

INTEGRINIŲ GRANDYŲ VAIZDŲ SEGMENTAVIMO
KOKYBĖS OPTIMIZAVIMAS

Gintautas Mušketas

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
El. paštas gintautas.musketas@vgtu.lt

Santrauka. Nagrinėjamas genetinių algoritmų taikymas integrinių grandynų aktyviųjų sričių vaizdams segmentuoti. Teoriškai aprašomi taikomi segmentavimo metodai (morfologinis plėtimas, erozija, pataikymo-nepataikymo transformacija, slenksčio funkcija), genetiniai algoritmai. Vaizdo segmentavimas apibrėžiamas kaip optimizavimo problema. Atliekamas eksperimentiškai parinktos filtrų sekos parametrų optimizavimas ir parodoma, kad optimizuota filtrų seka gaunami 6 % geresni rezultatai.

Reikšminiai žodžiai: optimizavimas, genetiniai algoritmai, integriniai grandynai, vaizdo segmentavimas.

Įvadas

Atliekant vaizdo analizę vienas iš esminių žingsnių yra vaizdo segmentavimas. Šis procesas išskiria objektus, esančius vaizde, ir leidžia atlikti aukštesnio lygio vaizdo apdorojimą: klasifikavimą ar identifikavimą. Šioje srityje dirba daugelis tyrėjų, tačiau optimalaus segmentavimo algoritmo nėra sukurta. Segmentavimo metodus galima skirstyti į grupes (Sonka *et al.* 2008): slenksčio (Masalskis, Navickas 2010), kraštinių išskyrimo (Cui *et al.* 2008; Jin-Yu *et al.* 2009), regiono išskyrimo (Qin, Clausi 2010), grupavimo (Shirakawa, Nagao 2009). Tinkamiausias metodas parenkamas atsižvelgiant į segmentuojamo vaizdo ypatybes. Sunkumų kyla, kai segmentavimas turi būti pritaikytas prie besikeičiančių aplinkos sąlygų, pvz., vaizdo gavimo įrangos ar apšvietimo. Vaizdo segmentavimas taikomas automatizavimo, gamybos ir kokybės valdymo srityse, t. y. visur, kur reikia išmatuoti ar kitaip nustatyti ir įvertinti objektą. Tolesnė vaizdo analizė tiesiogiai priklauso nuo segmentavimo kokybės. Vaizdo segmentavimas yra svarbus integrinių grandynų vaizdinės patikros žingsnis, nes teisingai nustatčius defektus, atliekant automatizuotą gaminio ir projekto sulyginimą, galima sumažinti gamybos sąnaudas ir broką.

Integrinių grandynų vaizdai, gaunami optiniu mikroskopu, paprastai būna prastos kokybės, netolygaus apšvietimo, su nuolatiniais optikos defektais – visa tai ir apsunkina tinkamą segmentavimo metodų parinkimą. Tyrėjui rankiniu būdu parinkus priimtina segmentavimo kokybę užtikrinančią vaizdo apdorojimo filtrų seką, visiškai korektiškai segmentuojama, bet ne visa vaizdo sritis, o tai padidina patikros klaidos tikimybę. Siekiant užtikrinti optimalų sprendimą, taikomi įvairūs ieškos metodai, atkainimo, neraiškiosios logikos ir genetiniai algoritmai.

Optimizavimas

Vaizdo segmentavimą, kaip optimizavimo problemą, galima apibrėžti taip: egzistuojančioje baigtinėje srityje egzistuoja funkcija

$$f : D \rightarrow R, \quad (1)$$

čia R – realiųjų skaičių imtis, kuriai esant f yra geriausios reikšmės srityje D . Geriausios vertės nustatymą D srityje suprantame kaip

$$\mathbf{x} \in D, \quad (2)$$

čia \mathbf{x} – funkcijos f minimalių (3) ar maksimalių (4) verčių vektorius:

$$f_{\min}(\mathbf{x}) = \min_{\mathbf{x} \in D} f(\mathbf{x}), \quad (3)$$

$$f_{\max}(\mathbf{x}) = \max_{\mathbf{x} \in D} f(\mathbf{x}), \quad (4)$$

čia f_{\min} ir f_{\max} – vadinamosios tikslo funkcijos, kurios yra ekvivalenčios ir parenkamos atsižvelgiant į situaciją.

Norint gauti optimalų sprendinį, būtina sąlyga yra tikslo funkcijos tinkamumo parametras. Taigi esminė sąlyga tinkamam segmentavimui – tinkamumo parametro parinkimas.

Genetiniai algoritmai

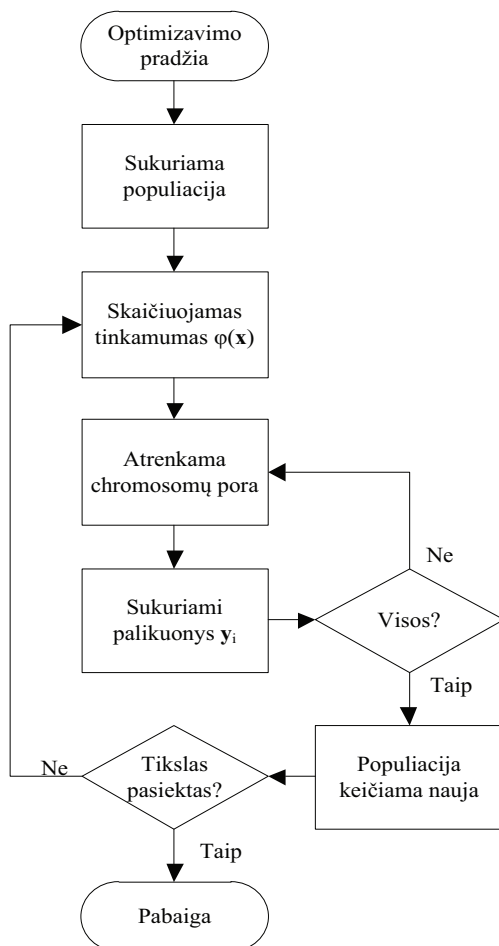
Genetiniai algoritmai (GA) (Holland 1992) yra globalios paieškos algoritmai, kai taikomi natūralios evoliucijos principai (Sonka *et al.* 2008; Xiao 2010) tikslo funkcijos maksimumui ar minimumui nustatyti.

Genetiniai algoritmai negarantuoja globalaus optimumo radimo, tačiau empiriniai tyrimai rodo, kad rezultatas yra artimas jam. Šio metodo paieškos procesas nepriklauso

nuo problemos srities. Pagrindiniai genetinių algoritmų elementai vadinami individais. Individų rinkinys sudaro populiaciją. Kiekvienos iteracijos metu, vadinamos karta, atskiras individas atgaminamas ir perderinamas atsižvelgiant į jo tinkamumą. Tikėtinas rekombinacijų skaičius individui yra santykinai proporcingas lyginant su visa populiacija. Reprodukcijos ir kryžminimo mechanika yra ganėtinai paprasta ir pagrįsta atsitiktinių skaičių generavimu (genų), eilučių (chromosomų) kopijavimu ir eilučių dalių apsikeitimu. Analitiniai ir empiriniai tyrimai įrodė, kad reprodukcijos ir kryžminimo operatoriai sudaro pagrindinę genetinių algoritmų jėgą. Mutacijos įneša vieną ar kelis pakeitimus kryžminimo reprodukcijos metu.

Klasikiniai genetiniai algoritmai susideda iš penkių žingsnių (1 pav.):

1. Sukuriama atsitiktinė populiacija iš N chromosomų, kur N yra populiacijos dydis, $l - x$ chromosomos ilgis.
2. Įvertinamas kiekvienos chromosomos x tinkamumas pagal funkciją $\varphi(x)$.



1 pav. Genetinių algoritmų veikimo diagrama (Paulinas, Ušinskas 2007)

Fig. 1. Flowchart of genetic algorithms (Paulinas, Ušinskas 2007)

3. Kartojama, kol sukuriama N palikuonių:
 - Atrenkamos labiausiai tinkančios chromosomos.
 - Visiems i sukuriami palikuonys y_i , naudojant kryžminimo ir mutacijos operatorius, kai $i = 1, 2, \dots, N$.
4. Esama populiacija pakeičiama nauja.
5. Kartojama nuo antrojo žingsnio.

Klasikinių genetinių algoritmų atveju visose vienodo ilgio chromosomose yra užkoduota informacija. Gali būti taikomi įvairūs optimizavimo stabdymo metodai, pvz.: per tam tikrą iteracijų skaičių nekintanti tikslo funkcijos vertė, pasiekta užsibrėžta riba ar viršytas skaičiavimo laikas.

Segmentavimo metodai

Filtrų seka integrinių grandynų vaizdams segmentuoti sudaroma iš morfologinių ir slenkstinių filtrų. Šie filtrai pasižymi objekto formos išlaikymu ir didele veikimo sparta.

Plėtimas (angl. *Dilation*). Morfologinė plėtimo transformacija \oplus (Minkovskio sudėtis) sujungia dvi imtis vektorinių sumos principu. $X \oplus B$ plėtimas – tai visų elementų porų vektorinių sumų imtis, kurių komponentai yra sudaryti iš X ir B :

$$X \oplus B = \{p \in \mathcal{E}^2 : p = x + b, x \in X \text{ ir } b \in B\}, \quad (5)$$

čia X, B – taškų imtys; p – vektorinės taškų sumos rezultatas; x, b – vaizdo taškai, priklausantys imtims. Filtrui naudojamas 3×3 struktūrinis elementas (2 pav.).

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

2 pav. Struktūrinis elementas

Fig. 2. Structuring element

Ėsdinimas (angl. *Erosion*). Ėsdinimas \ominus (Minkovskio atimtis) sujungia dvi taškų imtis, naudojant vektorinę atimtį

$$X \ominus B = \{p \in \mathcal{E}^2 : p = x + b \in X, \text{ kiekvienam } b \in B\}, \quad (6)$$

čia X, B – taškų imtys; p – vektorinės taškų sumos rezultatas; x, b – taškai, priklausantys imtims. Filtrui naudojamas 3×3 struktūrinis elementas (2 pav.).

Pataikymo-nepataikymo (angl. *Hit-or-Miss*). Pataikymo-nepataikymo morfologinis operatorius skirtas lokalioms taškų struktūroms nustatyti („lokalus“ reiškia struktūrinio elemento dydį). Tai šablono paieškos variacija, randanti vaizdo taškų rinkinius, pasižyminčius tam tikromis ypatybėmis.

Operaciją galima pažymėti kaip nesujungtų imčių porą $B = (B_1, B_2)$, o ją vykdantį elementą vadinti sudėtinio struktūrinio elementu. Pataikymo-nepataikymo transformacija \otimes apibrėžiama taip:

$$X \otimes B = \{x : B_1 \subset X \text{ ir } B_2 \subset X^c\}, \quad (7)$$

čia x – vaizdo taškas; B_1, B_2 – struktūriniai elementai; X – vaizdo taškų imtis.

Išraiška rodo, kad dvi sąlygas būtina atitikti siekiant, kad x būtų galutinėje imtyje X . Sudėtinis struktūrinis elementas B_1 , turintis reikšminę vertę taške x , turi priklausyti X ir sudėtinis struktūrinis elementas B_1 turi priklausyti imčiai X^c .

Slenksčio funkcija. Slenksčio funkcija grupuoja mos vaizdo skaisčio reikšmės, atsižvelgiant į pasirenkamą slenkstinę vertę T , tada visos vaizdo taškų vertės (x, y) , atitinkančios sąlygą $(x, y) > T$, vadinamos objekto taškais, kitu atveju tai yra fono taškas (Acharya, Ray 2005). Slenksčio funkcija apibrėžiama:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{jei } f(x, y) > T; \\ 0, & \text{jei } f(x, y) \leq T, \end{cases} \quad (8)$$

čia g – segmentuotas vaizdas; f – pradinis vaizdas; T – slenkstis.

Genetinių algoritimų taikymas filtrų sekų parametrų optimizavimui

Optimizavimo technika atkartoja gamtoje vykstančią natūralią atranką. Svarbiausia šio metodo ypatybė yra ta, kad surandamas globalusis maksimumas, neužstringant lokaliajame.

Optimizuoti filtrų parametrai automatiškai priskiriami chromosomai tokiu eiliškumu, koku segmentuojamas vaizdas.

Optimizuoti taikomas toks algoritmas:

1. Sukuriama atsitiktinių reikšmių populiacija

$$P = \{f_1, f_2, \dots, f_n, g_1, g_2, \dots, g_m, \dots, x_1, x_2, \dots, x_l\}, \quad (9)$$

čia P – pradinė populiacija; f_n, g_m, x_l – segmentavimui taikomų filtrų parametrų rinkiniai.

2. Įvertinamas chromosomos tinkamumas

$$Q = \frac{n_s}{W_o \cdot H_o}, \quad (10)$$

čia Q – segmentavimo kokybė; n_s – sutampančių vaizdo taškų skaičius lyginant su etalonu; W_o – segmentuojamo vaizdo plotis; H_o – segmentuojamo vaizdo ilgis.

3. Jei segmentavimo kokybė atitinka reikalavimus:
 - Nustatoma optimalių filtrų parametrų seka.
 - Baigiamas darbas.

4. Jei segmentavimo kokybė neatitinka reikalavimų:
 - Išrenkami tėvai.
 - Vyksta kryžminimas.
 - Vykdoma mutacija.
 - Sukuriama nauja chromosoma.
 - Grįžtama prie antrojo žingsnio.

Optimizavimas nutraukiamas, jei pasiekiami nurodyta vertė. Dėl didelio parametrų skaičiaus, taikomo filtrams, jokių kitokių apribojimų nėra.

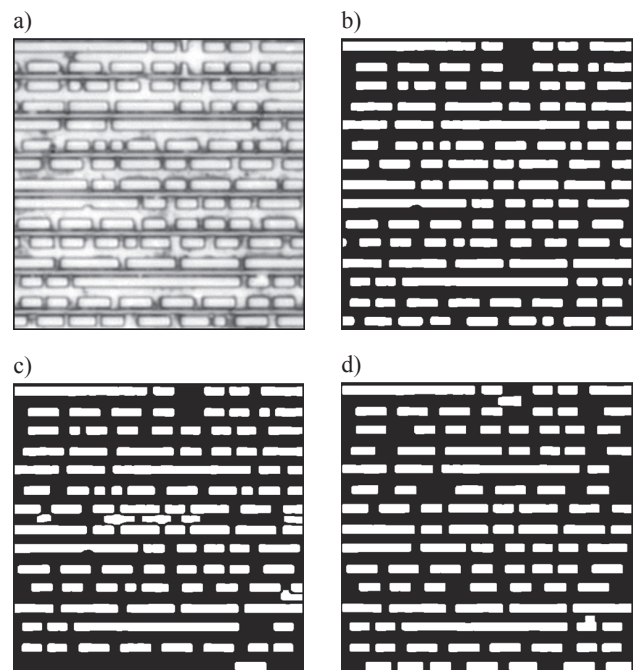
Eksperimentinė patikra

Optimizuota segmentavimo filtrų seka yra taikoma integrinių grandynų aktyviųjų sričių vaizdams segmentuoti (3 pav., a).

Integrinių grandynų technologinis žingsnis yra 180 nm. Vaizdai gaunami 4000 kartų padidintą atidengto integrinio grandyno sluoksnio vaizdą fiksuojant skaitmenine kamera (Masalskis, Navickas 2008; Masalskis 2010).

Nekintančios struktūros optimizuojama filtrų seka sudaroma iš slenkščio atrinkimo pagal objekto dydį ir morfologinių filtrų:

1. Adaptyvaus slenkščio filtro.
2. Erozijos.
3. Dviejų struktūrinių elementų ploninimo.
4. Atrinkimo pagal objekto dydį.



3 pav. Aktyviųjų sričių integrinio grandyno vaizdas (a); segmentavimo etalonas (b); neoptimizuotas segmentavimas (c); optimizuotas segmentavimas (d)

Fig. 3. Active regions of an integrated circuit (a); segmentation template (b); not optimized segmentation (c); optimized segmentation (d)

5. Pataikymo-nepataikymo.
6. Pataikymo-nepataikymo.
7. Plėtimosi.
8. Pataikymo-nepataikymo.
9. Pataikymo-nepataikymo.

Genetiškai optimizavus filtrų parametrus iš eksperimentiškai parinktos filtrų sekos efektyvumas padidėjo 6 % (3 pav., d). Neoptimizuotos sekos segmentavimo rezultatas matomas 3 pav., c dalyje.

Išvados

1. Atlikta vaizdo segmentavimo filtrų sekos parametru optimizacija įrodo, kad genetiniai algoritmai tinkami integrinių grandynų vaizdų segmentavimui optimizuoti.
2. Atlikus taikomų metodų analizę nustatyta, kad morfolginės transformacijos kartu su slenksčio funkcija yra efektyvus metodas integrinių grandynų aktyviųjų sričių vaizdams segmentuoti.
3. Etalono reikalingumas yra šio metodo trūkumas, nes etalono gavimas yra ilgai trunkantis procesas. Tačiau optimizavus filtrų seką pagal vieno vaizdo fragmento etaloną, vėliau galima segmentuoti neribotą kiekį analogiškų IG sluoksnio vaizdų fragmentų.

Literatūra

- Acharya, T.; Ray, A. K. 2005. *Image Processing Principals and Applications*. New Jersey: Wiley-Interscience. 428 p. ISBN 978-0-471-71998-4.
<http://dx.doi.org/10.1002/0471745790>
- Cui, F. Y.; Zou, L. J.; Song, B. 2008. Edge feature extraction based on digital image processing techniques, in *IEEE Proceedings International Conference on Automation and Logistics, Qingdao, China, 2008*. Qingdao, 2320–2324.
- Holland, J. H. 1992. *Adaptation in Natural and Systems: an Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. 2nd ed. Cambridge: MIT press. 228 p. ISBN 978-0-262-58111-0.
- Jin-Yu, Z.; Yan, C.; Xian-Xiang, H. 2009. Edge detection of images based on improved sobel operator and genetic algorithms, in *International Conference on Image Analysis and Signal Processing, Taizhou, China, 2009*. Taizhou, 31–35.
- Masalskis, G. 2010. *Integrinių grandynų topologijos elementų atpažinimo sistemos sukūrimas ir tyrimas: daktaro disertacija*. Vilnius: Technika. 101 p. ISBN 978-9955-28-760-5.
- Masalskis, G.; Navickas, R. 2008. Reverse engineering of CMOS integrated circuits, *Elektronika ir elektrotechnika* 8(88): 25–28.
- Masalskis, G.; Navickas, R. 2010. Time-efficient adaptive segmentation algorithm for IC layers images, *Elektronika ir elektrotechnika* 10(106): 133–138.
- Paulinas, M.; Ušinskas, A. 2007. A survey of genetic algorithms application for image enhancement and segmentation,

Information Technology and Control 3(36): 278–284.

Qin, A. K.; Clausi, D. A. 2010. Multivariate image segmentation using region growing with adaptive edge penalty, *IEEE Transactions on Image Processing* 8(19): 2157–2170.
<http://dx.doi.org/10.1109/TIP.2010.2045708>

Shirakawa, S.; Nagao, T. 2009. Evolutionary image segmentation based on multiobjective clustering, in *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2009), Trondheim, Norway, 2009*. Trondheim, 2466–2473.
<http://dx.doi.org/10.1109/CEC.2009.4983250>

Sonka, M.; Hlavac, V.; Boyle, R. 2008. *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*. 3rd ed. Toronto: Thomson. 866 p. ISBN 978-0-495-24428-7.

Xiao, R. 2010. An image segmentation algorithm using genetic strategy, in *2nd International Conference on Computer Engineering and Technology (ICCET), Singapore, 2010*. Chengdu, 605–607.
<http://dx.doi.org/10.1109/ICCET.2010.5486029>

OPTIMIZATION OF SEGMENTATION QUALITY OF INTEGRATED CIRCUIT IMAGES

G. Mušketas

Abstract

The paper presents investigation into the application of genetic algorithms for the segmentation of the active regions of integrated circuit images. This article is dedicated to a theoretical examination of the applied methods (morphological dilation, erosion, hit-and-miss, threshold) and describes genetic algorithms, image segmentation as optimization problem. The genetic optimization of the predefined filter sequence parameters is carried out. Improvement to segmentation accuracy using a non optimized filter sequence makes 6%.

Keywords: image segmentation, genetic algorithms, integrated circuits, optimization.