

VAIZDO KONTŪRŲ NUSTATYMO BŪDŲ ANALIZĖ

Ramūnas Laskauskas, Vytautas Vyšniauskas
 Šiaulių universitetas, Technologijos fakultetas

Įvadas

Skaitmeninis vaizdo apdorojimas yra veiksmas, kai kompiuteriu pakeičiamas pradinis vaizdas, siekiant išryškinti matomus arba atskleisti paslėptus jo objektus. Skaitmeninis vaizdo apdorojimas yra daugelio disciplinų tyrimų objektas, kuris remiasi fizikos, matematikos, inžinerijos ir kompiuterių mokslais. Jis plačiai taikomas inžinerijos, medicinos, kosminės erdvės ir kituose tyrimuose.

Vaizde paprastai yra įvairios informacijos apie jame esančius objektus. Tai objektų tarpusavio padėtis, santykinis dydis ar atstumas tarp jų, objektų spalvos ir tekstūros. Dažnai daugumai uždavinių pakanka tik dalies šios informacijos, kartu būtų galima sumažinti apdorojamų duomenų apimtį ir žymiai padidinti apdorojimo spartą.

Viena iš vaizdo informacijos dalių yra kontūras. *Kontūras* – tai riba tarp tamsios ir šviesios vaizdo dalies. Kontūrai parodo ryškius vaizdo intensyvumo pasikeitimus, kurie gali būti objekto dalis ar objekto paviršiaus atspindys. Kontūras yra ten, kur susiduria vertikalūs ir horizontalūs paviršiai [1]. Realiai tai, kas atrodo tarsi vieno objekto kontūras, gali apimti kitų objektų kontūrus arba būti tik šviesos šešėlis, kuris atrodo panašus į kontūrą. Todėl kontūro nustatymas yra sudėtingas ir komplikotas uždavinys kompiuteriui.

Kontūro nustatymas dažniausiai yra subjektyvi užduotis net ir naudojant kompiuterį. Paprastai lengva aptikti akivaizdžius kontūrus, bet esama ir nelabai aiškiai matomų. Jeigu programa užfiksuoja visus taško intensyvumo pasikeitimus ir netolygumus paveiksle, tai šis paveikslas nelabai skirsis nuo pradinio, užpildyto tekstūra ar triukšmu.

Taigi, kontūro automatinis aptikimas negali būti šimtaprocentinis. Jis turi būti interaktyvus, reikalaujantis įvesties parametru ir bent kelių bandymų. Kontūro aptikimo kokybė priklauso nuo paveikslo turinio, apšviestumo, apšviestumo tolygumo ir daugybės kitų priežasčių.

Kontūrai atspindi atskirų paveikslo dalių dislokaciją. Išskyrus iš paveikslo kontūrus, galima žymiai sumažinti apdorojamų duomenų kiekį, išsaugant pagrindines paveikslo savybes, atskirų objektų dydį ir dislokaciją. Dažnai, apdorojant vaizdus, yra svarbiau objektų dydis ir padėtis, o ne jų spalva ar tekstūra. Pavyzdžiui, radijo ir ultragarsinės lokacijos duomenys, echoskopijos, radiologijos, angioskopijos ir kiti medicininiai vaizdai, o taip pat infraraudono, matomos ir ultravioletinio

spektro fotonuotraukos, naudojamos geodezijoje, meteorologijoje ir kitose techninių mokslų srityse. Esama sričių, kuriose vaizdo apdorojimui keliami specifiskai siauresni reikalavimai arba yra žinomos papildomos objektų savybės, pavyzdžiui, objekto forma arba faktūra. Tai žymiai pagerina kontūro išskyrimo galimybes. Kita kontūrų nustatymo automatizavimo priemonė yra metodai, kuriuose taikomi neuroniniai tinklai apmokomi atpažinti specifinius objektus.

Kompiuterio programa tikriausiai niekada negalės sudaryti tokio kontūrinio paveikslo vaizdo, kokį gali sudaryti žmogus, nes žmogus šiam procesui pasitelkia visą sukauptą patirtį ir gabumus.

Problema. Kontūrams nustatyti taikoma daug metodų, todėl nelabai aišku, kuris jų efektyviausias. Kita vertus, kiekvienas metodas turi tam tikrų savitumų, nuo kurių priklauso kontūro kokybė ir patikimumas. Metodų aprašymuose ir kitoje literatūroje apie vaizdų apdorojimą nekomentuojama, kuris metodas geresnis arba kokiems paveikslams reikėtų taikyti vieną ar kitą metodą. Literatūroje nenurodoma, kokias parametrų reikšmes reikia nustatyti, kad būtų galima gauti geriausią rezultatą.

Tikslas – palyginti dažniausiai taikomus kontūrų nustatymo metodus, pateikti jų taikymo rekomendacijas bei nustatyti statistines reguliuojamų parametrų kitimo ribas.

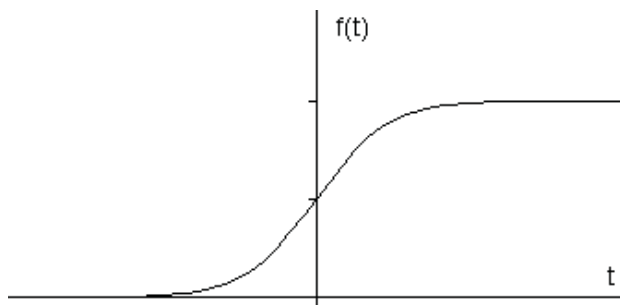
Uždaviniai – išsiaiškinti, kurie kontūrų nustatymo metodai yra geresni, kokioms paveikslų scenoms kurie metodai tinka geriau, kokiose ribose reikia keisti parametrus.

Tyrimo metodai – pasirinkti įvairių scenų paveiksiai su dideliais, mažais ir įvairių formų objektais. Kiekvienam paveiksliui taikant visus kontūro nustatymo metodus, patvirtinami metodo parametrai, kai gaunamas geriausias kontūrinis paveikslas. Paveikslų reikia parinkti tiek, kad būtų galima daryti statistines išvadas.

Kontūrų nustatymo būdų apžvalga

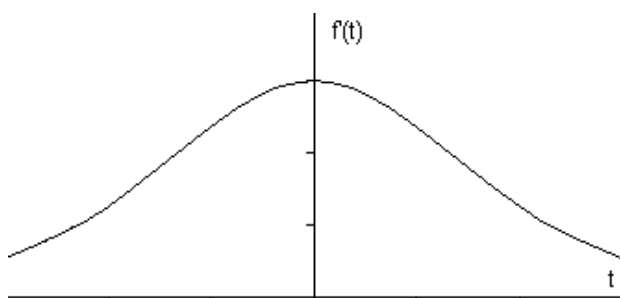
Kontūrų išskyrimui taikomi du būdai: *gradiento* ir *antrosios išvestinės*.

Panagrinėkime abiejų būdų taikymą ir gaunamą rezultatą, t. y. 1 pav. atkurtus vaizdo intensyvumo pasikeitimus [2, 3]. Vaizdo intensyvumą galima parodyti kaip laiko funkciją $f(t)$.



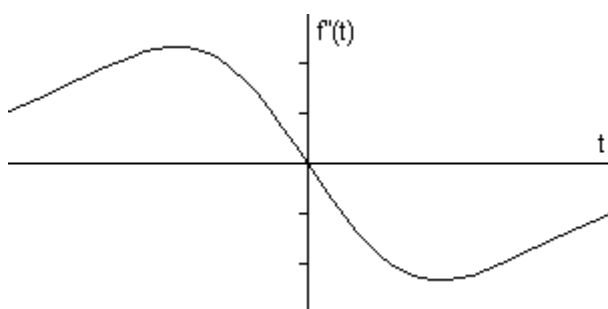
1 pav. Vaizdo intensyvumo pokytis

Gradiento metodo funkcijos $f(t)$ išėjimas pavaizduotas 2 pav. Čia didžiausią intensyvumo pasikeitimą, vaizdo kontūrą, atitinka išėjimo funkcijos maksimumas, jei intensyvumas padidėja, arba minimumas, jei intensyvumas sumažėja. Reikia pabrėžti, kad šie ekstremumai yra lokalūs. Išėjimo amplitudė tiesiogiai priklauso nuo vaizdo intensyvumo pokyčio dydžio ir kitimo greičio, t. y., kuo ryškesnis kontūras – tuo didesnė funkcijos reikšmė.



2 pav. Vaizdo intensyvumo gradientas

Antrosios išvestinės fizikinė prasmė yra pagreitis, todėl kontūro tašką atitinka funkcijos $f''(t)$ nulinė reikšmė intervale, kai funkcija keičia ženklą (3 pav.).



3 pav. Vaizdo intensyvumo antroji išvestinė

Išėjimo bangų amplitudė priklauso nuo vaizdo intensyvumo pokyčio dydžio ir kitimo greičio. Kuo didesnis vaizdo intensyvumo pokytis ir jo greitis, tuo didesnė bangų amplitudė. Kai kuriose programose įvertinamas funkcijos statusas perėjimo per nulį taške. Funkcijos statusas apibūdina kontūro ryškumą, arba aiškumą.

Tyrimui pasirinkti šie gradiento metodo filtrai: Cany [4], Sobel [5], Roberts [6], Perwitt [7]. Antrosios išvestinės metodo tyrimui: Zerocross [8], Laplasian [9], LoG [9], Marr – Hildreth [10].

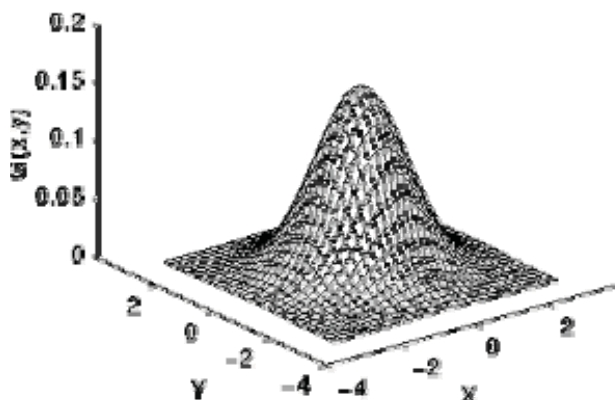
Ieškant kontūrų, visada taikomas vaizdo suglotninimas, kuris sumažina vaizdo triukšmus, ryškumo pokyčio statumą, kuris kartais būna ir nepageidaujamas. Dažniausiai taikomas „Gauso suglotninimo filtras“ (Gaussian Blur Filter).

Fotografija arba vaizdo jutiklio vaizdas visada yra dvimatis, nes visais atvejais vaizdas yra projektuojamas plokštumoje. Todėl filtrui turi būti naudojamas 2-D, izotropinis, apvaliai simetriškas z ašies atžvilgiu, Gauso skirstinys su maksimumu, kai $x = y = 0$. Toks skirstinys aprašomas dviejų argumentų lygtimi (1):

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

kur σ yra standartinis pasiskirstymo nuokrypis.

Šio skirstinio grafikas yra pavaizduotas 4 pav.



4 pav. 2-D Gauso pasiskirstymas su centru (0, 0) ir $\sigma = 1,0$

Skaitmeninis vaizdas yra diskretinis, todėl jų apdorojimui taikoma aproksimuota diskretinė Gauso funkcija. Teoriškai Gauso skirstinys niekada nelygus nuliui net labai toli nuo centro, tačiau, imant tris standartinius nuokrypius, Gauso funkcijos reikšmė yra labai artima nuliui, todėl funkciją galima nupjauti šiame taške.

Aproksimuotas sveikaisiais skaičiais sąsūkos branduolys, kuris apskaičiuotas Gauso pasiskirstymui su standartiniu nuokrypiu $\sigma = 1,0$, pateiktas 5 pav.

$\frac{1}{273}$	1	4	7	4	1
	4	16	26	16	4
	7	26	41	26	7
	4	16	26	16	4
	1	4	7	4	1

5 pav. Aproximuota Gauso funkcija, apskaičiuota standartiniam nuokrypiui $\sigma = 1,0$

Sąsūka [12] – paprasta matematinė operacija, svarbiausia daugeliui bendrų vaizdo apdorojimo operatorių.

Jei atvaizdas turi M eilučių ir N stulpelių, o branduolys turi m eilučių ir n stulpelių, tai išėjimo atvaizdas turės $M - m + 1$ eilučių, ir $N - n + 1$ stulpelių. Tada sąsūką galima aprašyti formule:

$$O(i, j) = \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n I(i+k-1, j+l-1)K(k, l), \quad (2)$$

kur i kinta nuo 1 iki $(M - m + 1)$ ir j nuo 1 iki $(N - n + 1)$, indeksuotas kintamasis $I(i, j)$ yra vaizdas (image), o $K(k, l)$ yra branduolys (kernel).

Sąsūka atliekama praslystant branduoliui virš paveikslo, dažniausiai pradedant iš viršutinio kairiojo kampo, kad būtų pereita su branduoliu per visus vaizdo taškus (pikslius). Kiekviena branduolio padėtis atitinka vieną išėjimo vaizdo elementą, kurio vertė apskaičiuojama dauginant branduolio vertę ir pagrindinę atvaizdo elemento vertę kiekvienai iš laštelių branduolyje ir sudedant visus šiuos skaičius.

Sąsūkos taikomos įgyvendinant daugelį skirtingų operatorių, ypač erdvinius filtrus ir savybių detektorius. Sąsūkai apskaičiuoti būtina atlikti daug aritmetinių veiksmų, tačiau kompiuteriu visa tai atliekama labai greitai.

Tyrimo metodas

Vaizdo kontūrų nustatymo metodams tirti buvo pasirinkta 100 įvairaus turinio paveikslų su įvairių dydžių ir įvairiu skaičiumi elementų. Visi šie paveikslai buvo konvertuojami į nespaltvotus (grayscale), po to suglotninti Gauso filtru (Gaussian Blur Filter). Tam tikras suglotninimas prieš taikant kontūro išskyrimo metodus (filtrus) dažniausiai

būtinai, nes išlygina mažas bangeles vaizde ir taip sumažina klaidingai atpažintų kontūrų skaičių, o svarbiausia, sumažina vaizdo triukšmus. Bangelių atsiradimo priežastis dažniausiai yra vaizdo sugludinimas, o triukšmo – vaizdo jutiklio ir dėl kvantavimo atsiradę triukšmai. Vaizdo triukšmas dažniausiai būna vieno taško (pixel) dydžio. Triukšmas gali pasireikšti kaip tamsūs (pepper noise) arba kaip šviesūs (salt noise) taškai.

Suglotninimas buvo parenkamas atsižvelgiant į paveikslo turinį, t. y. paveiksliui su smulkesnėmis detalėmis buvo parenkama didesnė suglotninimo reikšmė, o paveiksliui su stambesnėmis arba turinčiam mažiau detalių – mažesnė.

Tyrimui pasirinkti 8 populiariausi vaizdo kontūrų nustatymo metodai: Canny, Sobel, Prewitt, Roberts, Zerocross, Laplacian, LoG, Marr-Hildreth. Šie metodai pasirinkti specialiai, nes jie yra ne tik populiariausi kontūrų išskyrimo metodai, bet ir realizuoti „Matlab“ programoje. Šiame darbe reikia iširti ir palyginti įvairius vaizdo kontūro nustatymo metodus, todėl patogiau pasinaudoti jau sukurtomis priemonėmis, kad nereikėtų programuoti jau žinomus kontūrų suradimo algoritmus.

Atliekant tyrimus visais 8 metodais, kiekvienam paveiksliui buvo subjektyviai parinkti optimaliausi parametrai (slenkstinė reikšmė, suglotninimo koeficientas arba σ), kad būtų geriausiai matomi svarbiausi paveikslo kontūrai ir mažiausiai – kontūrams nepriklausančios linijos (šiuokšlių). Canny ir LoG metodams buvo parenkama parametro σ (sigma) reikšmė, kuri yra standartinis Gauso nuokrypis. Tai parametras, kuriuo galima nustatyti glotninimo dydį ir sumažinti vaizdo triukšmus.

Anksčiau išvardintais metodais gavus visų paveikslų geriausius kontūrus ir užfiksavus slenkstines reikšmes, buvo nustatytos jų kitimo ribos kiekvienam kontūro išskyrimo metodui.

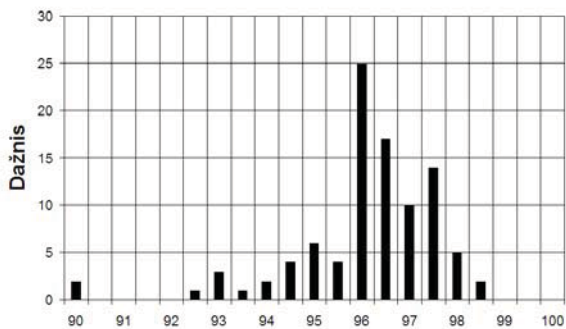
Tyrimo rezultatai

Vaizdo kontūrų nustatymo metodams tirti buvo surasti parametrai, kai gaunamas geriausias kiekvieno paveikslo kontūrinis vaizdas kiekvienam kontūro išskyrimo metodui. Šie darbai atlikti kiekvienam paveiksliui ir metodui parenkant reikalingus nustatymus. Po ilgo ir kruopštaus darbo sudaryti aštuoni rinkiniai po šimtą kontūrinių vaizdų ir juos atitinkančių slenkstinių reikšmių sąrašai.

Duomenys apdoroti MS Excel statistiniu paketu ir sudarytos slenkstinių reikšmių histogramos kiekvienam metodui.

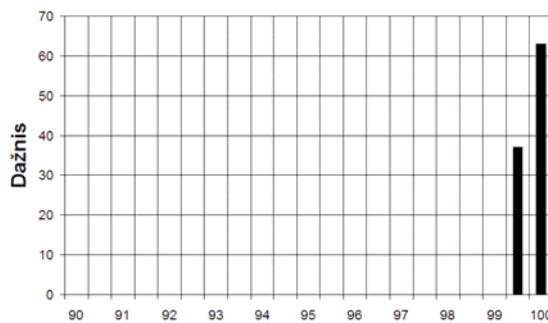
6–13 pav. parodytos slenkstinių reikšmių histogramos, kai gaunami geriausi kontūriniai paveikslai.

Histograma



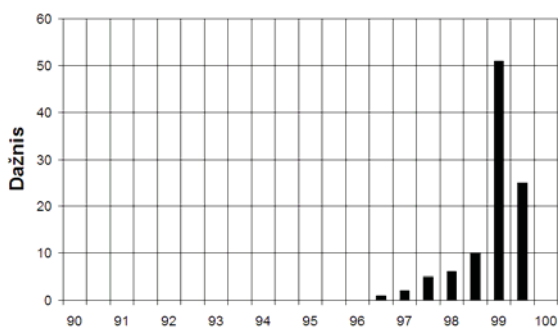
6 pav. Slenkstinės reikšmės Canny metodui

Histograma



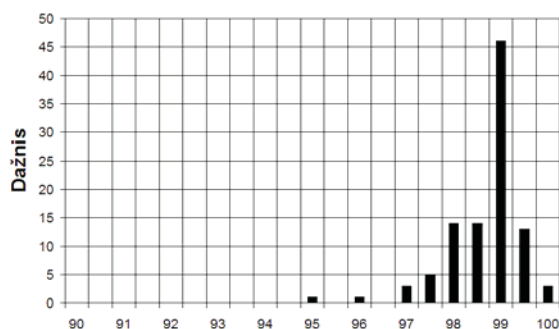
10 pav. Slenkstinės reikšmės Laplacian metodui

Histograma



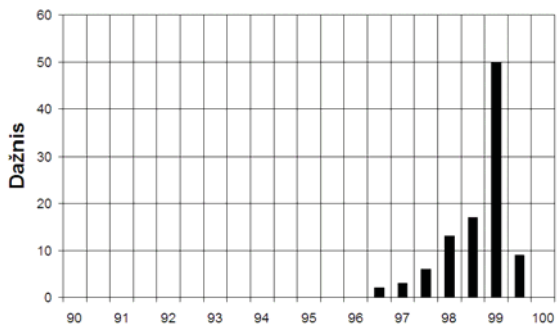
7 pav. Slenkstinės reikšmės Perwit metodui

Histograma



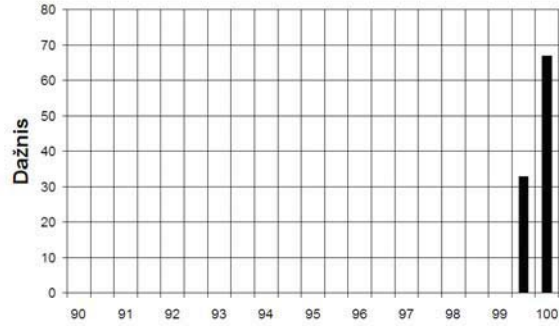
11 pav. Slenkstinės reikšmės LoG metodui

Histograma



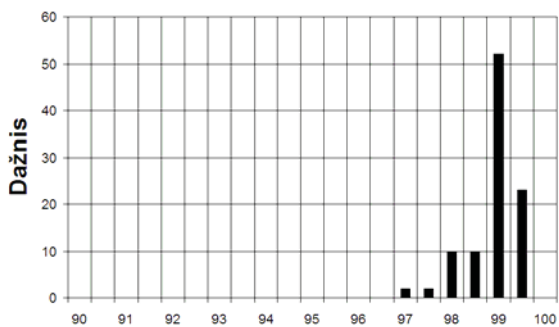
8 pav. Slenkstinės reikšmės Roberts metodui

Histograma



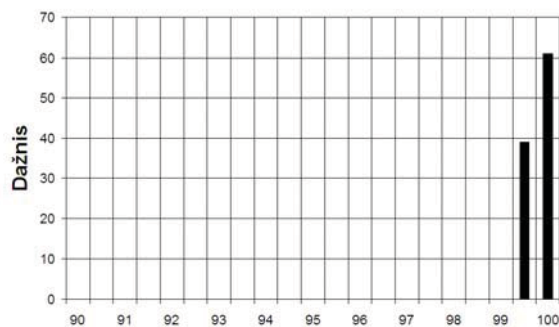
12 pav. Slenkstinės reikšmės Zerocross metodui

Histograma



9 pav. Slenkstinės reikšmės Sobel metodui

Histograma



13 pav. Slenkstinės reikšmės Marr-Hildreth metodui

Iš histogramų akivaizdu, kad daugeliu atvejų gauti geriausi kontūrai, kai slenkstinės reikšmės išsidėsčiusios arti 100% reikšmės ir apima tik kelių procentų diapazoną.

Visų ištirtų metodų slenkstinių reikšmių diapazonai ir dažniausiai pasitaikiusios reikšmės pateiktos lentelėje.

Lentelė. *Slenkstinių reikšmių diapazonai*

Metodas	Slenkstinės reikšmės diapazonas		Dažniausiai pasitaikė (%)
	min.	max.	
Canny	95,0	98,0	96,0 (25%)
Prewitt	97,5	99,5	99,0 (51%)
Roberts	97,0	99,0	99,0 (50%)
Sobel	97,0	99,5	99,0 (52%)
Laplacian	99,5	100	100,0 (49%)
LoG	97,0	99,5	99,0 (46%)
Zerocross	99,5	100,0	100,0 (67%)
Marr-Hildreth	99,5	100,0	100,0 (49%)

Išvados

1. Tyrimo metu nepastebėta, kad kuris nors metodas labiau tiktų kokioms nors paveikslų scenų grupėms.
2. Kontūrų išskyrimo kokybė labiau priklauso nuo paveikslo kokybės nei nuo pasirinkto metodo.
3. Kiekvienas metodas turi jam būdingą slenkstinių reikšmių diapazoną.
4. Kiekvienam paveiksliui reikia nustatyti jam geriausiai tinkančią slenkstinę reikšmę.
5. Geriausių slenkstinių reikšmių diapazonas sudaro kelis procentus nuo didžiausio intensyvumo.
6. Pasinaudojus atlikto tyrimo rezultatais, slenkstinės reikšmės keitimo ribas galima sumažinti iki kelių procentų ir pagreitinti rezultatą.

Literatūra

1. Gonzales R. C., Woods R. E., 2001, *Digital Image Processing*. Prentice Hall. P. 572–585
2. Green B., 2002, *Edge Detection Tutorial*. [žiūrėta 2008 04 20]. Prieiga per internetą: <<http://www.pages.drexel.edu/~weg22/edge.html>>.
3. Nadernejad N., 2008, *Edge Detection Techniques: Evaluations and Comparisons*. Applied Mathematical Sciences. Vol. 2. Nr. 31. P. 1507–1520.
4. Green B., 2002, *Canny Edge Detection Tutorial*. [žiūrėta 2008 01 20]. Prieiga per internetą: <http://www.pages.drexel.edu/~weg22/can_tut.htm>.
5. HIRP2 Group, 2005, *Sobel Edge Detector*. [žiūrėta 2008 01 20]. Prieiga per internetą: <<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/sobel.htm>>.
6. HIRP2 Group, 2005, *Roberts Cross Edge Detector*. [žiūrėta 2008 02 10]. Prieiga per internetą: <<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/roberts.htm>>.
7. IDL Online Help, 2007, *Perwitt Edge Detector*. [žiūrėta 2008 02 10]. Prieiga per internetą: <http://idlastro.gsfc.nasa.gov/idl_html_help/PREWI TT.html>.
8. HIRP2 Group, 2005, *Zero Crossing Detector*. [žiūrėta 2008 02 10]. Prieiga per internetą: <<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/zeros.htm>>.
9. HIRP2 Group, 2005, *Laplacian/Laplacian of Gaussian*. [žiūrėta 2008 02 10]. Prieiga per internetą: <<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/log.htm>>.
10. *Marr-Hildreth Edge Detection*. [žiūrėta 2008 04 06]. Prieiga per internetą: <http://www.cs.ubc.ca/spider/little/505/lectures/subsection3_11_1.html>.
11. HIRP2 Group, 2005, *Gaussian Smoothing*. [žiūrėta 2008 04 06]. Prieiga per internetą: <<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/gsmooth.htm>>.
12. HIRP2 Group, 2005, *Convolution*. [žiūrėta 2008 04 06]. Prieiga per internetą: <<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/convolve.htm>>.

ANALYSIS OF METHODS FOR IMAGE EDGE DETECTION

Ramūnas Laskauskas, Vytautas Vyšniauskas

Summary

Edge detection is used in image processing when color, texture or other small components of image are not significant but location and collocation of essential objects in the image are important. Usage of edge against to full image processing saves processing time and requires less computation and hardware recourses. The results of analysis of 8 edge detection methods (Cany, Sobel, Roberts, Perwitt, Zerocross, Laplasian, LoG and Marr–Hildreth) that are used in Matlab are introduced here. 100 images with different scenes and size of objects are used to find a usable range of threshold and best threshold value statistically. The threshold for best image edge is near 100% of image brightness and occupies a few percent or a part of percent. The methods' usability depends on image quality. There are no relations between image scene and edge detection method used. Research results are usable to save time and recourses of optimal threshold for edge detection when these methods are used.

Keywords: image processing, contour, edge, threshold, Cany, Sobel, Roberts, Perwitt, Zerocross, Laplasian, LoG and Marr–Hildreth.

VAIZDO KONTŪRŲ NUSTATYMO BŪDŲ ANALIZĖ

Ramūnas Laskauskas, Vytautas Vyšniauskas

Santrauka

Apdorojant skaitmeninį vaizdą, dažnai taikomas metodas, kai apdorojamas vaizdas pakeičiamas kontūriniu vaizdu. Jei nesvarbi vaizdo elementų spalva, tekstūra ar smulkios detalės, o aktualus vaizdo elementų tarpusavio išsidėstymas, tai pilno vaizdo pakeitimas kontūriniu daug kartų sumažina apdorojamų duomenų kiekį ir sutrumpina apdorojimo laiką bei sunaudoja mažiau skaičiavimo resursų. Straipsnyje pateikti 100 paveikslų ir 8 kontūrų išskyrimo metodų (Cany, Sobel, Roberts, Perwitt, Zerocross, Laplasian, LoG ir Marr–Hildreth) tyrimų statistiniai rezultatai. Išsiaiškinti šiems metodams būdingi slenkstinių reikšmių diapazonai, kai gaunami geriausi kontūrai ir statistiškai geriausios slenkstinės reikšmės dydis. Slenkstinių reikšmių dydžiai yra arti 100% ir apima tik kelis procentus arba procento dalis. Kontūrų išskyrimo metodų efektyvumas nepriklauso nuo paveikslo scenos, jis labiausiai priklauso nuo paveikslo kokybės. Tyrimo rezultatai leidžia mažinti sugaištamo laiko, nustatant optimalias slenkstines reikšmes minėtiems kontūro išskyrimo metodams, sąnaudas.

Prasminiai žodžiai: vaizdo apdorojimas, kontūras, Cany, Sobel, Roberts, Perwitt, Zerocross, Laplasian, LoG ir Marr–Hildreth.

Įteikta 2008-10-20