

VILNIAUS UNIVERSITETAS
MATEMATIKOS IR INFORMATIKOS FAKULTETAS
PROGRAMŲ SISTEMŲ BAKALAURO STUDIJŲ PROGRAMA

Grafinis objektų atpažinimas

Graphic Object Detection

Bakalauro darbas

Atliko:	Kazimieras Povilas Maceika	(parašas)
Darbo vadovas:	lekt. dr. Tomas Plankis	(parašas)
Darbo recenzentas:	j. asist. Rokas Astrauskas	(parašas)

Vilnius – 2020

Santrauka

Šiame darbe yra nagrinėjami populiarūs binarizacijos ir objektų atpažinimo metodai ir tiriamas binarizacijos metodų poveikis nagrinėtiems objektų atpažinimų metodams.

Ląstelėms auginti skirtos formos yra naudojamos įvairiems bandymams ir tam jos turi būti nepažeistos. Jų suradimą ir atpažinimą nuotraukose galima automatizuoti įvairiais objektų atpažinimo metodais. Šių metodų veiksmingumą galima bandyti pagerinti prieš tai nuotraukas binarizuojant, tačiau tai nebūtinai padidins veiksmingumą.

Įvykdytame tyrime buvo surasta, kad geros kokybės nuotraukoms rezultatus pagerina tik Otsu binarizacijos metodas, o prastos kokybės nuotraukoms binarizacijos metodai rezultatas pablogina.

Raktiniai žodžiai: binarizacija, binarizacijos metodai, grafinis objektų atpažinimas, grafinio objektų atpažinimo metodai

Summary

In this paper popular binarization and object detection methods are examined and the effect of binarization method on object detection methods is evaluated.

Forms used for cell growth are used for various experiments and they must not be damaged. Their detection can be automated with various object detection methods. The effectiveness of these methods can be enhanced by binarizing the images, although that does not guarantee better results.

The experiment concluded that for decent quality images Otsu binarization method was the only one which produced better results. For low quality pictures, usage of binarization methods produced worse results.

Keywords: binarization, binarization method, graphic object detection, graphic object detection methods

TURINYS

ĮVADAS	5
1. VAIZDO PARUOŠIMAS	7
1.1. Otsu metodas	7
1.2. Niblack ir Sauvola metodai	8
1.3. Feng metodas	9
1.4. Wolf metodas	9
1.5. Gatos metodas	10
1.6. Binarizacijos metodų apibendrinimas	11
2. VAIZDŲ ATPAŽINIMAS	14
2.1. Panašumo apskaičiavimas	14
2.1.1. Kvadratinų skirtumų sumos metodas	14
2.1.2. Absoliučių skirtumų sumos metodas	15
2.1.3. Normalizuotos kryžminės koreliacijos metodas	15
2.2. Šablono atitikties suradimas	16
2.2.1. Tradicinis metodas	16
2.2.2. Pilkumo tono metodas	16
2.2.3. Ribų aptikimo metodas	16
2.2.3.1. Sobel metodas	17
2.2.3.2. Prewitt metodas	17
2.2.3.3. Canny metodas	18
2.3. Dėmių suradimas	19
2.3.1. Laplasianinis Gauso filtras	20
2.3.2. Hessian metodas	20
2.3.3. Lindebergo baseino metodas	21
2.4. Apibendrinimas	21
3. BANDYMAS	24
REZULTATAI	26
IŠVADOS	28
LITERATŪRA	29
SANTRUMPOS	31
PRIEDAI	31
1 priedas.	32

Įvadas

Ląstelių auginimas yra sudėtingas procesas, galintis atnešti daug permąnų tokiose srityse, kaip medicina ir agrikultūra. Šio proceso sudėtingumas pasireiškia tuo, kad vidutinės ląstelės yra tik 10-20 mikrometrų (10^{-6} metro) dydžio[SS06] ir, nors yra atliekama daug bandymų, apie ląsteles yra dar daug nežinoma.

Morfogenezė (angl. morphogenesis) yra biologinis procesas atsakingas už ląstelės formos sudarymą. Ląstelės forma yra labai svarbi jos charakteristika, nes priklauso nuo jos, keičiasi pačios ląstelės vidinė struktūra, ji gali suplonėti, pailgėti, susilenkti, keičiasi jos sukibimas su kitomis ląstelėmis ir dėl to ji gali ne taip gerai ar net geriau grupuotis su kitomis ląstelėmis. Audiniai, sudaryti iš specifinės formos ląstelių, gali pasireikšti kitokiomis savybėmis. Yra pastebėta, kad augalų ląstelės pakeičia savo formą (sumažina dydį, pastorina sienelės) sausros metu, nes tai padeda išgyventi[CRL06].

Ląstelių auginimas, norint pasiekti tam tikrą jų formą, yra sudėtingas procesas, reikalaujantis didelio tikslumo, nepasiekiamo žmogui. Visi procesai yra atliekami mašinų. Tačiau, net ir viską atliekant mašinoms, rezultatas gali būti brokuotas. Dėl mažo ląstelių dydžio, jų auginimui paruoštos specialios formos gali būti iškraipytos, nutrintos, arba išvis nepadengtos. Bandymai su prastai paruoštomis formomis kainuoja prarastą laiką bei pinigus.

Kad būtų galima išvengti laiko ir piniginių nuostolių, yra daromos ląstelėms auginti paruoštų formų makro fotografijos, kuriose galima matyti ar formos yra tokios, kokių reikia, ir ar yra kokių nors matomų defektų. Tačiau, tokių nuotraukų peržiūrėjimas užtrunka daug laiko ir reikalauja žmogiškųjų resursų. Šio proceso automatizavimui galima pasitelkti vaizdų apdorojimą.

Yra įvairių vaizdo apdorojimo rūšių, kurios naudojamos skirtinguose etapuose norint gauti skirtingus rezultatus. Bendrai paėmus, dažniausiai pradžioje vaizdai yra paruošiami, nes realaus pasaulio skaitmenizuotos nuotraukos nėra idealios, vaizdas gali būti nesufokusuotas ar pasižymėti triukšmu. Šiame žingsnyje dažnai naudojami įvairūs binarizacijos metodai[SS15], glotninimas, ryškinimas, triukšmo pašalinimo metodai. Turint paruoštą vaizdą, galima bandyti nuotraukose surasti ieškomus objektus. Tam yra įvairių metodų, kuriuos galima geriau ar prasčiau pritaikyti specifiniams atvejams. Nuotraukose ieškant ląstelių formų ir žinant, kokios formos yra ieškomos, galima pasitelkti vaizdų atpažinimą pagal šabloną, kuris irgi turi daug įvairių metodų[AMS⁺17]. Paskutinis žingsnis būtų iš surastų objektų išgauti naudingą informaciją, pavyzdžiui - ar jie yra pažeisti, nepilni ar sveiki. Tokią informaciją galima gauti objektų suradimo etape arba pasitelkti nuotraukų palyginimo algoritmus[HYA⁺15].

Šio darbo tikslas - ištirti binarizacijos įtaką objektų aptikimo ir įvertinimo metodų kokybei.

Šiam tikslui pasiekti keliama tokie uždaviniai:

1. Palyginti esamus binarizacijos metodus.
2. Palyginti esamus objektų aptikimo metodus. Pasirinkti geriausiai tinkančius metodus ląstelėms auginti skirtų formų aptikimui.
3. Palyginti esamus objektų įvertinimo metodus. Pasirinkti geriausiai tinkančius metodus ląstelėms auginti skirtų formų įvertinimui.
4. Ištirti binarizacijos metodų įtaką objektų atpažinimui.

Bus taikomi tokie metodai:

- Mokslinių šaltinių analizė.
- Esamų problemos sprendimų realizacijų paieška ir analizė.
- Empirinis tyrimas. Sukuriamos tokios programos, kurios naudotų nagrinėjamus metodus ir leistų juos palyginti.
- Lyginamoji analizė. Jos metu bus lyginami tyrimo metu surinkti duomenys.

Numatomas darbo atlikimo procesas:

1. Rinkti vaizdo paruošimo (binarizacijos, glotninimo ir kitų) metodų bei grafinių objektų atpažinimo (pagal šabloną ir be šablono) metodų teorinę medžiagą ir ją analizuoti.
2. Rinkti ir paruošti tyrimui tinkamų makro nuotraukų su ląstelėms auginti paruoštomis formomis.
3. Sukurti tyrimui atlikti reikalingą programą.
4. Atlikti bandymus naudojant skirtingus metodus ir parametrus, ieškant geriausių kombinacijų.
5. Analizuoti bandymo metu surinktus duomenis.

1. Vaizdo paruošimas

Skaitmenizuotas realus vaizdas dažnai būna raudona-žalia-mėlyna (toliau - RŽM) (angl. RGB) formatu, jo kiekvieno pikselio reikšmė kinta $[0-255][0-255][0-255]$ ribose. Toks platus spalvos pasirinkimas yra trukdis vaizdo apdorojimui ir palyginimui[You11], todėl dažnai nuotraukos yra paverčiamos į pilko tono nuotrauką, kurių pikselių reikšmė varijuoja tik tarp 0 ir 255, o tada pasitelkiant binarizaciją, reikšmė suspaudžiama į $[0-1]$ režį. Po binarizacijos, skaitmeninis vaizdas būna tik juodai baltas, segmentuotas į foną ir, tikėtina, dominančius regionus. Tokia binarizacija dažnai būna naudojama dokumentų nuotraukų skaitmenizacijai, triukšmo ir artefaktų pašalinimui, bei aiškius bruožus turinčių, išsiskiriančių objektų išskyrimui iš fono[SP99].

Yra du plačiausiai naudojami binarizacijos būdai: netolygumo, kai yra ieškoma kur greitai pasikeičia pilkumo tonas, ir slenkstinės ribos, kai yra apskaičiuojama riba, pagal kurią visa nuotrauka yra suskirstoma į regionus[SS15]. Bendrai paėmus, slenkstinės ribos binarizacija susideda iš dviejų žingsnių: pikselio pilkumo tono slenkstinės ribos nustatymo pagal kurį nors algoritmą bei šio pikselio priskyrimo fonui arba priekiniam vaizdui. Jeigu pikselio pilkumo tonas yra didesnis nei nustatyta slenkstinė riba, jis yra priskiriamas priekiniam vaizdui, o kitu atveju, fonui.

Pagrindinis binarizacijos sunkumas yra išsirinkti tinkamą pilko tono slenkstinės ribos nustatymo metodą, nes skirtingi metodai geriau dirba su skirtingais vaizdų iškraipymais, triukšmu, bei nuotraukų tipais (dokumentai, natūralūs vaizdai, medicininės nuotraukos). Pilkumo tono slenkstinės ribos nustatymo metodai yra skirstomi į šešias pagrindines grupes: paremti histogramos forma, paremti klasterizacija (angl. clustering), paremti entropija, paremti objektų atributais, erdviniai metodai bei lokalūs metodai[You11].

1.1. Otsu metodas

Otsu metodas yra pilko tono slenkstinės ribos globalus radimo metodas, surandantis vieną reikšmę ir ją pritaikantis visai nuotraukai. Pagal metodą, nuotrauką reikia suskirstyti į dvi klases - foną ir priekį. Optimali slenkstinė vertė yra surandama tokiu būdu, kad vidinių klasių neatitikimas (angl. intra-class variance) būtų kuo mažesnis, tai yra, atstumas tarp fono pikselių grupių ir priekio pikselių grupių būtų kuo mažesnis. Tai reiškia, kad optimali slenkstinė reikšmė suskirstys nuotrauką į tokius segmentus, kad atstumas tarp pikselių klasių tuose segmentuose bus pats mažiausias.

Šis metodas yra vienas greičiausių pilko tono slenkstinės reikšmės ieškančių metodų[SS15], nes vidutinės vertės suradimui jis pasitelkia histogramą, kuriai reikia sudaryti 256 elementų dydžio masyvą. Tačiau, kaip ir kiti globalūs pilko tono slenkstinės reikšmės paieškos metodai, Otsu metodas stipriai nukenčia nuo nuotraukos triukšmo, sunkiai suranda mažus segmentus didelėje

nuotraukoje, bei sunkiai atskiria foną nuo priekio, kai jie visoje nuotraukoje nedaug skiriasi.

1.2. Niblack ir Sauvola metodai

Niblack ir Sauvola metodai, ne taip kaip Otsu metodas, yra lokalūs slenkstinės ribos radimo metodai. Tai reiškia, kad jie suranda ne viena slenkstinę reikšmę, bet kiekvienam pikseliui suskaičiuoja atskirą slenkstinę reikšmę[JCS⁺16]. Abiejų šių metodų veikimo principas yra paremtas tokiu metodu: per nuotrauką yra slenkamas stačiakampis ir pagal tam tikras to stačiakampio apimamo nuotraukos ploto charakteristikas yra apskaičiuojama slenkstinė riba. Niblack metodo atveju, šios charakteristikos yra lokalus vidurkis ir standartinis nuokrypis. Šį metodą galima išreikšti tokia formule:

$$T(i,j) = \mu + k + \sigma \quad (1)$$

Kur i ir j yra slenkančio pikselio koordinatės, μ yra lango aplink slenkančią pikselį vidurkis, σ yra standartinis nuokrypis, o k yra konstanta. Ši konstanta yra naudojama nurodyti binarizacijos gerumą - nuo jos priklauso atsparumas triukšmui.

Šis metodas yra jautrus nuotraukos foniniam triukšmui ir tai pat prastai veikia, jeigu nuotraukoje yra didelių tuščių plotų[JCS⁺16][SS15]. Kadangi jis yra lokalus metodas, jis stipriai priklauso nuo nuotraukos lokalių ypatybių. Taip pat jo efektyvumas gali smarkiai skirtis pasirinkus netinkamas konstantas.

Sauvola metodas yra adaptyvus lokalios slenkstinės ribos radimo metodas, kuris veikia tuo pačiu principu kaip ir Niblack metodas, bet yra laikoma, kad Sauvola yra pagerintas Niblack metodas[JCS⁺16]. Šis metodas papildomai naudoja dinaminį vaizdo pilkų tonų standartinio nuokrypio diapazoną, kuris bus pažymėtas R . Šį metodą galima išreikšti taip:

$$T(i,j) = \mu * (1 + k * (\frac{\sigma}{R} - 1)) \quad (2)$$

Kur μ ir σ yra tos pačios reikšmės iš Niblack metodo.

Šis metodas veikia geriau nei Niblack metodas kai nuotrauka turi foninį triukšmą arba turi ryškių defektų (pvz. dėmės). Sauvola metodas veikia geriau nei Niblack metodas fonui esant panašiam į priekį, tačiau abudu metodai, palyginus su kitais, šiuo atveju veikia gan prastai[SS15]. Pagal šio metodo autorių, šis metodas duoda gerus rezultatus, kai konstantos k ir R yra atitinkamai 0.5 ir 128[SP99]. Metodas yra labiau pritaikytas tekstinių dokumentų binarizavimui, bet pakankamai gerai veikia ir natūralių (ne tekstinių dokumentų) nuotraukų binarizavimui[SS15].

1.3. Feng metodas

Feng binarizacijos metodas yra lokaliai ribinės reikšmės skaičiavimo metodas, skirtas prastos kokybės, nevienodo apšvietimo, žemo kontrasto nuotraukoms. Kadangi Niblack ir Sauvola metodai gan prastai veikia su triukšmingomis arba prastai apšviestomis nuotraukomis, Feng išskėlė šį metodą kaip alternatyvą prieš tai minėtiems metodams.[FT04]

Šis metodas remiasi lokaliu pilkų atspalvių kontrastu. Ne taip, kaip prieš tai aptarti metodai, Feng metodas naudoja du slenkančius langus - pirminį ir antrinį. Pirminis langas yra mažesnis ir yra antrinio viduje. Ribinės ribos suradimui šis metodas pirmiausia skaičiuoja pirminio lango taškų vidurkį m , minimumą M ir standartinę nuokrypį s . Tam, kad būtų kompensuoti nelygaus apšvietimo nuotraukos iškraipymai, pilkų taškų standartinės reikšmės dinaminis diapazonas R_s yra apskaičiuojamas antriniame, didesniame lange, tačiau ne visoje nuotraukoje, kadangi tai yra lokaliai ribinės reikšmės skaičiavimo metodas.

Lokali ribinė reikšmė šiuo metodu yra apskaičiuojama taip:

$$T = (1 - \alpha_1) * m * \alpha_2 * \left(\frac{s}{R_s}\right) * (m - M) + \alpha_3 * M \quad (3)$$

Kur $\alpha_2 = k_1 \frac{s}{R_s}^\gamma$, $\alpha_3 = k_2 \frac{s}{R_s}^\gamma$, o α_1 , γ , k_1 ir k_2 yra teigiamos konstantos. Pagal šio metodo autoriaus eksperimentus[FT04], yra rekomenduojamos tokios reikšmės: $\gamma = 2$, o α_1 , k_1 ir k_2 atitinkamai turi būti režiuose $[0,1;0,2]$, $[0,15;0,25]$, $[0,01;0,05]$.

Šis metodas veikia žymiai geriau, nei Sauvola ir Niblack metodai, kai yra taikomas prastos kokybės nuotraukoms, tačiau blogiau, kai nuotraukos yra geros kokybės (vienodo apšvietimo, aukšto kontrasto). Taip pat, šis metodas yra sudėtingesnis ir vykdomas lėčiau, nei Sauvola ir Niblack, nes visą nuotrauką turi apeiti du langai. Šis metodas turi daug konstantų, kurios turi įtaką rezultatams ir šio metodo autorius šias konstantas pritaikė teksto dokumentų binarizacijai, todėl kitokių tipų dokumentų binarizacijos rezultatai gali būti ne tokie geri.

1.4. Wolf metodas

Wolf metodas, kurį sukūrė Christian Wolf, yra ribinės reikšmės skaičiavimo metodas, paremtas Niblack metodu.[JW04] Šis metodas, panašiai į Feng metodą, skaičiavimuose remiasi ne pilkų taškų spalvos tonu, bet jų kontrastu. Kadangi šis metodas yra paremtas Niblack metodu, jis taip pat skaičiavimams naudoja slenkantį langą, kuris apskaičiuoja ribinę reikšmę centriniame lango taškui, taip apeidamas visus taškus. Esminis šių metodų skirtumas yra tas, kad Wolf metodas nėra visiškai lokalus binarizacijos metodas, nes ribinė reikšmė yra apskaičiuojama ne vien pagal

pagrindinį langą, bet ir pagal visą nuotrauką. Langas yra stumiamas per visą nuotrauką, yra gauti visi lokalūs kontrastai. Tada langas vėl stumiamas per nuotrauką, tačiau šį kartą kontrastas yra tikrinamas atsižvelgiant ne vien į lokalų kontrastą, bet ir į visos nuotraukos kontrastą. Tam yra naudojama maksimali visų langų (arba jų centrinių taškų) standartinio nuokrypio reikšmė. Pagal tai yra nusprendžiama ar einamasis langas yra šviesus ar tamsus atsižvelgiant ir į lokalų vaizdą, ir į visą nuotrauką.

Šį metodą galima išreikšti tokia formule:

$$T = (1 - \alpha)m + \alpha * M + a \frac{s}{R}(m - M) \quad (4)$$

Kur M yra mažiausia visos nuotraukos pilko tono reikšmė, m yra slenkančio lango visų taškų pilkų tonų vidurkis, R yra maksimali visų langų (arba jų centrinių taškų) standartinio nuokrypio reikšmė, s yra einamojo lango standartinio nuokrypio reikšmė, o α yra konstanta, skirta sumažinti svyravimą tarp m ir M reikšmių. Šią konstantą yra siūloma laikyti 0,5.

Šis metodas yra padarytas Niblack metodo pagrindu, pagerindamas jo veikimą, nes įvertindamas lokalų vaizdą, atsižvelgia ir į jo santykį su visos nuotraukos kontrastu. Tai pagerina jo tikslumą, tačiau jis veikia lėčiau, nes jam reikia nuotrauką pereiti du kartus. Taip pat, kadangi šis metodas įvertina visą nuotrauką, padidėjęs nuotraukos triukšmas gali iškraipyti rezultatus.

1.5. Gatos metodas

Gatos binarizacijos metodas yra kompleksinis metodas, susidedantis iš penkių žingsnių. Vienas iš jo skiriamųjų bruožų yra neturėjimas jokių išorinių parametrų, t.y. konstantų, kurias reikia atspėti eksperimentų būdu.[GPP05] Aprašydamas šį metodą, jo autorius paminėjo, kad parametrų suradimas, kad binarizacijos metodas veiktų įvairių tipų nuotraukoms (ne vien tekstiniams dokumentams, kuriems dauguma metodų ir yra taikomi), yra labai sudėtingas procesas. Todėl šis metodas gali būti taikomas įvairių rūšių nuotraukoms, taip pat pažeistoms, išteptoms nuotraukoms.

Pirmasis iš penkių šio binarizacijos metodo žingsnių yra Wiener filtro pritaikymas. Šis filtras sušvelnina triukšmingas nuotraukos dalis, išlygina foną bei padidina kontrastą tarp fono ir priekio. Kiekvienam nuotraukos taškui yra taikoma ši formulė:

$$I(x,y) = \frac{\mu + (\sigma^2 - v^2)(I_s(x,y) - \mu^2)}{\sigma^2} \quad (5)$$

Kur μ yra lokalus vidurkis, σ^2 yra 3x3 kaimyninių taškų dispersija, v^2 yra visų slenkančio lango taškų dispersija, o $I_s(x,y)$ yra pradinė taško reikšmė.

Antrasis žingsnis yra grubus priekinės dalies (tos, kurią bandome išskirti) suradimas. Tam yra taikomas Sauvola binarizacijos metodas su parametru $k = 0,2$. Po šio žingsnio jau turim grubią binarizuotą nuotrauką.

Trečiasis žingsnis yra foninės dalies aproksimacija. Antrame žingsnyje gautoje binarizuotoje nuotraukoje, taškams turintiems reikšmę 0, yra priskiriama reikšmė iš pradinės nuotraukos. Visiems likusiems taškams nauja reikšmė yra apskaičiuojama interpoliuojant kaimyninius taškus, naudojant $dx \times dy$ kaukę, kurios matmenys turėtų uždengti bent 2 objektus (tekstinių dokumentų atveju, tai būtų 2 simboliai).

Ketvirtasis žingsnis yra binarizacijos reikšmės nustatymas kiekvienam taškui. Jis yra nustatomas tokiu būdu: jei fono reikšmės ir pradinės nuotraukos reikšmės skirtumas didesnis už ribinę reikšmę d , tai rezultatas yra 1, kitu atveju 0. Ribinė reikšmė d yra visų taškų pirminio ir antrinio planų atstumų vidurkis, padaugintas iš konstantos 0,8.

Penktasis, paskutinis žingsnis, susideda iš susiaurinimo filtro (angl. shrink filter) ir išpūtimo filtro (angl. swell filter). Pirmiausia su susiaurinimo filtru yra pašalinamas užsilikęs triukšmas, o su išpūtimo filtru yra užtaisomi maži tarpeliai ir nelygumai priekinėje nuotraukos dalyje.

Gatos binarizacijos metodas nereikalauja jokių parametrų iš žmogaus ir pats prisitaiko prie nuotraukos, gerai veikia su prastos kokybės bei sugadintomis, įvairaus nelygaus apšvietimo, išteptomis nuotraukomis. Tačiau, kadangi jis turi daug žingsnių ir naudoja daug skirtingų metodų, jo veikimo laikas, palyginus su prieš tai aptartais metodais, yra prastesnis.

1.6. Binarizacijos metodų apibendrinimas

Aptartiems šešiems binarizacijos metodams galima iškelti šiuos svarbiausius kriterijus ląstelių auginimo formų aptikimui, pagal kuriuos bus galima bus juos palyginti (1 lentelė):

- metodas turi gerai veikti su prastos kokybės nuotraukomis, nes nuotraukos yra stipriai priartintos
- metodas turi gerai veikti su nevienodai apšviestomis nuotraukomis.
- metodas turi gerai veikti su pažeistomis nuotraukomis, kurios yra, pavyzdžiui, aplietos ar išteptos.
- metodas turi gerai veikti su žemo kontrasto nuotraukomis, nes ląstelėms auginti naudojamos formos nuotraukose dažnai mažai skiriasi nuo fono.

- metodas turi turėti kuo mažiau laisvai pasirenkamų parametrų. Kadangi yra daug skirtingų ląstelių auginimo formų, pasirinkti tinkamus parametrus bendram atvejui reikėtų daug įvairių žinių, todėl geriau turėti metodą, kuriam nereikia pasirinkti parametrų.
- metodas turi būti pritaikytas ne vien dokumentų binarizacijai, bet ir bendriems vaizdams binarizuoti.

Ne visos nuotraukos bus tos pačios kokybės, dalis jų gali būti prastos kokybės, ne vienodai apšviestos, varijuojančio kontrasto, todėl svarbu, kad binarizacijos metodas gerai veiktų pritaikius tokioms nuotraukoms. Iš aptartų metodų, prastos kokybės nuotraukoms gerai tinka Feng ir Gatos metodai. Feng metodas geriau už daugelį kitų veikia su prastos kokybės, žemo kontrasto nuotraukomis, tačiau prasčiau veikia, jei nuotraukos yra aukštos kokybės (vienodo apšvietimo, aukšto kontrasto). Gatos metodas veikia ganėtinai gerai, nes susideda iš daug žingsnių, iš kurių vienas yra pašalinti triukšmą, o kitas yra atstatyti smulkius pažeidimus, atsiradusius šalinant triukšmą, tačiau šis metodas yra sudėtingesnis.

Kadangi tiriamos nuotraukos gali būti žemo kontrasto, svarbu, kad metodas galėtų atskirti ieškomus objektus ir šiuo atveju. Tam gerai tinka Feng ir Wolf metodai. Abu metodai turi parametrų, kuriuos reikia pasirinkti naudotojui, tačiau abu ganėtinai gerai veikia, kai nuotraukų kontrastas yra žemas.

Vienintelis nagrinėtas metodas, neturintis laisvai pasirenkamų parametrų, yra Gatos metodas. Nors jis naudoja Sauvola metodą viename savo žingsnių, tačiau vienam laisvam Sauvola parametrui naudoja konstantą ir neduoda jo pasirinkti naudotojui. Kiti arčiausiai šio tikslo esantys metodai yra Niblack, kuris turi 1 parametrą, ir Sauvola, kuris turi 2 parametrus.

Taip pat reikia atsižvelgti į tai, kad dauguma šių metodų buvo kurti ir pritaikyti tekstinių dokumentų binarizavimui, o ląstelių auginimo formos nuo tekstinių dokumentų ganėtinai skiriasi. Atsižvelgiant į tai, didelį privalumą duoda metodai, kurie gerai veikia bet kokioms nuotraukoms. Tuo pasižymi Otsu ir Gatos metodai. Juos lyginant, Otsu yra gan paprastas, primityvus ir greitai veikiantis metodas, o Gatsu yra sudėtingas, lėtesnis, bet patvaresnis metodas.

Iš aptartų metodų nei vienas metodas netenkina visų norimų kriterijų. Yra keli, kurie tenkina bent kelis kriterijus. Gatos metodas yra taikomas ne vien tekstiniams dokumentams, yra ganėtinai atsparus nuotraukos foniniam triukšmui ir gerai veikia su prastos kokybės nuotraukomis. Šis metodas taip pat neturi parametrų, kuriuos reikėtų pasirinkti naudotojui. Abu Feng ir Wolf metodai gerai veikia su žemo kontrasto nuotraukomis, tačiau Feng metodo rezultatai stipriai suprastėja, kai jis yra taikomas geros kokybės nuotraukoms. Otsu metodas yra paprastas, greitai veikiantis ir taikomas bet kokio tipo nuotraukoms.

1 lentelė. Binarizacijos metodų palyginimas

Metodas	Gera veikia su prastos kokybės nuotraukomis	Gera veikia su nevienodo apšvietimo nuotraukomis	Gera veikia su pažeistomis nuotraukomis	Gera veikia su žemo kontrasto nuotraukomis	Neturi pasirinkamų parametrų	Sukurtas ne vien dokumentazų binarizacijai
Otsu	+	-	-	+	-	+
Niblack	-	+	-	-	-	-
Sauvola	-	+	+	-	-	-
Feng	+	+	-	+	-	-
Wolf	-	+	-	+	-	-
Gatos	+	+	+	-	_*	+

* Gatos metodas neturi pasirinkamų parametrų, bet naudoja Sauvola metodą, kuris turi pasirinkamą konstantą.

2. Vaizdų atpažinimas

Turint paruoštą skaitmeninį vaizdą, galima bandyti jame surasti dominančius objektus. Objektų suradimą galima skirstyti į dvi grupes, pagal tai ar yra tiksliai žinoma, kas yra ieškoma, ar nėra.

Jeigu yra žinoma, galima pasitelkti objektų suradimą pagal šabloną. Yra įvairių metodų šiam tikslui pasiekti, nuo paprastų, paprasčiausiai palyginančių ieškomą nuotrauką kiekvienai kitos nuotraukos daliai, iki sudėtingų, sudarančių metaduomenų modelį ir ieškančių pagal jį. Šiems metodams yra svarbu, koku būdu bus skaičiuojamas panašumas tarp nuotraukų, kam irgi yra sukurtas ne vienas metodas.

Jeigu nėra tikslaus pavyzdžio, ko reikia ieškoti, galima bandyti ieškoti visų išsiskiriančių formų, kurios dar yra vadinamos dėmėmis. Jų paieškai yra sukurta sudėtingų metodų, kurių rezultatai labai skiriasi, priklausomai ką bandoma surasti.

2.1. Panašumo apskaičiavimas

Vaizdų lyginime, visada reikia patikrinti, kiek du vaizdai yra panašūs. Nors tai galima daryti naiviau būdu - tikėtis kad du vaizdai bus vienodo dydžio ir visi jų taškai sutaps, nėra realu. Tam yra pasitelkiami įvairūs panašumo apskaičiavimo algoritmai, kurie skiriasi savo veikimo greičiu bei tikslumu.

2.1.1. Kvadratinų skirtumų sumos metodas

Kvadratinų skirtumų sumos metodas (angl. sum of squared differences - SSD), toliau - SSD, yra vienas iš metodų, naudojamų palyginti skirtingų pikselių reikšmes. Jis skaičiuoja pikselių skirtumų kvadratus ir juos susumuoja. Gautame rezultate, kuo reikšmė yra mažesnė, tuo pikseliai yra panašesni. Šis metodas yra apibūdinamas taip:

$$SSD(i,j) = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N (f(i,j) - g(i+u, j+v))^2 \quad (6)$$

kur i ir j yra pikselio koordinatės nuotraukoje, M yra pradinės nuotraukos matricos eilučių skaičius, N yra pradinės nuotraukos matricos stulpelių skaičius, o u ir v yra kintamieji, kurių reikšmė atitinkamai yra x ir y poslinkis per aplink tikrinamą pikselį.

SSD metodas yra ganėtinai greitas, lengvai suprantamas ir pritaikomas, ir taip pat tinka naudojimui kai nuotraukoje yra triukšmo ar nuotrauka yra pasukta, tačiau tai nėra pats tiksliausias metodas[SS16].

2.1.2. Absoliučių skirtumų sumos metodas

Absoliučių skirtumų sumos panašumo apskaičiavimo metodas (angl. sum of absolute differences - SAD), toliau - SAD, yra paprastas ir vienas greičiausiai veikiančių panašumo apskaičiavimo metodų[Als12]. Jo veikimas yra paremtas sumuojant dviejų nuotraukų kiekvieno pikselio absoliučių skirtumų sumą. Šis metodas yra apibrėžiamas taip:

$$SAD(x,y) = \sum_{k=0}^{(M-1)(N-1)} \sum_{l=0}^{(N-1)} |S(x+k,y+l) - T(k,l)| \quad (7)$$

kur (M,N) dydžio šablonas T(x,y) yra ieškomas pradinėje nuotraukoje S(x,y). Tokiu būdu, kiekvienam pikseliui yra apskaičiuojamas atstumas (skirtumas) tarp šablono ir nuotraukos. Kuo reikšmė artimesnė nuliui, tuo pradinė nuotrauka toje vietoje yra panašesnė į šabloną.

Veikimo greičiu, šis metodas yra panašus į SSD [Als12], tačiau jis naudojamas tada, kai manoma, kad nuotraukos ir šablonas bus ganėtinai panašūs ir neiškraipyti. Jeigu yra tikimasi, kad nuotraukose bus daug triukšmo ir šablonas taps mažai panašus į pradinę nuotrauką, dažniau yra naudojamas SSD metodas.

2.1.3. Normalizuotos kryžminės koreliacijos metodas

Normalizuotos kryžminės koreliacijos metodas (angl. normalized cross correlation), toliau NCC, yra vienas iš populiariausių panašumo apskaičiavimo metodų dėl savo patikimumo [HYA⁺15]. Palyginus su SSD metodu, šis metodas yra sudėtingesnis ir lėtesnis, nes į jį įeina daugybės ir šaknies traukimo operacijos. Šis metodas veikia panašiai kaip SSD metodas, tačiau jis skaičiuoja ne skirtumą tarp pikselių, o jų reikšmes sudaugina. Kad šį metodą būtų galima naudoti kaip panašumo įvertinimo metodą, jis yra normalizuojamas ir jo reikšmės yra suspaudžiamos į [-1,1] ribas. Reikšmei esant tokiose ribose, ją galima nesunkiai palyginti. NCC metodas yra apibrėžiamas taip:

$$NCC(u,v) = \frac{\sum_i \sum_j \in A [f(i,j) * g(i+u,j+v)]}{\sqrt{\sum_i \sum_j \in A [g^2(i+u,j+v)]}} \quad (8)$$

Kur u ir v yra reikšmės gaunamos atitinkamai einant per x ir y ašis.

NCC metodas yra tikslesnis nei SSD ir yra naudojamas net veidų atpažinimui [SS16], tačiau NCC yra jautrus nuotraukos ryškumo pakeitimams, nuotraukos pasukimams ir vaizdo triukšmui.

2.2. Šablono atitikties suradimas

Skaitmeninių vaizdų apdorojime, šablono atitikties suradimas (angl. Template matching) yra procesas, kurio metu yra surandamos mažesnės nuotraukos pasikartojimo vietos didesnėje nuotraukoje. Ši mažesnė nuotrauka, kuri yra vadinama šablonu, dažniausiai yra panaši į kažkurią didesnės nuotraukos dalį. Šablonas gali būti skirtingo dydžio, spalvos ir formos. Šablonų atitikimas yra dažnai naudojamas nuotraukų registravime ir objektų atpažinimui [HYA⁺15].

2.2.1. Tradicinis metodas

Šio metodo pagrindinis veikimo principas yra, kad šablonas yra slenkamas per visą pradinę nuotrauką ir ieškoma, kuriose vietose atitiktis tarp šių dviejų nuotraukų yra didžiausia. Kad tai būtų galima pasiekti, šablonas ir pradinė nuotrauka yra paverčiami į matricas pagal jų kiekvieno pikselio arba pikselių grupių reikšmes. Pradžioje, šablono matricos vidurys yra uždedamas ant pradinės nuotraukos matricos pradžios taško (1,1). Tada pradinės nuotraukos matrica yra praplečiama iš visų pusių nuliais, tam, kad šablono matricos centras galėtų pereiti per visas pradinės nuotraukos matricos eilutes ir stulpelius, o likusi šablono matricos dalis neišeitų iš pradinės nuotraukos matricos ribų. Tada šablono matrica pereina per kiekvieną pradinės nuotraukos matricos elementą ir naudodama specifinį panašumo apskaičiavimo algoritmą surandama panašumą. Panašumas yra išsaugomas kitoje matricoje, kurios dydis yra toks pat kaip pradinės nuotraukos matricos. Kai visa pradinė matrica yra pereita, pagal naujai sukurta panašumo matricą yra nustatoma, kurie pradinės nuotraukos regionai yra panašiausi į šabloną.

2.2.2. Pilkumo tono metodas

Pilkumo tono atitikties paieškos metodas yra panašus į tradicinį metodą, tik jis matuoja ir lygina pilkos spalvos toną. Šio metodo pagrindinis skirtumas yra tas, kad jis yra atsparus nuotraukos dydžio pasikeitimui ir pasukimui [SH16]. Šis privalumas yra pasiekiamas naudojant nuotraukų „piramides“. Nuotraukų „piramidė“ yra sukuriamas sukuriant skirtingo dydžio šablono kopijas. Šią piramidę pasukant įvairiais kampais ir išsaugant visus gautus variantus yra gaunamas rinkinys „piramidžių“. Tai reikalauja didesnio atminties kiekio bei daugiau laiko įvykdyti paiešką, bet leidžia tiksliau surasti šabloną nuotraukoje. Tai taip pat leidžia ne tik gauti šablono poziciją, bet ir jo kryptį.

2.2.3. Ribų aptikimo metodas

Ribų aptikimo metodo pagrindinis principas yra, kad šabloną iš esmės galima apibūdinti naudojant ne jį visą, bet jo kontūrą, kraštines. Tikrinant, ar sutampa tik kraštinės, sutaupoma laiko.

Kraštine gali būti apibūdinti nuotraukos taškai, ties kuriais stipriai pasikeičia ryškumas arba spalva. Šio metodo veikimo principas yra toks: pirmiausia iš šablono yra sukuriamas šablono ribomis parengtas modelis. Šis modelis susidės iš taškų ir jų gradientų X ir Y ašyse. Turint tokį modelį, galima su juo praeiti pro visą nuotrauką ir naudojant kurį nors panašumo apskaičiavimo algoritmą surasti nuotraukoje esančias panašias šablonui vietas.

Ribų aptikimo metodai yra skirstomi į dvi pagrindines metodų grupes: gradientinius (ieškantys pirmos eilės išvestinės maksimumų ir minimumų) ir laplasinius (ieškantys antros eilės išvestinės nulinių taškų)[SC12].

2.2.3.1. Sobel metodas

Sobel metodas, dar vadinamas Sobel operatoriumi, yra nuotraukos išvestinės aproksimacija. Šis metodas kiekvienam nuotraukos taškui apskaičiuoja gradiento vektorių, o skaičiavimas yra paremtas nuotraukos ir dviejų 3x3 dimensijos kaukių konvoliucija. Skaičiavimai yra atliekamos x ir y ašyse (todėl naudojamos dvi kaukės) su mažų dimensijų kaukėmis, todėl šis metodas yra atliekama sąlyginai greitai. Šį metodą galima apibrėžti taip:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (9)$$

Kur G_x ir G_y atitinkamai yra nuotraukos x bei y ašies kaukių konvoliucijos rezultatas:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} * A \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Kur * simbolis atitinka konvoliucijos operaciją, o A yra pradinės nuotraukos matrica.

Šio metodo privalumai yra, kad jis yra sąlyginai lengvas ir greitai veikiantis [SC12], tačiau jis yra jautrus nuotraukos triukšmui ir jam kylant, greitai praranda tikslumą.

2.2.3.2. Prewitt metodas

Prewitt metodas, dar vadinamas Prewit operatoriumi, apskaičiuoja apytikslę nuotraukos išvestinę. Šis metodas savo veikimo principu yra labai panašus į Sobel metodą: taip pat veikia naudodamas nuotraukos ir atitinkamų filtrų(kaukių) konvoliucijas. Prewitt metodas taip pat veikia x ir

y ašyse, jo formulę galima išreikšti kaip:

$$G_x = (I(x-1, y+1) + I(x, y+1) + I(x+1, y+1)) - (I(x-1, y-1) + I(x, y-1) + I(x+1, y-1))$$

$$G_y = (I(x+1, y-1) + I(x+1, y) + I(x+1, y+1)) - (I(x-1, y-1) + I(x-1, y) + I(x-1, y+1))$$

Šio metodo kaukės G_x ir G_y yra tokios 3x3 matricos:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} * A \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +1 & +1 \end{bmatrix} * A \quad (11)$$

Šio metodo kaukės yra paprastesnės nei Sobel metodo ir mažo triukšmo ir aukšto kontrasto nuotraukose teikia tikslesnius rezultatus, tačiau nuo triukšmo ir mažo kontrasto labiau nukenčia nei Sobel metodas[AAT16].

2.2.3.3. Canny metodas

Canny metodas yra ribas aptinkantis algoritmas, susidedantis iš 5 dalių: Gauso filtro, nuotraukos intensyvumo gradiento suradimo, ribų sumažinimo, triukšmo ribų ištrynimo ir histerezės būdu ištrinamos silpnos ribos.

Pradinė nuotrauka gali turėti triukšmo, todėl prieš pradedant ieškoti kampų, triukšmą bando pašalinti su Gauso filtru. Jo veikimas yra paremtas ne tik triukšmingų pikselių reikšmių pakeitimu, bet atsižvelgimu į aplinkinius pikselius ir jų pakeitimu. Yra sudaroma nelyginio dydžio matrica, kurios centras yra einamasis pikselis, ir ši matrica slenkama per nuotrauką ir kiekvienas pikselis yra galimai pakeičiamas. Šis $(2k+1)(2k+1)$ dydžio filtras yra išreiškiamas tokia formule:

$$H_{ij} = \frac{1}{2\pi\sigma} \exp\left(-\frac{(i - (k+1))^2 + (j - (k+1))^2}{2\sigma^2}\right); 1 \leq i, j \leq (2k+1) \quad (12)$$

Keičiant filtro dydį keičiasi jo našumas. Didesni filtrai gali prasčiau pašalinti triukšmą. Dažniausiai yra naudojami 3x3 arba 5x5 filtrai[AAT16].

Kadangi riba gali būti nukreipta 4 kryptimis (x ir y ašimis bei įstrižai), krypties suradimui yra pasitelkiami tokie metodai, kaip Sobel arba Prewitt, iš jų gaunami G_x ir G_y , pagal kuriuos apskaičiuojamas kampas:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

$$\Theta = \text{atan2}(G_y, G_x)$$
(13)

Kampas yra gaunamas naudojant atan2 - arktangentas su dviem parametrais. Gautas kampas yra apvalinamas ir priskiriamas vienai iš reikšmių - 0°, 45°, 90° ir 135°.

Kai yra turimos ribos ir jų kryptis, kitas žingsnis yra patikrinti kampus ir palikti tik stipriausias reikšmes. Yra naudojamas "nemaksimalių reikšmių slopinimo" ribų ploninimo metodas. Šis metodas yra reikalingas, nes po praeito žingsnio ribos yra dar „išsiliejusios“. Šis metodas veikia tikrindamas einamojo pikselio ribos gradiento reikšmę su teigiama ir neigiama gradiento reikšme esančių pikselių ribos gradiento reikšme. Iš šių reikšmių yra išrenkama maksimali, o ne maksimalios reikšmės gradientai yra pažymimi kaip nuliai. Taip yra sukuriamos plonos ir aiškios ribos.

Ketvirtas žingsnis yra vadinamas dviejų slenkstinių reikšmių etapu. Kadangi vis dar yra likę ribų, kurios atsirado dėl triukšmo, yra pasirenkamos dvi slenkstinės ribos - silpnoji ir stiprioji. Visų gradientų reikšmės yra palyginamos su šiomis ribomis. Jei reikšmė yra didesnė nei stiprusis slenkstis - riba yra pažymima kaip stiprioji. Jei tarp slenkstinių ribų - kaip silpnoji. Jei reikšmė yra mažesnė nei silpnoji riba, tai gradiento reikšmė yra pažymima kaip nulis - riba ištrinama.

Paskutiniame etape, histerezės proceso (angl. hysteresis) metu yra pašalinamos silpnos ribos, kurios atsirado dėl triukšmo ar spalvos pokyčio. Kaip tai tiksliai padaryti nėra sutariama, bet vienas iš būdų yra tikrinti, ar silpna riba liečiasi su stipria riba[AMS⁺17]. Aplink nagrinėjamą pikselį yra tikrinami kiti 8 pikseliai. Jeigu nei vienas iš jų nėra stiprus, nagrinėjamas pikselis yra pažymimas kaip ne riba.

Šis metodas yra tikslesnis nei Sobel ir Prewitt metodai, nes atsižvelgia į nuotraukos triukšmą ir jį bando pašalinti tokiu būdu, kad nebūtų prarandamos ribos. Tačiau, tam reikia žymiai daugiau skaičiavimų, todėl jis yra gerokai lėtesnis[AMS⁺17][SC12].

2.3. Dėmių suradimas

„Blobas“ (angl. blob) dažniausiai, bet nebūtinai, yra apvalų kūną primenanti forma. Toliau „blobus“ vadinsime dėmėmis. Vaizdų atpažinime dėmė yra nuotraukos regionas, kuris savo šviessumu stipriai skiriasi nuo jį supančios nuotraukos dalies. Dėmių suradimas - procesas, kurio metu automatiškai yra surandami nuotraukoje esančios dėmės. Yra dvi pagrindinės dėmių radimo metodikos: diferencialiniai metodai ir baseino (angl. watershed) metodai, kurie remiasi nuotraukos lokaliais ekstremumais ir simuliuoja, kaip skystis tekėtų nuotraukos 3D paviršiumi[KAS13].

2.3.1. Laplasianinis Gauso filtras

Laplasianinis Gauso filtras (angl. Laplacian of Gaussian filter) (toliau vadinsime jį LoG) yra naudojamas kaip diferencialinis dėmių radimo metodas. Šis metodas yra ganėtinai plačiai naudojamas surasti objektus medicininėse nuotraukose, pavyzdžiui ląstelių branduolių suradimui[XLB⁺12]. LoG filtro panaudojimas susideda iš dviejų žingsnių.

Pirmasis žingsnis yra Gauso filtro $G(x,y,\sigma)$ pritaikymas nuotraukai. Gauso filtras yra naudojamas išlyginti nuotrauką ir sušvelninti jos triukšmą. Šis filtras taip pat turi papildomą parametą σ , kuris yra standartinė išvestinė, nurodanti papildomą dimensiją. Tokiu būdu 2D nuotrauka tampa 3D erdve. Keliant σ reikšmę, 3D erdvėje į dėmes panašios figūros konverguoja ir pasiekia savo lokalius ekstremumus. Antrasis žingsnis yra Laplasianinio operatoriaus ∇^2 pritaikymas. Šiame žingsnyje dauguma tamsių dėmių įgauna labai dideles teigiamas reikšmes, o šviesios - labai dideles neigiamas reikšmes. Šį metodą galima išreikšti tokia formule:

$$\nabla^2 G(x,y) = \frac{x^2 - y^2 - 2\sigma^2}{\pi\sigma^4} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (14)$$

Tačiau, šio metodo veikimas yra labai stipriai nulemiamas laisvojo parametro. Rezultatai stipriai priklauso nuo Gauso filtro dydžio ir ieškomų dėmių dydžio. Norint pasiekti 99% tikslumą[KAS13], reikia naudoti $\sigma = (s-1)/3$, kur s yra ieškomų dėmių dydis. Tai reiškia, kad šitas algoritmas gerai suranda specifinio dydžio dėmes, tačiau prastai kitokio dydžio. Jeigu nuotraukoje yra daug įvairių dydžių ir formų dėmių, rezultatai bus prasti.

Norint šį metodą pritaikyti įvairių dydžių dėmių radimui, reikia naudoti bendrąjį LoG algoritmą. Tai yra tas pats LoG, tačiau yra naudojama daug skirtingų σ reikšmių, su kuriomis yra įvykdomas LoG. Taip gaunami rezultatai įvairių dydžių dėmėms.

2.3.2. Hessian metodas

Hessian (angl. determinant of the hessian) (toliau bus vadinamas DoH) yra nuo dėmių dydžio nepriklausomas dėmių radimo metodas. Jis yra panašus į LoG metodą, tačiau LoG prastai veikia, kai reikia surasti daug skirtingų dydžių objektų. DoH, taip pat kaip LoG, iš dvimatės nuotraukos sudaro trimatę erdvę su daug skirtingo mastelio nuotraukų. Kiekvienai atskirai nuotraukai yra pritaikomas filtras, susidedantis iš tam tikros krypties antros eilės dalinių išvestinių. Šį filtrą galima užrašyti taip:

$$H(X) = \begin{bmatrix} L_{xx}(X) & L_{xy}(X) \\ L_{yx}(X) & L_{yy}(X) \end{bmatrix} \quad (15)$$

Kur $L_{xx}(X)$ yra antros eilės dalinė išvestinė x kryptimi.

Šis metodas veikia greičiau nei LoG[MCG⁺18]. Taip pat, naudojant DoH metodą nereikia nurodyti papildomo parametro, pagal kurį bus ieškomos tam tikro dydžio dėmės. Tačiau, šis metodas nesuranda smulkių objektų, jei jie yra kelių pikselių dydžio.

2.3.3. Lindebergo baseino metodas

Lindebergo dėmių radimo metodas yra baseino tipo metodas. Šio metodo veikimo principą galima prilyginti vandens tekėjimui kalnuose. Ieškomi objektai yra laikomi pilkų tonų "kalnais" ir vanduo teka nuo kalnų žemyn į baseinus. Kai baseinai užsipildo, likusios dalys yra ieškomi objektai. Tam, kad būtų surandami ir šviesūs ir tamsūs objektai, metodas yra taikomas ne pradinei nuotraukai, bet jos gradientų matricai. Šį algoritmą galima aprašyti keturiomis taisyklėmis, kurias reikia pritaikyti visiems nuotraukos taškams:

1. Jei taškas neturi aukštesnių (didesnės pilko tono reikšmės) kaimynų, jis yra lokalus maksimumas ir yra pažymimas kaip dėmė su požymiu, kad ji gali augti.
2. Jeigu šalia yra bent vienas kaimynas, kuris yra aukštesnis ir yra pažymėtas kaip fonas, tai šis taškas irgi yra fonas.
3. Jeigu taškas turi kelis didesnius kaimynus, tai jis yra fonas. Didesni kaimynai yra pažymimi kaip dėmės, kurie nebegali augti.
4. Lieka tik atvejis, kai šalia yra vienas arba keli didesni kaimynai, kurie yra vienos dėmės dalis. Jeigu ta dėmė gali augti, taškas yra prie jos prijungiamas. Kitu atveju jis yra fonas.

Šiuo būdu dėmės galima surasti labai greitai, net realiu laiku analizuojant vaizdo įrašą[Hin05]. Tačiau, šis metodas yra labai jautrus nuotraukos triukšmui. Jis turėtų būti pašalintas, kitaip rezultatai gali būti visiškai nenaudingi.

2.4. Apibendrinimas

Šiame skyriuje apžvelgėm populiarius nuotraukų panašumo palyginimo ir objektų suradimų būdus. Daugeliui objektų suradimo būdų didelę įtaką daro nuotraukos kokybė, jos apšvietimas ir triukšmas. Norint nuotraukose surasti ląstelėms auginti skirtas formas, yra svarbu išsirinkti suradimo būdus, kurie geriau veikia su žemo kontrasto nuotraukomis. Geriausiu atveju, objektus galima surasti pagal turimą šablono. Iš paprastų metodų, geriausiai atrodo paprastas šablono atitikties suradimas naudojant normalizuotą kryžminės koreliacijos metodą, nes jis teikia geriausius rezultatus.

Tačiau, jei yra manoma, kad ieškomi objektai gali būti iškraipyti ir skirtis nuo šablono, geriau veikia kvadratinų skirtumų sumos palyginimo metodas. Norint pasiekti geresnius rezultatus, galima naudoti sudėtingesnius metodus, tokius kaip Canny metodą. Jis yra atsparus nuotraukos pasukimams, nes ieško pagal ribas, prieš darydamas paiešką pašalina triukšmą, o tai padidina tikslumą. Tačiau, šis metodas yra žymiai sudėtingesnis nei tradiciniai šablono paieškos metodai.

Norint surasti objektus, neturint jų šablono, galima ieškoti išsiskiriančių nuotraukos dalių. Žinant, kad nuotraukos kokybė bus gera ir neturės triukšmo, galima naudoti baseino metodą, kuris išsiskiriančius objektus suranda labai greitai. Jeigu nuotraukos kokybė nebūtinai yra gera, geriau naudoti Hessian metodą. Nors jis yra lėtesnis, jis nėra taip paveikiamas triukšmo ir kokybės.

Apžvelgus metodus galima įvertinti pagal panašius, į binarizacijos skyriuje iškeltus, kriterijus (2 lentelė.). Šablono atitikties suradimo metodai pagal SSD, SAD ir NCC prasčiau veikia, kai nuotraukos yra nevienodai apšviestos, nes tai sumažina nuotraukos ir šablono panašumą, bet geriau veikia su prastos kokybės nuotraukomis nei kiti metodai. Dėmių suradimo metodai prastai veikia su pažeistomis nuotraukomis, nes pažeidimus gali pažymėti kaip dėmes. Visi metodai prastai veikia su žemo kontrasto nuotraukomis, nes šablono atitikčiai sunku apskaičiuoti tikslų panašumą ir surasti kampus, o dėmių suradimo metodai sunkiai suranda dėmes, nes jos mažai skiriasi nuo fono.

2 lentelė. Objektų atpažinimo metodų palyginimas

Metodas	Gera veikia su prastos kokybės nuotraukomis	Gera veikia su nevienodo apšvietimo nuotraukomis	Gera veikia su pažeistomis nuotraukomis	Gera veikia su žemo kontrasto nuotraukomis
SSD	+	-	+	-
SAD	-	-	+	-
NCC	+	-	+	-
Sobel	-	+	+	-
Prewitt	-	+	+	-
Canny	-	+	+	-
LoG	-	+	-	-
DoH	-	+	-	-
Lindebergo	-	+	-	-

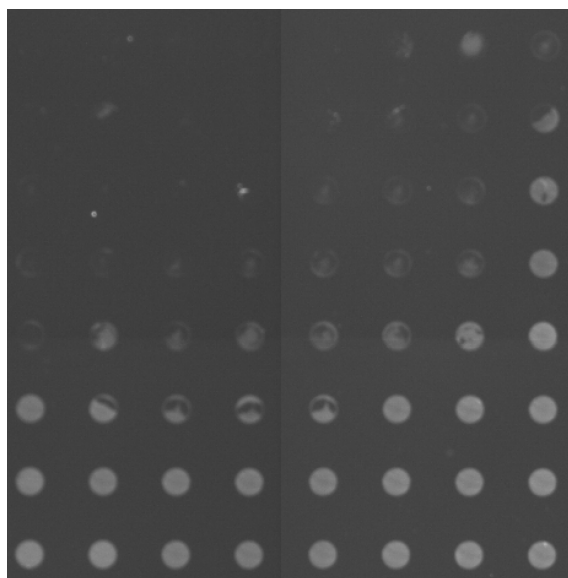
3. Bandymas

Ankstesniuose skyriuose buvo apžvelgti dažnai naudojami vaizdų binarizacijos metodai ir vaizdų aptikimo metodai. Iš apžvelgtų metodų pasirinksiame keletą metodų ir ištirsime, kokią įtaką binarizacijos metodai turi vaizdų aptikimo metodams. Tam naudosime keletą skirtingų nuotraukų, kurios bus skirtingo ryškumo, kontrasto ir triukšmo lygio. (1 pav. ir 2 pav.).

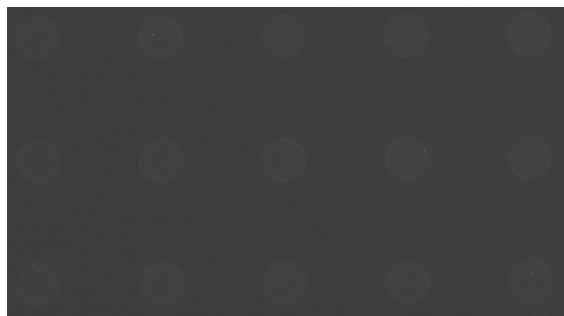
Iš binarizacijos metodų, bandymams naudosime Otsu, Niblack, Sauvola, Feng ir Wolf metodus. Šie metodai apims globalius ir lokalius metodus, nuo prastos kokybės stipriai nukenčiančius ir mažai nukenčiančius metodus. Vaizdų aptikimui naudosime tradicinį šablono atitikties suradimo metodą naudojantį normalizuotos kryžminės koreliacijos (NCC) panašumo apskaičiavimo metodą, šablono atitikties suradimo naudojant Sobel ribų nustatymo metodą, LoG ir DoH dėmių suradimo metodus.

LoG ir DoH metodams pritaikysime mažą pakeitimą. Ieškomos dėmės visada bus vienodos formos ir dydžio, o šie metodai ieško dėmių, kurių dydis yra nuo 0 iki X, kur X yra nurodomas naudotojo. Todėl, suradus dėmes, išfiltruosime visas dėmes, kurios bent 10% skiriasi nuo ieškomo dydžio. Šis pakeitimas leis ieškoti būtent norimų objektų.

Bandymuose tirsim, kiek sveikų objektų yra surandama ir ar po binarizacijos algoritmai išvis galės nuotraukose surasti ieškomus objektus.

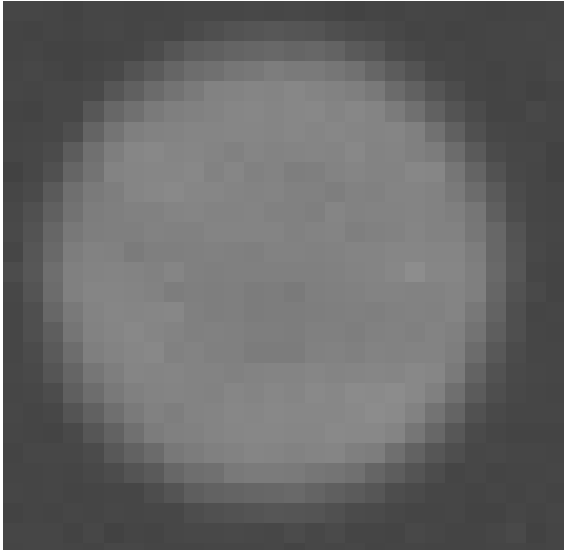


a)

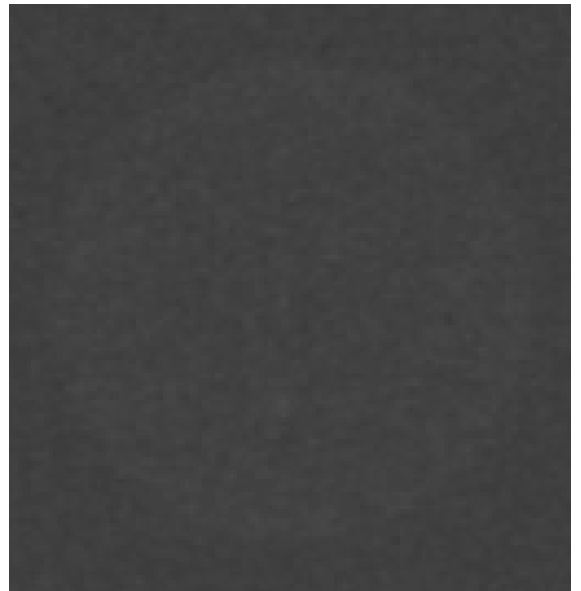


b)

1 pav. a) geros kokybės nuotrauka b) žemo kontrasto nuotrauka



a) šablonas



b) šablonas

2 pav. Aukščiau pateiktų nuotraukų šablonai

Rezultatai

Aprašytas bandymas buvo įvykdytas naudojantis Python programavimo kalba, pasitelkus PyThreshold biblioteką Wolf ir Feng binarizacijos metodams, Scikit-image biblioteką Otsu, Niblack ir Sauvola binarizacijos metodams bei LoG ir DoH dėmių suradimo metodams. Šablono atitiktis suradimui pagal panašumo metodą bei pagal ribų modelį buvo naudojama Open-cv biblioteka. Nuotraukų ir surastų objektų atvaizdavimui buvo naudojama Matplotlib biblioteka. Bandymams buvo naudotos prieš tai pateiktos nuotraukos (1 pav. ir 2 pav.), dalis gautų rezultatų yra 1 priede (nuo 3 pav. iki 8 pav.). Surastos ląstelėms auginti formos pagal šabloną bus pažymėtos jas apibraukiant siauru mėlynu kvadratu. Surastos formos pagal ribų modelį bus pažymėtos mėlyvais gelšvomis linijomis, o surastos dėmės - geltona spalva.

Atlikus bandymus su geros kokybės nuotrauka, buvo pastebėta, kad paieška pagal šabloną nenaudojant binarizacijos veikia, tačiau tuos pačius objektus suranda daug kartų, su mažu poslinkiu aplink objektą. Naudojant Otsu binarizacijos metodą, to yra išvengiama ir taip pat buvo surasta mažiau objektų, kurie turi defektų (3 pav. a) vaizdas). Su Niblack, Sauvola ir Wolf binarizacijos metodais pradinė problema, kad tas pats objektas buvo daug kartų surastas, sustiprėjo, jie buvo surasti dar daugiau kartų, kas padaro šitą metodą prastesniu (3 pav. b) vaizdas). Po Feng binarizacijos, šis paieškos metodas viską pažymėjo kaip atitiktį, todėl jis buvo visiškai neveiksmingas.

Naudojant šablono atitiktį pagal Canny ribų radimo metodą be binarizacijos, yra randami ne visi objektai ir nustatytos ribos yra labai storos. Pritaikius Otsu binarizaciją, ribos tampa plonesnėmis, tačiau yra surandamos atitiktys su prastos kokybės objektais, su kuriais normaliu atveju atitiktis nebūtų surasta (4 pav. a) vaizdas). Niblack, Sauvola ir Wolf metodai, dėl didelio binarizacijos triukšmo, ribomis pažymėjo beveik visą nuotrauką (4 pav. b) vaizdas). Dėl to, automatiškai vertinti nuotraukos neišeitų, bet žmogui gan gerai galima suprasti kur yra ieškomi objektai, nes jų viduje ribų nėra. Feng parodė geriausius rezultatus, gerai pažymėdamas ieškomų objektų ribas, tačiau kartu surado ir mažų objektų, kurie primena ieškomus objektus.

Naudojant dėmių radimą pagal LoG ir DoH metodus netaikant binarizacijos, rezultatai buvo panašūs. Naudojant 0.1 ribą ir ieškant dėmių, kurių dydis būtų [0, 30], šie metodai surado visus ieškomus objektus, bet taip pat rado keletą blogų objektų (5 pav.). LoG algoritmas šiuo atveju pasirodė geriau. Rezultatai pritaikius Otsu binarizaciją buvo truputį prastesni, nei be binarizacijos, nes buvo surasta daugiau objektų, kurių nereikia surasti (6 pav.). Kitų binarizacijos metodų pritaikyti nepavyko, nes jie nepabaigdavo savo darbo per valandą arba, jei pabaigdavo darbą po ilgo laiko, visą nuotrauką pažymėdavo kaip dėmę. Taip, ko gero, nutiko, nes LoG ir DoH metodai yra labai jautrūs triukšmui, o daugelis lokalių binarizacijos metodų triukšmą šiose nuotraukose išryškino.

Atlikus bandymus su prastos kokybės (žemo kontrasto, triukšminga) nuotrauka, buvo pastebėta, kad norint surasti atitiktis pagal šabloną, reikia nustatyti žymiai aukštesnę ribinę reikšmę, dažnai didesnę už 0.98 (jeigu reikšmė 1 - aptinkamas visas vaizdas) (7 pav. a) vaizdas). Tai reiškia, kad nors objektai atrodo vienodi žmogaus akiai, dėl nuotraukos triukšmo, jie suradimo metodams atrodo kaip beveik visiškai skirtingi (7 pav. b) vaizdas). Šiuo atveju pritaikius Wolf binarizacijos metodą nebuvo surastas nei vienas objektas, o pritaikius kitus metodus - tik po vieną objektą, kuris buvo naudojamas kaip šablonas. Tai įvyko, nes nuotraukos tapo labai triukšmingos.

Naudojant šablono atitiktį pagal Canny ribų radimo metodą be binarizacijos, viskas nuotraukoje yra pažymima kaip ieškomas objektas. Metodui nuotrauka yra per daug panaši visose vietose, kad būtų surandamas skirtumas. Pritaikius binarizacijos metodus rezultatas tampa tik truputį geresnis, tačiau su visais binarizacijos metodais yra randamas tik pradinis objektas ir atsitiktinės nuotraukos vietos (8 pav.).

Žemo kontrasto ir triukšmingos nuotraukos neišėjo panaudoti su LoG ir DoH metodais. Be binarizacijos, šie metodai nieko nerasdavo dėl per žemo kontrasto. Pritaikius binarizaciją, šie metodai viską pažymėdavo kaip dėmes, nes nuotraukose būdavo labai daug triukšmo.

Apibendrinus gautus rezultatus (3 lentelė), labai žemo kontrasto nuotraukose visi metodai veikia labai prastai. Tokiais atvejais, prieš ieškant objektų, reiktų pritaikyti kokį nors filtrą, kad būtų pakeltas kontrastas ir sumažintas triukšmas. Jeigu nuotraukos kokybė nėra visiškai prasta, daugeliu atveju Otsu metodas pagerina metodų veikimą. Taip yra, nes jis yra globalus binarizacijos metodas, todėl išvengia padidėjusio triukšmo, kuris atsiranda naudojant lokalius binarizacijos metodus. Iš bandymų, geriausius rezultatus parodė šablono atitikties radimas naudojant NCC panašumo įvertinimo metodą nuotraukai pritaikius Otsu binarizacijos metodą.

3 lentelė. Binarizacijos įtaka objektų suradimo pagal šabloną metodams

Binarizacijos metodas	NCC		Canny	
	Geros kokybės nuotrauka	Prastos kokybės nuotrauka	Geros kokybės nuotrauka	Prastos kokybės nuotrauka
Otsu	Geriau	Prasčiau	Geriau	Prasčiau
Niblack	Prasčiau	Prasčiau	Prasčiau	Prasčiau
Sauvola	Prasčiau	Prasčiau	Prasčiau	Prasčiau
Feng	Prasčiau	Prasčiau	Geriau	Prasčiau
Wolf	Prasčiau	Prasčiau	Prasčiau	Prasčiau

Išvados

Šiame darbe buvo išnagrinėti populiarūs skaitmeninių vaizdų binarizacijos ir aptikimo metodai ir atliktas bandymas, kurio tikslas buvo ištirti binarizacijos įtaką objektų aptikimo metodų kokybei.

Atlikus bandymus su geros kokybės nuotraukomis, buvo gauta išvada, kad Otsu binarizacijos metodas pagerina objektų aptikimo metodų rezultatus. Beveik visi lokalūs binarizacijos neparodė pagerintų rezultatų, todėl buvo padaryta išvada, kad globalūs binarizacijos metodai geriau tinka naudotiems objektų aptikimo metodams.

Atlikus bandymus su prastos kokybės nuotraukomis, buvo gauta išvada, kad, taikant prastos kokybės nuotraukoms, ypač triukšmingoms nuotraukoms, binarizacijos metodai nepagerina objektų aptikimo rezultatų, o kartais juos ir pablogina.

Literatūra

- [AAT16] Deepika Adlakha, Devender Adlakha ir Rohit Tanwar. Analytical comparison between sobel and prewitt edge detection techniques. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7, 2016.
- [Als12] Fawaz Alsaade. Fast and accurate template matching algorithm based on image pyramid and sum of absolute difference similarity measure. *Research Journal of Information Technology*, 4, 2012.
- [AMS⁺17] Susmitha A., Ishani Mishra, Divya Sharma ir Parul Wadhwa. Implementation of canny's edge detection technique for real world images. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 48, 2017.
- [CRL06] J. M. Cutler, D. W. Rains ir R. S. Loomis. The importance of cell size in the water relations of plants. *physiologia plantarum*, 20, 2006.
- [FT04] Meng-Ling Feng ir Yap-Peng Tan. Constrast adaptive binarization of low quality document images. *IEICE Electronics express*, 1, 2004.
- [GPP05] B. Gatos, I. Pratikakis ir S.J. Perantonis. Adaptive degraded document image binarization. *The journal of pattern recognition society*, 39, 2005.
- [HYA⁺15] M. B. Hisham, Shahrul Nizam Yaakob, Raof R. A. A, A.B A. Nazren ir N.M.Wafi. Template matching using sum of squared difference and normalized cross correlation. *School of Computer and Communication Engineering, University Malaysia Perlis, Kangar, Perlis, Malaysia*, 2015.
- [Hin05] Stefan Hinz. Fast and subpixel precise blob detection and attribution. *IEEE International Conference on Image Processing*, 2005.
- [You11] Jamileh Yousefi. Image binarization using otsu thresholding algorithm, 2011.
- [JCS⁺16] Jyotsna, Shivani Chauhan, Ekta Sharma ir Amit Doegar. Binarization techniques for degraded document images - a review. *International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO)*, 5, 2016.
- [JW04] Jean-Michel Jolion ir Christian Wolf. Extraction and recognition of artificial text in multimedia documents. *Formal Pattern Analysis & Applications*, 6, 2004.

- [KAS13] Hui Kong, Hatice Cinar Akakin ir Sanjay E. Sarma. A generalized laplacian of gaussian filter for blob detection and its applications. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 43, 2013.
- [MCG⁺18] Brendan P. Marsh, Nagaraju Chada, Raghavendar Reddy Sanganna Gari, Krishna P. Sigdel ir Gavin M. King. The hessian blob algorithm: precise particle detection in atomic force microscopy imagery. *Scientific reports*, 2018.
- [SC12] G.T. Shrivakshan ir Dr.C. Chandrasekar. A comparison of various edge detection techniques used in image processing. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, 9, 2012.
- [SH16] Yuncong Sun ir Zongshun Hu. Improvement of image matching method based on gray value and contracting mapping principle. *Advances in Computer Science Research*, 71, 2016.
- [SP99] J. Sauvola ir M. PietikaKinen. Adaptive document image binarization. *The journal of pattern recognition society*, 33, 1999.
- [SS06] Sukhdev Singh ir Dharam Veer Sharma. Binarisation algorithms analysis on document and natural scene images, 2006.
- [SS15] Sukhdev Singh ir Dharam Veer Sharma. Binarisation algorithms analysis on document and natural scene images. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 3, 2015.
- [SS16] Paridhi Swaroop ir Neelam Sharma. An overview of various template matching methodologies in image processing. *International Journal of Computer Applications*, 153, 2016.
- [XLB⁺12] Hongming Xu, Cheng Lu, Richard Berendt, Naresh Jha ir Mrinal Mandal. Automatic nuclei detection based on generalizedlaplacian of gaussian filters. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 11, 2012.

Santrumpos

SSD - kvadratinų skirtumų sumos metodas (angl. sum of square differences).

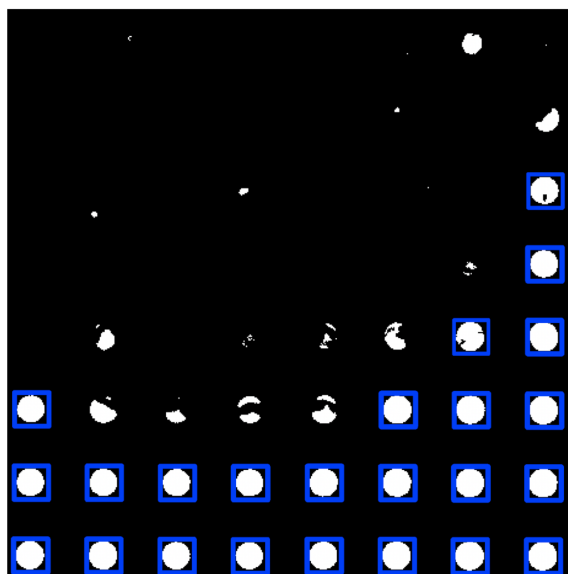
SAD - absoliučių skirtumų sumos metodas (angl. sum of absolute differences).

NCC - normalizuotos kryžminės koreliacijos metodas (angl. normalized cross correlation).

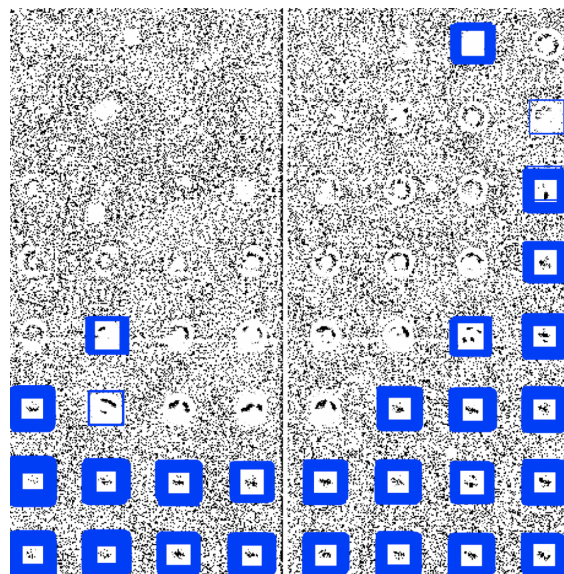
LoG - Laplasianinis Gauso filtras (angl. Laplacian of Gaussian).

DoH - Hessian metodas (angl. determinant of the hessian).

1 priedas

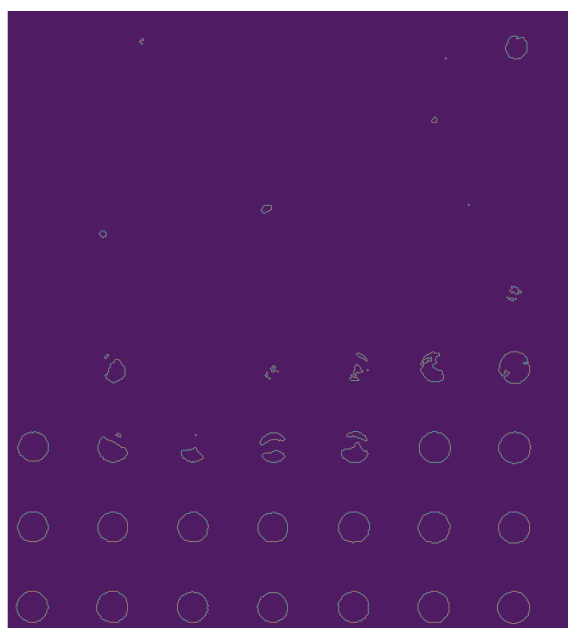


a)

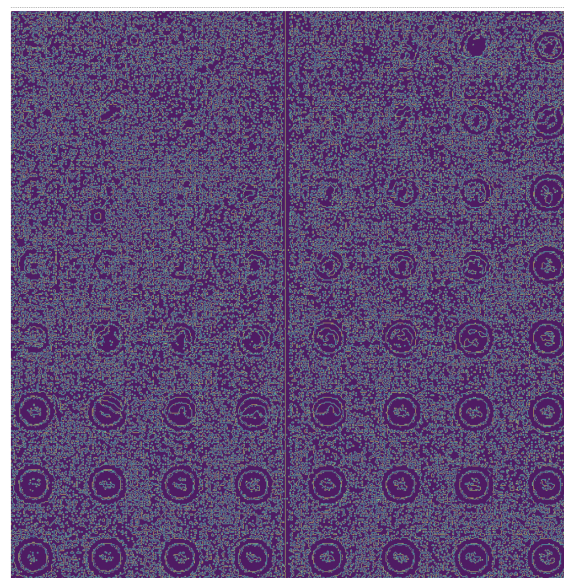


b)

3 pav. Šablono atitikties suradimas su a) Otsu binarizacija b) Niblack binarizacija

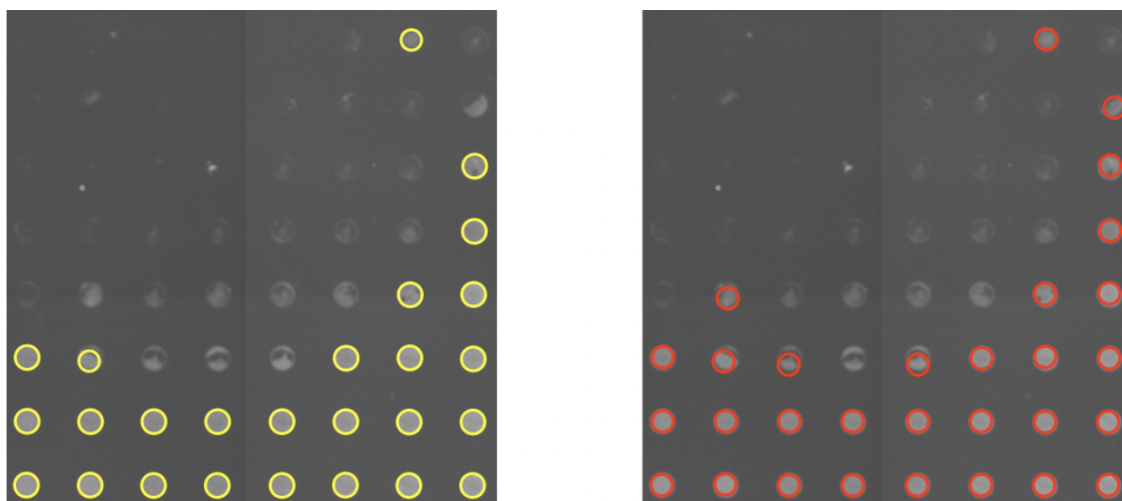


a)



b)

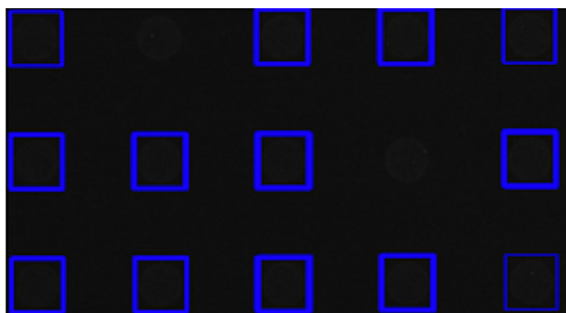
4 pav. Šablono atitikties suradimas pagal ribas su a) Otsu binarizacija b) Sauvola binarizacija



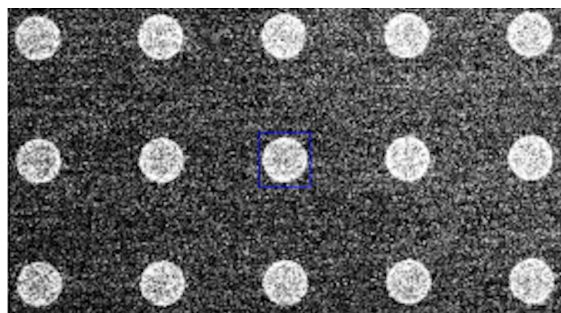
5 pav. LoG ir DoH metodų rezultatai be binarizacijos



6 pav. LoG metodo rezultatai su Otsu binarizacija

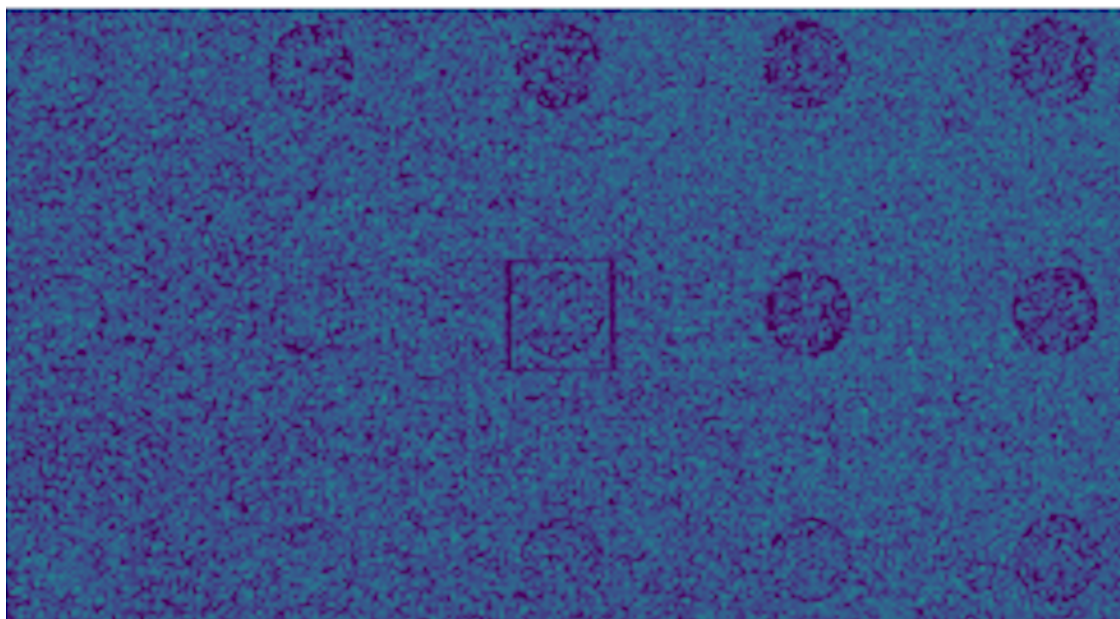


a)



b)

7 pav. Prastos kokybės nuotraukos šablono atitikties suradimas a) be binarizacijos b) su Otsu binarizacija



8 pav. Šablono atitikties suradimas pagal ribas naudojant Otsu binarizaciją