastingais objektais įvedant į DVS taip pat taikytinas vaizdo fragmentų apjungimo į vieną didelį vaizdą metodas. Tokių vaizdų sudarymui iš fragmentų dirbtinės žymos netinka, būtina analizuoti vaizdo fragmentų turinį ir nustatyti charakteringuosius bruožus.

8. Nustatyta, kad tikslus ir patikimas vaizdo fragmentų apjungimas pasirinkus charakteringaisiais bruožais galimas tik, kai fragmentai persidengia daug kartų. Tinkamiausi, vaizdo fragmentų apjungimui, charakteringieji bruožai yra vaizde esantys kampai. Atliekant vaizdo fragmentų sutapdinimą pagal kampų taškus pritaikytas *Harris–Plessey* metodas. Taikant šį metodą būtina valdyti fragmente aptinkamų kampų taškų skaičių, todėl *Harris–Plessey* metodą reikia papildyti prognozuojama slenksčio funkcija.

Literatūros sąrašas

- [1] Sutton M. J. D. Document Management for the Enterprise: Principles, Techniques, and Applications. *John Wiley & Sons*, 1996, p. 3–23.
- [2] Carzaniga A.; Wolf, A. L. Content-based networking: A new communication infrastructure. *In NSF Workshop on an Infrastructure for Mobile and Wireless Systems*. Vol. 2538, 2001, p. 59–68.
- [3] Morschheuser, S.; Raufer, R.; Wargitsch, C. Challenges and Solutions of Document and Workflow Management in an manufacturing enterprise a case study. *Proceedings of the 29th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*. Vol. 5, 1996, p. 4–12.
- [4] Glushko, R. J.; McGrath, T. Introduction. Document engineering: Analyzing and designing documents for business informatics and web services. *Cambridge, MIT Press*. 2005, p. 4–36.
- [5] Oapos, M. Buried in documents? *Engineering Management Journal*. Vol. 10, 2000, p.241 – 243;

- [6] Benevolo C.; Negri S. Evaluation of Content Management Systems (CMS): a Supply Analysis. *Electronic Journal of Information Systems Evaluation*. Vol. 10, 2007, p. 9–22.
- [7] Amato G.; Gennaro C.; Savino, P.; Rabitti F. Functionalities of a Content Management System specialised for Digital Library Applications. *AVIVDiLib'05, 7th International Workshop of the EU NoE DELOS on Audio–Visual Content and Information Visualisation in Digital Libraries*. 2005.
- [8] Karjalainen, A.; Päivärinta, T.; Tyrväinen, P.; Rajala, J. Genre–Based Metadata for Enterprise Document Management. *System Sciences, Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference*. Vol. 2, 2000, 10 p.
- [9] Park, H. Y.; Yoo, S. I. Implementation of checkout/checkin mechanism on object–oriented database systems. *Database and Expert Systems Applications, Seventh International Workshop*. 1996 p. 298–303.
- [10] Yusoff, A. M.; Sidhu, M. S. Paperless in the electronic era: millennium dream and reality Computer Supported Cooperative Work in Design, *The Sixth International Conference*. 2001 p. 536–541.
- [11] King, N. Pursuing the paperless office. *Computer User*. Vol. 20, 2001. p. 42.
- [12] Meier, J.; Sprague, R.; Towards a better understanding of electronic document management System Sciences. *Proceedings of the Twenty–Ninth Hawaii International Conference*. Vol. 5, 1996, p.53–61.
- [13] Volarevic, M.; Strasberger, V.; Pacelat, E. A philosophy of the electronic document management. *Proceedings of the 22nd International Conference Information Technology Interfaces*. 2000, p. 141–146.
- [14] U.S Document Outsourcing Market Forecast: 2004–2009. *InfoTrends' report*. Nuoroda internete: <http://www.capv.com/public/Content/INFOSTATS/Articles/2006/02.07.2006.html> (žiūrėta 2008.10.20)
- [15] Grigonienė, R. Dokumentų valdymo sistemos informacinių technologijų amžiuje. *Biuro administravimas*. Vol. 4, 2008, p. 25–30.

- [16] Lietuvos Respublikos elektroninio parašo įstatymas. *Žin.*, 2000, Nr. 61–1827.
- [17] Sauliūnas D. Elektroninis parašas: evoliucija ar revoliucija? *Justitia*. Vol. 27, 2000, p. 28–29.
- [18] Dick, R. S.; Steen, E. B.; Detmer, D. E. The Computer–Based Patient Record: An Essential Technology for Health Care, Revised Edition. *National academy press*. 1997, p. 52–73.
- [19] Kohn, D. Electronic document management systems: an overview. *Top Health Inf Manage*. Vol. 23, 2002, p. 1–6.
- [20] Kia O. E. Document image compression and anglysis. *Doctoral Thesis, University of Maryland at College Park*. 1997.
- [21] ACR/NEMA. DICOM: Digital Imaging and Communications in Medicine. *NEMA publications*. 2001.
- [22] Riesmeier, J.; Eichelberg, M.; Lemoine, D.; Punys, V.; Balogh, N.; Jensch, P.; Punys, J. DICOM Extensions for Narrow–Band Networks. *Information technology and control*. Vol. 21, 2001, p. 43–46.
- [23] Vlajic, N.; Card, H. C.; Kunz, T. Image–compression for wireless World Wide Web browsing: a neural network approach. *Proceedings of the IEEE–INNS–ENNS International Joint Conference*. Vol. 1, 2000, p. 169–174.
- [24] Image file formats. Wikipedia, the free encyclopedia. Nuoroda internete: http://en.wikipedia.org/wiki/Image_formats (žiūrėta 2008.10.20)
- [25] Hankerson, D.; Harris, G. A.; Johnson, P. D. Introduction to Information Theory and Data Compression (Second Edition). *CHAPMAN&Hall/ CRC Press Company*, 2003.
- [26] Fränti, P.; Nevalainen, P.; Kaukoranta, P. Compression of Digital Images by Block Truncation Coding: A survey. *The Computer Journal*. Vol. 37, 1994, p. 308–332.
- [27] Jackson, D.J.; Hannah, S.J. Comparative analysis of image compression techniques System Theory. *Proceedings SSST apos*. 1993, p.513–517.

- [28] Delgorge C., Vieyres P., Poisson G., Rosenberger C., Arbeille P. Comparative survey of ultrasound images compression methods dedicated to a tele–echography robotic system. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. 2001.
- [29] Welch, T. A. A technique for high–performance data compression. *IEEE Computer Society Press*. Vol. 17, 1984, p. 8–19.
- [30] Graphics Interchange Format. *Programming Reference*. 1990. Nuoroda internete: <http://www.w3.org/Graphics/GIF/spec-gif89a.txt> (žiūrėta 2008.10.20)
- [31] Roelofs, G. *PNG: The Definitive Guide*. O'Reily & associates. 1999, p.121–159.
- [32] Portable Network Graphics (PNG) Specification. *Functional specification*. ISO/IEC 15948:2002 (E). Nuoroda internete: <http://www.w3.org/TR/2003/PR-PNG-20030520/> (žiūrėta 2008.10.20)
- [33] JPEG Standard (JPEG ISO/IEC 10918–1 ITU–T Recommendation T.81). Nuoroda internete: <http://www.w3.org/Graphics/JPEG/itu-t81.pdf>. (žiūrėta 2008.10.20)
- [34] Wallace, G. K.; The JPEG Still Picture Compression Standard. *Communications of the ACM*. Vol. 34, 1991, p. 30–44.
- [35] Weinberger, M. J.; Seroussi, G. The LOCO–I Lossless Image Compression Algorithm: Principles and Standardization into JPEG–LS, *IEEE Transactions On Image Processing*. Vol. 9, 2000, p. 1309–1324.
- [36] Lossless and near–lossless coding of continuous tone still images (JPEG–LS), ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1 FCD 14495 – public draft, 1997. Nuoroda internete: <http://www.jpeg.org/public/fcd14495p.pdf> (žiūrėta 2008.10.20)
- [37] Marcellin, M. W.; Gormish, M. J.; Bilgin, A.; Boliek, M. P. An Overview of JPEG–2000. *Proc. of IEEE Data Compression Conference*. 2000, p. 523–541.

-
- [38] Skodras, A.; Christopoulos, C.; Ebrahimi, T. The JPEG 2000 still image compression standard. *IEEE Signal Processing Magazine*. Vol. 18, 2001, p. 36–58.
- [39] Puentes, J.; Lorenzo, D.G. Performance Evaluation of JPEG 2000 for Specialized Electronic Patient Record Exchanges. *Engineering in Medicine and Biology Society, 27th Annual International Conference*. 2005, p. 3775–3778.
- [40] Adams, M.D.; Kossentini, F. JasPer: a software-based JPEG–2000 codec implementation. *Proceedings of International Conference Image Processing 2000*. Vol. 2, 2000, p. 53–56.
- [41] Wang, Z.; Bovik A. C.; Lu, L. Why is image quality assessment so difficult? *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, & Signal Processing*. Vol. 4, 2002.
- [42] Ahmet, M.; Paul, S. Image quality measures and their performance, *IEEE Transactions on Communications*. Vol. 43, 1995, p. 2959–2965.
- [43] Eskicioglu, A. M. Quality Measurement for Monochrome Compressed Images in the Past 25 Years. *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)*. Vol. 4, 2000, p. 1907–1910.
- [44] Saffor, A.; Ramli, A. R.; Ng, K. H.; Dowsett, D. Objective and Subjective Evaluation of Compressed Computed Tomography (CT) Images. *The Internet Journal of Radiology*. Vol. 2, 2002.
- [45] Saffor, A.; Ramli, R.; Ng, K. A comparative study of image compression between JPEG and Wavelet. *Malaysian Journal of Computer Science*. Vol. 14, 2001, p. 39–45.
- [46] Ivakovic, G.; Sankar, R. An algorithm for image quality assessment. *Acoustics, Speech, and Signal Processing, Proceedings of IEEE International Conference ICASSP*. Vol. 3, 2004, p. 713–16.
- [47] Pappas, T. N.; Safranek, R. J. Perceptual criteria for image quality evaluation. *Handbook of Image and Video Processing*. 2000.

- [48] Teo, P.; Heeger, D. Perceptual Image Distortion., Perceptual Image Distortion. *First IEEE International Conference on Image Processing*. Vol. 2, 1994, p. 982–986.
- [49] Zhenghua, Y.; Wu, H.R. Human visual system based objective digital video quality metrics. *Signal Processing Proceedings, WCCC–ICSP, 5th International Conference*. Vol. 2, 2000, p. 1088–1095.
- [50] Westen, S. J. P.; Lagendijk, R. L.; Biemond J. Perceptual image quality based on a multiple channel HVS model. *International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*. Vol. 4, 1995, p. 2351–2354.
- [51] Lai, Y. K.; Kuo, C.–C. J. A Haar wavelet approach to compressed image quality measurement. *Journal of Visual Communication and Image Representation*. Vol. 11, 2000, p. 17–40.
- [52] Egiazarian, K.; Astola, J.; Ponomarenko, N.; Lukin, V.; Battisti, F.; Carli, M. Two new full–reference quality metrics based on HVS, *Proceedings of the Second International Workshop on Video Processing and Quality Metrics for Consumer Electronics*. 2006, 4 p.
- [53] Lee, H.; Haynor, D.; and Kim, Y. Subjective evaluation of compressed image quality. *Proc. SPIE, Image Capture, Formatting and Display*. 1992, p. 241–25.
- [54] Sayre, J.; Gray, R.; Dwyer, S. Effect of data compression on diagnostic accuracy in digital hand and chest radiography. *Proc. SPIE, image capture, formatting and display*. 1992; p. 232–240.
- [55] VQEG, Final report from the video quality experts group on the validation of objective models of video quality assessment, <http://www.vqeg.org>, 2000.
- [56] Martens, J. B.; Meesters, L. Image dissimilarity. *Signal processing*. Vol. 70, 1998, p 155–176.
- [57] Sakuldee, R.; Udomhunsakul, S. Objective Performance of Compressed Image Quality Assessments. *International Journal of Computer Science*. Vol. 2, 2007, p. 358–267.

-
- [58] Mrak, M.; Grgic, S.; Grgic, M.' Picture Quality Measures in Image Compression Systems. *Proceedings of the IEEE Region 8 EUROCON 2003*. Vol. 1, 2003, p. 233–237.
- [59] Wang, Z.; Bovik, A. C. Modern Image Quality Assessment. *Synthesis Lectures on Image, Video & Multimedia Processing*, Morgan & Claypool Publishers. 2006.
- [60] Uyttendaele, M.; Eden, A.; Skeliski, R. Eliminating ghosting and exposure artifacts in image mosaics. *Computer Vision and Pattern Recognition, 2001*. Vol. 2, 2001, p. 509–516.
- [61] Szeliski, R.; Shum, H. Y. Creating full view panoramic image mosaics and texture-mapped models. *Computer Graphics (SIGGRAPH'97 Proceedings)*. 1997, p. 251–258.
- [62] Brown, M.; Lowe, D. G. Automatic panoramic image stitching using invariant features. *International Journal of Computer Vision*. Vol. 74, 2007, p. 59–73.
- [63] Linhong, Y.; Hirakawa, M.A. Stitching algorithm of still pictures with camera translation. *Cyber Worlds 2002. Proceedings. First International Symposium*. 2002, p.176–182.
- [64] Prejmerean, V. The Stitching of Images. *Automation, Quality and Testing, Robotics*. Vol. 2, 2006, p. 386–391.
- [65] Perko, R; Computer vision for large format digital aerial cameras. *Dissertation. Graz university of technology*. 2004, 158 p.
- [66] Gruber, M.; Perko, R.; Ponticelli, M. The all digital photogrammetric workflow: redundancy and robustness. *XX congress ISPRS*. 2004.
- [67] Paul, Y.; Green, O.; Green, B. A Kite and Teleoperated Vision System for Acquiring Aerial Images. *Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics & Automation*. 2003, p. 1404–1409.
- [68] Werner, T.; Automated Matching of Aerial Images. *Proceedings of informatics systems conference*. 1995, p. 52–57.

- [69] Isgro F.; Pilu M. A.; Fast and robust image registration method based on an early consensus paradigm. *Pattern Recognition Letters*. Vol. 25, 2004, p. 943–954.
- [70] Liang, J.; DeMenthon, D.; Doermann, D. Camera-Based Document Image Mosaicing. *ICPR*. Vol. 2, 2006, p. 476–479.
- [71] Kumar, G. H.; Shivakumara, P.; Guru, D. S.; Nagabhushan, P. Document image mosaicing: A novel approach. *Sadhana*. Vol. 29, 2004, p. 329–341.
- [72] Ursulean, R.; Lazar, A.M.; Segmentation of electroencephalographic signals using an optimal orthogonal linear prediction algorithm. *Electronics and Electrical Engineering*. Vol. 72, 2007, p. 73–76.
- [73] Mikelaitytis, V.; Martavičius, R.; Zitkevicius, E; Wavelet analysis of human brain CT images with ischemic stroke region. *Electronics and Electrical Engineering*. Vol. 64, 2005, p. 73–78.
- [74] Navickas, Z.; Statkus, V.; Vainoras, A.; Gargamas, L; Evaluation of dimensijon of integral correlation for ECG. *Electronics and Electrical Engineering*. Vol. 61, 2005, p. 67–69.
- [75] Yapek, M.; Wegenkittl, R.; Felkel, P; A Fully automatic stitching of 2D medical data sets. *Medical imaging and image analysis. Proceedings of 16th biennial international Eurasip conference Biosignal 2002*. 2002, p. 326–328.
- [76] Gooßen, A.; Hensel M.; Schlüter, M.; Pralow, T.; Grigat, R. Ruler-Based Automatic Stitching of Spatially Overlapping Radiographs. *Bildverarbeitung für die Medizin 2008: Algorithmen, Systeme, Anwendungen. Series: Informatik aktuell*. 2008, p. 192–196.
- [77] Cheung, W.; Hamarneh, G. N-Sift: N-dimensional Scale Invariant Feature Transform for Matching Medical Images. *Biomedical Imaging: From Nano to Macro*. 2007 p. 720–723.
- [78] Reeff, M.; Gerhard F.; Cattin P.; Szekely, G. Mosaicing of Endoscopic Placenta Images, *Informatik 2006: Informatik für Menschen*. Vol. 93, 2006, p. 467–74.
- [79] Meehan, J. Panoramic photography. *Watson–Guptill*. 1990, 144 p.

-
- [80] Chen, C.-Y.; Klette, R. Image Stitching – Comparisons and New Techniques. *Proceedings of the 8th International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns*. 1999, p. 615–622.
- [81] Szeliski, R.; Image alignment and stitching: A tutorial. *Microsoft Technical Report*. Vol. 92, 2004.
- [82] Paragios, N.; Chen, Y.; Faugeras, O. Handbook of Mathematical Models in *Computer Vision*. Vol. 34, 2006, p. 277–283.
- [83] Zitova, B.; Flusser, J. Image registration methods: a survey. *Image and Vision Computing*. Vol. 21, 2003, p. 977–1000.
- [84] Torr, P.; Zisserman, A. Feature Based Methods for Structure and Motion Estimation. *Vision Algorithms: Theory and Practice*. Vol. 1883, 1999, p. 278–294.
- [85] Kouzani, A.Z.; Ong, S.H. A non-parametric area-based method to identify matched pixels. *Control, Automation, Robotics and Vision, 7th International Conference*. Vol. 2, 2002, p. 692–697.
- [86] Berger, M.; Gerig, G. Deformable Area-based Template Matching with Application to Low Contrast Imagery. *Technical report BIWI-ETH*. Vol. 184, 1998, p. 149–165.
- [87] Banon, G. J. F.; Faria, S. D. Area based matching algorithm assessment from satellite images. *8th European Congress for Stereology and Image Analysis*. 2001, p. 573–577.
- [88] Mount, D. M.; Netanyahu, N. S.; Moigne, J. Efficient algorithms for robust feature matching, *Pattern Recognition*. Vol. 32, 1998, p. 17–28.
- [89] Bergen, J.; Anandan, P.; Hanna, K.; Hingorani, R. Hierarchical Model-Based Motion Estimation. *In European Conference on Computer Vision*. 1992, p. 237–252.
- [90] Lucas B. D.; Kanade, T. An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision. *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI '81)*. 1981, p. 674–679.

- [91] D. Capel and A. Zisserman. Automated mosaicing with super-resolution zoom. In *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 885–891, Santa Barbara, June 1998.
- [92] Brown M.; Lowe, D. Recognising Panoramas. In *IEEE International Conference in Computer Vision*. 2003, p. 1218–1225.
- [93] Haralick, R.M.; Shapiro, L.G. *Computer and Robot Vision*, Addison–Wesley. 1992, p. 630.
- [94] Rodehorst, V.; Koschan, A. Comparison And Evaluation Of Feature Point Detectors. In: *Proc. of the 5th Int. Symposium – Turkish–German Joint Geodetic Days*. 2006, p. 8.
- [95] Cooke, T.; Whatmough, R; Evaluation of Corner Detectors for Structure from Motion Problems. *Digital Image Computing: Techniques and Applications*. Vol. 05, 2005, p. 77.
- [96] Moravec, H. P. Towards Automatic Visual Obstacle Avoidance. *Proceedings of the 5th IJCAI*. 1977, p. 584.
- [97] Moravec, H. P.; Visual Mapping by a Robot Rover. *International Joint Conference on Artificial Intelligence*. 1979 p. 598–600.
- [98] Harris C.; Stephens M. A. Combined Corner and Edge Detector. *Proceedings of The Fourth Alvey Vision Conference*. 1988, p. 147–151.
- [99] Mokhtarian, F.; Suomela, R. Robust image corner detection through curvature scale space. *Pattern Analysis and Machine Intelligence*. Vol. 20, 1998, p. 1376–1381.
- [100] Smith S.; Brady J. A. New approach to low-level image processing. *International Journal of Computer Vision*. Vol. 23, 1997, p. 45–78.
- [101] Schmid, C.; Mohr, R; Bauckhage, C. Evaluation of interest point detectors. *Int. Journal of Computer Vision*. 2000, Vol. 37, p. 151–172.
- [102] Mohanna F.; Mokhtarian F. Performance Evaluation of Corner Detection Algorithms under Similarity and Affine Transforms. *Proceedings of the British Machine Vision Conference*. 2001, p. 353–362.

- [103] Lowe, D. G.; Object recognition from local scale-invariant features. *The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference* vol. 2, p. 1150–1157.
- [104] Bay, H.; Tuytelaars, T.; Gool, L. V. Speeded-Up Robust Features (SURF). *Computer Vision and Image Understanding archive*. Vol. 110, 2008, p. 346–359.
- [105] Bauer, J.; Sünderhauf, N.; Protzel, P. Comparing Several Implementations of Recently Published Feature Detectors. *Proc. of the International Conference on Intelligent and Autonomous Systems*. 2007, p. 130–136.

Autoriaus publikacijų sąrašas disertacijos tema

Straipsniai mokslo žurnaluose, referuojamuose Mokslinės informacijos instituto (ISI) duomenų bazėse:

- [A1] Mateika, D.; Martavičius, R. 2008. Large image formation using Harris–Plessey corner detection algorithm, *Electronics and Electrical Engineering* 5(85): 21–24. ISSN 1392–1215 (Thomson ISI Web of Science).
- [A2] Mateika, D.; Martavičius, R. 2007. A fully automatic stitching of 2D X-ray images, *Electronics and Electrical Engineering* 8(80): 3–8. ISSN 1392–1215 (Thomson ISI Web of Science).

Straipsniai mokslo žurnaluose, referuojamuose kitose pripažintose tarptautinėse duomenų bazėse, kurių sąrašą sudarė Lietuvos mokslo taryba:

- [A3] Mateika, D.; Martavičius, R. 2007. Analysis of the compression ratio and quality in aerial images, *Aviation* 4(11): 24–28. ISSN 1648–7788 (Compendex).
- [A4] Mateika, D.; Martavičius, R. 2006. Analysis of the compression ratio and quality in medical images, *Information Technology and Control* 4(35): 419–423. ISSN 1392–124X (INSPEC).

Straipsniai kituose recenzuojamuose žurnaluose:

- [A5] Mateika, D., Martavičius, R. 2007. Large image formation technologies, in *the Proceedings of the 30th International Conference on Fundamentals of Electrotechnics and Circuit Theory - IC-SPETO 2007*, 91–92. ISBN 978-83-85940-29-6.

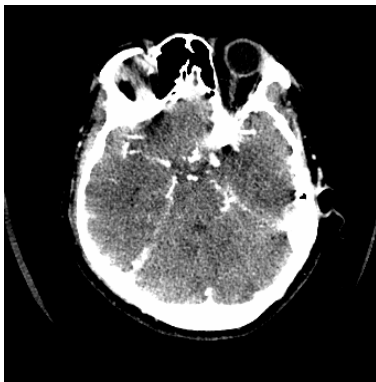
Straipsniai kituose leidiniuose:

- [A6] Mateika, D. 2005. Informacijos valdymas šiuolaikiškose kompanijose, iš ELEKTRONIKA IR ELEKTROTECHNIKA. 8-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“, įvykusios Vilniuje 2005 m. kovo 18 d., pranešimų medžiaga. 29–35. ISBN 9986-936-4.
- [A7] Mateika, D. 2005. Analysis of the shared document creation and usage systems, iš ELEKTRONIKA IR ELEKTROTECHNIKA. 8-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“, įvykusios Vilniuje 2005 m. kovo 18 d., pranešimų medžiaga. 77–80. ISBN 9986-936-4.

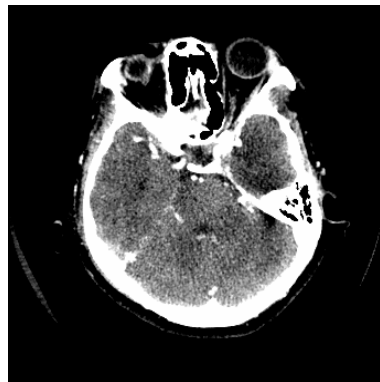
PRIEDAS

Tyrimuose naudoti vaizdai

1. Medicininių vaizdų glaudinimo tyrimui panaudotas vaizdų rinkinys



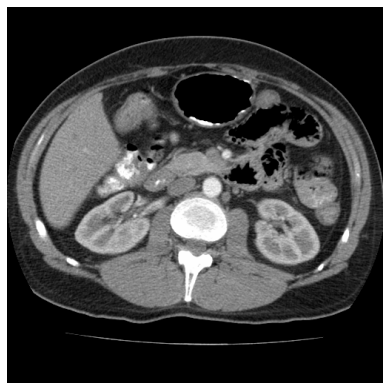
1.1 pav.



1.2 pav.



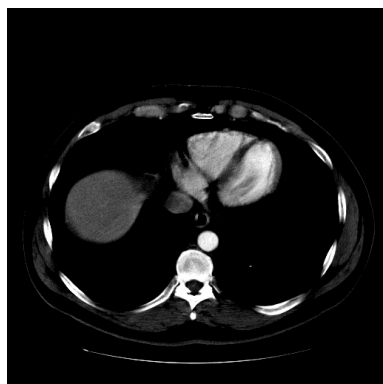
1.3 pav.



1.4 pav.



1.5 pav.



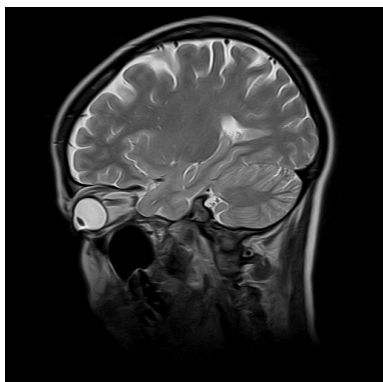
1.6 pav.



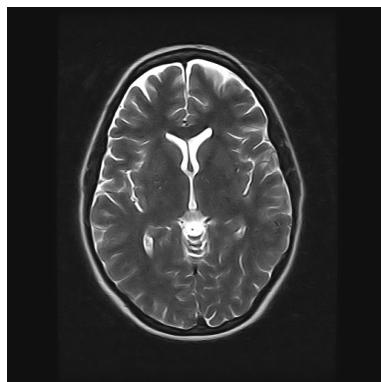
1.7 pav.



1.8 pav.



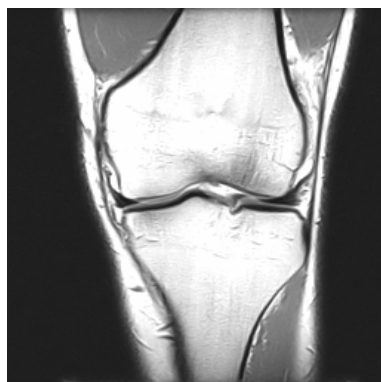
1.9 pav.



1.10 pav.



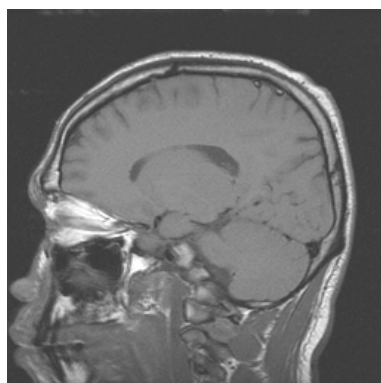
1.11 pav.



1.12 pav.



1.13 pav.



1.14 pav.



1.15 pav.



1.16 pav.



1.17 pav.



1.18 pav.



1.19 pav.

2. Fotožemėlapių vaizdų glaudinimo tyrimui panaudotas vaizdų rinkinys



2.1 pav.



2.2 pav.



2.3 pav.



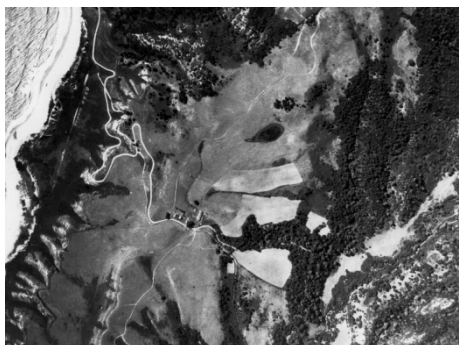
2.4 pav.



2.5 pav.



2.6 pav.



2.7 pav.



2.8 pav.

3. Didelių fotožemėlapių vaizdų sudarymo tyrimui panaudotas vaizdų rinkinys



3.1 pav.



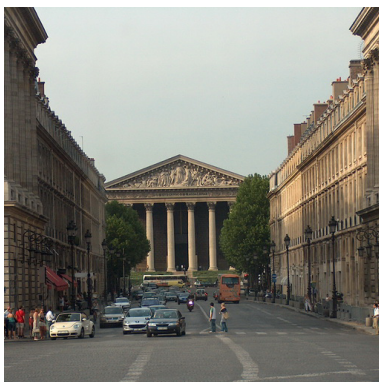
3.2 pav.



3.3 pav.



3.4 pav.



3.5 pav.

4. Didelių fotožemėlapių vaizdų sudarymo tyrimui panaudotas vaizdų rinkinys



4.1 pav.



4.2 pav.



4.3 pav.



4.4 pav.



4.5 pav.



4.6 pav.



4.7 pav.

Darius Mateika

SPECIALIOS PASKIRTIES DOKUMENTŲ
BENDRO KŪRIMO IR NAUDOJIMO
ELEKTRONINĖS SISTEMOS TYRIMAS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai, elektros ir elektronikos inžinerija (01T)

ANALYSIS OF THE ELECTRONIC SYSTEM
DEDICATED FOR SHARED CREATION
AND USAGE OF SPECIALIZED DOCUMENTS

Doctoral Dissertation

Technological Sciences, Electrical and Electronic Engineering (01T)

2008 11 18. 11,5 sp. l. Tiražas 20 egz.

Vilniaus Gedimino technikos universiteto leidykla „Technika“,

Saulėtekio al. 11, LT–10223 Vilnius, <http://leidykla.vgtu.lt>

Spausdino UAB „Baltijos kopija“, Kareivių g. 13B, 09109 Vilnius,

<http://www.kopija.lt>