UO‘K 004.932.2

CANNY DETEKTORI PARAMETRLARINI TASVIRDAGI SHOVQIN BAHOSI ASOSIDA AVTOMATIK TANLASH

Tillashayxova Nigora Murodjon qizi
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti magistranti
nigoratursunboyeva14@mail.ru

Annotatsiya. *Canny detektorining aniqligi Gauss filtri parametri va ikki bo‘sag‘aning tanlanishiga kuchli bog‘liq. Maqolada bu parametrlarni har bir tasvir uchun avtomatik aniqlaydigan qoida taklif etilgan. Silliqlash parametri Immerkær usuli bilan baholangan shovqin darajasidan, yuqori bo‘sag‘a esa silliqlangan tasvir gradientining 98-persentili va shovqin hosil qiladigan gradient sathidan aniqlanadi. Qoida koeffitsiyentlari alohida kalibrlash to‘plamida tanlandi. Etalon konturli sintetik tasvirlarda o‘tkazilgan tajribalar optimal parametrlar shovqin darajasiga bog‘liq ravishda o‘zgarishini ko‘rsatdi. Kontrast va shovqin turlicha bo‘lgan 20 ta sharoitda taklif etilgan qoida o‘rtacha F1 = 0,917 natija berdi. Bu ko‘rsatkich qat’iy standart parametrlar uchun 0,604 ni, kalibrlangan qat’iy parametrlar uchun 0,908 ni tashkil etdi.*

Kalit so‘zlar: *Canny detektori, parametrlarni avtomatik tanlash, shovqinni baholash, Gauss filtri, bo‘sag‘a, kontrast, F1-o‘lchov.*

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ДЕТЕКТОРА КЭННИ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ШУМА ИЗОБРАЖЕНИЯ

Тиллашайхова Нигора Муроджон кизи

Аннотация. *Точность детектора Кэнни сильно зависит от выбора параметра гауссова фильтра и двух порогов. В статье предложено правило, автоматически определяющее эти параметры для каждого изображения. Параметр сглаживания определяется по уровню шума, оцененному методом Иммеркера, а верхний порог – по 98-му процентилю градиента сглаженного изображения и уровню градиента, создаваемого шумом. Коэффициенты правила подобраны на отдельном калибровочном наборе. Эксперименты на синтетических изображениях с эталонными контурами показали, что оптимальные параметры меняются в зависимости от уровня шума. В 20 условиях с различными контрастом и шумом предложенное правило обеспечило среднюю F1-меру 0,917 против 0,604 для стандартных фиксированных параметров и 0,908 для откалиброванных фиксированных параметров.*

Ключевые слова: *детектор Кэнни, автоматический выбор параметров, оценка шума, гауссов фильтр, порог, контраст, F1-мера.*

AUTOMATIC SELECTION OF CANNY DETECTOR PARAMETERS BASED ON IMAGE NOISE ESTIMATION

Tillashayxova Nigora Murodjon qizi

Abstract. *The accuracy of the Canny detector depends strongly on the Gaussian filter parameter and the two thresholds. This paper proposes a rule that sets these parameters automatically for each image. The smoothing parameter is derived from the noise level estimated by Immerkær's method, and the upper threshold from the 98th percentile of the smoothed image gradient and the gradient level produced by noise. The coefficients of the rule were fitted on a separate calibration set. Experiments on synthetic images with reference contours showed that the optimal parameters shift with the noise level. Across 20 conditions with different contrast and noise, the proposed rule achieved a mean F1-measure of 0.917, compared with 0.604 for standard fixed parameters and 0.908 for calibrated fixed parameters.*

Keywords: *Canny detector, automatic parameter selection, noise estimation, Gaussian filter, threshold, contrast, F1-measure.*

Kirish

Canny detektori kontur aniqlashda eng ko‘p qo‘llaniladigan usullardan biri bo‘lib, u shovqinga chidamliligi va bir piksel qalinlikdagi uzluksiz kontur chiziqlari hosil qilishi bilan ajralib turadi [1]. Algoritm ketma-ket bajariladigan to‘rt bosqichdan tashkil topgan: Gauss filtri bilan silliqlash, gradient moduli va yo‘nalishini topish, gradient yo‘nalishida lokal maksimum bo‘lmagan nuqtalarni olib tashlash hamda gisterezisli ikki bo‘sag‘a. Foydalanuvchi uchta qiymatni belgilashi kerak: silliqlash parametri σ, quyi bo‘sag‘a va yuqori bo‘sag‘a.

Amaliyotda bu parametrlar ko‘pincha qat’iy qiymatlar sifatida beriladi yoki natijani ko‘z bilan baholab tanlanadi. Biroq bir tasvir uchun yaxshi natija bergan parametrlar shovqini yoki kontrasti boshqacha bo‘lgan tasvirda yaroqsiz bo‘lib qolishi mumkin. Muallifning oldingi tadqiqotida qat’iy parametrli Canny detektori shovqin kuchaygan sari barqaror bo‘lsa-da, uning natijasi parametrlarga sezgir ekani aniqlangan [2]. Ushbu maqolaning maqsadi – Canny parametrlarini tasvirning o‘zidan baholangan ko‘rsatkichlar asosida avtomatik aniqlaydigan qoidani ishlab chiqish va uni turli shovqin hamda kontrast sharoitlarida baholashdan iborat.

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili

J. Canny o‘z ishida optimal filtr Gauss funksiyasining birinchi hosilasiga yaqin ekanini ko‘rsatgan. U bo‘sag‘alarni shovqin darajasiga bog‘lab tanlash zarurligini ham qayd etgan [1]. D. Ziou va S. Tabbone kontur detektorlari sharhida parametrlarni tanlash amaliyotda hal etilmagan masala bo‘lib qolayotganini ta’kidlagan [3]. N. Otsu bo‘sag‘ani sinflararo

dispersiyani maksimallashtirish orqali avtomatik tanlash usulini taklif qilgan [4]. Bu usul ko‘pincha gradient moduliga ham qo‘llaniladi, lekin u shovqin darajasini bevosita hisobga olmaydi. Amaliy dasturlarda bo‘sag‘alarni tasvir yorqinligining medianasiga mutanosib ravishda olish kabi empirik qoidalar ham uchraydi. Biroq ularning asoslanishi va qo‘llanish chegaralari ilmiy jihatdan yetarli tekshirilmagan.

Tasvirdagi shovqin darajasini baholash masalasini J. Immerkær ikkinchi tartibli farqlar niqobiga asoslangan tezkor usul bilan hal etgan [5]. Usulda qo‘llaniladigan niqob yorqinligi o‘zgarmas yoki tekis o‘zgaradigan sohalarni «sezmaydi», shu bois uning javobi asosan shovqindan iborat bo‘ladi. Kontur ajratish modellarining zamonaviy sharhlarida ham klassik detektorlar parametrlarini moslashuvchan tanlash muhim yo‘nalish sifatida ko‘rsatilgan [6]. O‘zbekistonlik tadqiqotchilar konturni ingichkalashtirish va shovqinni kamaytirishni birlashtiruvchi gibrid yondashuvlarni taklif etgan [7]. Biroq Canny parametrlarini shovqin va kontrastga bog‘lab avtomatik tanlash masalasi miqdoriy baholash asosida yetarlicha o‘rganilmagan.

Tadqiqot metodologiyasi

Ma’lumotlar. Tajribalar 256×256 o‘lchamli, notekis yoritilgan fonda 3–6 ta tasodifiy shakl joylashgan sintetik tasvirlarda o‘tkazildi. Har bir tasvirning etalon konturi aniq ma’lum. Natijalar F1-o‘lchov bilan baholandi. Bunda aniqlangan nuqta etalon konturdan ikki pikseldan uzoq bo‘lmasa, to‘g‘ri deb hisoblandi [8]. Barcha algoritmlar Python tilida OpenCV kutubxonasi yordamida amalga oshirildi [9].

Shovqin darajasini baholash. Tasvirdagi shovqinning o‘rtacha kvadratik og‘ishi Immerkær formulasi bilan baholandi [5]:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\pi}{2}}\,\frac{1}{6(W-2)(H-2)}\sum_{x,y}\left|(I * N)(x,y)\right|, \qquad N = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

bu yerda W va H – tasvir o‘lchamlari, N – ikkinchi tartibli farqlar niqobi.

Silliqlash parametrini tanlash. Gauss filtri parametri baholangan shovqin darajasiga chiziqli bog‘liq holda aniqlandi:

$$\sigma = \min\left(\max\left(a + b\,\hat{\sigma},\ 0{,}5\right),\ 3{,}5\right) \tag{2}$$

Chegaraviy qiymatlar shovqinsiz tasvirlarda haddan tashqari kuchsiz, kuchli shovqinda esa haddan tashqari kuchli silliqlashning oldini oladi.

Bo‘sag‘ani tanlash. Ikki qoida solishtirildi. A qoidada yuqori bo‘sag‘a silliqlangan tasvir gradient moduli taqsimotining 98-persentiliga mutanosib qilib olinadi. Bu tasvir kontrastini avtomatik hisobga oladi. Biroq kontrast past va shovqin yuqori bo‘lganda bunday bo‘sag‘a shovqin hosil qilgan gradientlardan pastga tushib ketishi mumkin. Shu sababli B

qoidada bo‘sag‘aga qo‘shimcha quyi chegara qo‘yildi. Bu chegara shovqin hosil qiladigan gradient sathiga mutanosib bo‘lib, silliqlash kuchaygan sari kamayadi:

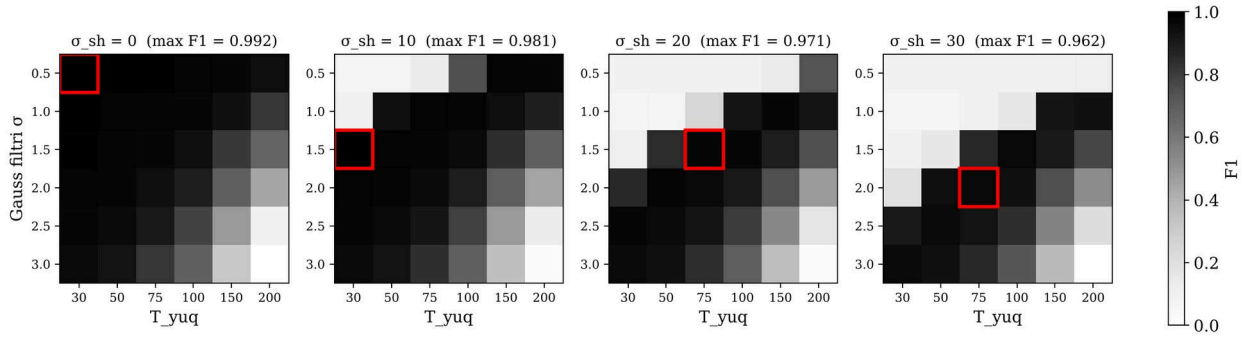
$$T_{\text{yuq}} = \max\left(c \cdot P_{98}\left(|\nabla I_\sigma|\right),\ \kappa\frac{\hat{\sigma}}{\sigma},\ 10\right), \qquad T_{\text{past}} = 0{,}4\,T_{\text{yuq}} \tag{3}$$

bu yerda P_{98} – 98-persentil, c va κ – koeffitsiyentlar. Quyi bo‘sag‘a ikkala qoidada $T_{past} = 0{,}4 \cdot T_{yuq}$ deb olindi.

Kalibrlash va tekshirish. Qoida koeffitsiyentlari test to‘plamidan mustaqil kalibrlash to‘plamida to‘r bo‘yicha qidiruv yordamida tanlandi. A qoida uchun a = 1,0; b = 0,05; c = 0,5 qiymatlar olindi. B qoida koeffitsiyentlari kontrast koeffitsiyenti k = 1,0; 0,6; 0,4; 0,25 va shovqin darajasi σ = 0…30 bo‘lgan kalibrlash to‘plamida aniqlandi: κ = 4, c = 0,6. Taqqoslash uchun ikki xil qat’iy parametrlar olindi. Birinchisi keng tarqalgan standart parametrlar (σ = 1, T_{yuq} = 150). Ikkinchisi shu kalibrlash to‘plamida to‘r bo‘yicha qidiruv bilan topilgan eng yaxshi qat’iy juftlik (σ = 3, T_{yuq} = 20). Shu tarzda taklif etilgan qoida xuddi shunday ma’lumotlar asosida optimallashtirilgan qat’iy parametrlar bilan teng sharoitda solishtirildi.

Tahlil va natijalar

Optimal parametrlarning shovqinga bog‘liqligi. Dastlab har bir shovqin darajasida σ va T_{yuq} ning 36 ta kombinatsiyasi sinab ko‘rildi (1-rasm, 1-jadval).



1-rasm. Canny detektori F1-o‘lchovining σ va T_{yuq} ga bog‘liqligi (qizil katak – optimum)

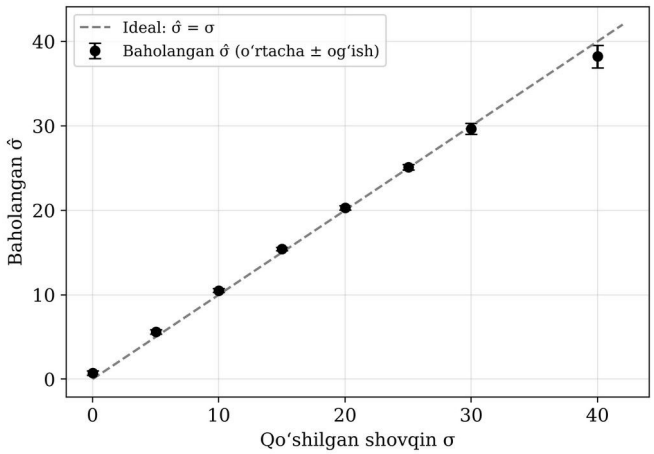
1-jadval

Har bir shovqin darajasidagi optimal parametrlar

Shovqin σ_{sh}	Optimal σ	Optimal T_{yuq}	Maksimal F1	F1 (σ = 1; T_{yuq} = 150)
0	0,5	30	0,992	0,932
10	1,5	30	0,981	0,948
20	1,5	75	0,971	0,965
30	2,0	75	0,962	0,916

Natijalar ikki qonuniyatni ko‘rsatadi. Birinchidan, optimal silliqlash darajasi shovqin bilan ortib boradi: $\sigma_{sh} = 0$ da optimal $\sigma = 0{,}5$ bo‘lsa, $\sigma_{sh} = 30$ da u 2,0 ga yetdi. Ikkinchidan, bitta shovqin darajasi ichida optimal soha diagonal bo‘ylab joylashgan, ya’ni σ ortganda yaxshi natija beruvchi bo‘sag‘a pasayadi. Buning sababi shundaki, silliqlash gradient modulini kamaytiradi. Parametrlar noto‘g‘ri tanlanganda natija deyarli nolga yaqinlashadi: masalan, $\sigma_{sh} = 20$ da $\sigma = 0{,}5$ va $T_{yuq} = 30$ juftligi uchun F1 bor-yo‘g‘i 0,086 ga teng bo‘ldi. Standart parametrlar har bir shovqin darajasida optimumdan 0,6–6 foiz punkt orqada qoldi. Bu parametrlarni sharoitga moslab tanlash zarurligini tasdiqlaydi.

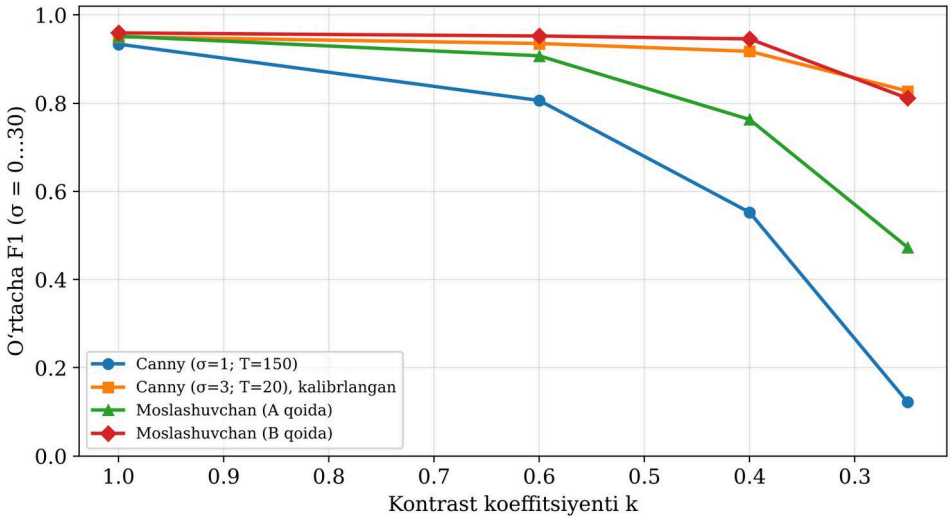
Shovqin bahosining aniqligi. Immerkær usuli bilan olingan baholar 2-rasmda keltirilgan.



2-rasm. Baholangan shovqin darajasining haqiqiy qiymatga mosligi (40 ta tasvir)

$\sigma = 5\ldots25$ oralig‘ida bahoning haqiqiy qiymatdan farqi 0,62 birlikdan oshmadi, o‘rtacha kvadratik og‘ish 0,2–0,35 ni tashkil etdi. Shovqinsiz tasvirlarda tasvir tuzilmasi hisobiga kichik musbat baho (0,73) olindi. $\sigma = 40$ da esa baho biroz pasaydi (38,2), chunki yorqinlik qiymatlari 0–255 oralig‘ida kesiladi. Umuman olganda, baho (2) qoida uchun yetarli aniqlikka ega. Masalan, $\sigma_{sh} = 20$ da tanlangan $\sigma = 2{,}01$ bo‘ldi. Bu 1-rasmdagi optimal sohaga to‘g‘ri keladi.

Kontrast va shovqin turlicha bo‘lgan sharoitlarda solishtirish. Asosiy tajriba to‘rtta kontrast darajasi va beshta shovqin darajasi, ya’ni jami 20 ta sharoitda o‘tkazildi. Har bir sharoitda 10 ta tasvir ishlatildi. Natijalar 3-rasm va 2-jadvalda keltirilgan.



3-rasm. Usullar o‘rtacha F1-o‘lchovining tasvir kontrastiga bog‘liqligi

2-jadval

Kontrast darajalari bo‘yicha o‘rtacha F1-o‘lchov (σ = 0…30 bo‘yicha o‘rtacha)

Kontrast k	Canny (1; 150)	Canny (3; 20), kalibrlangan	A qoida	B qoida
1,0	0,934	0,951	0,952	0,959
0,6	0,806	0,935	0,907	0,952
0,4	0,552	0,918	0,763	0,946
0,25	0,123	0,828	0,473	0,811
20 sharoit bo‘yicha o‘rtacha	0,604	0,908	0,774	0,917

Standart qat’iy parametrlar kontrast pasayishiga eng sezgir bo‘ldi: k = 0,25 da ularning o‘rtacha F1 qiymati 0,123 ga tushdi, ayrim sharoitlarda kontur umuman aniqlanmadi. Bu yuqori bo‘sag‘aning qat’iy qiymati past kontrastli tasvirdagi chegaralar gradientidan katta bo‘lib qolishi bilan izohlanadi. A qoida yuqori va o‘rtacha kontrastda yaxshi natija berdi. Lekin past kontrast va kuchli shovqinda u keskin yomonlashdi (k = 0,25 da o‘rtacha 0,473). Sababi shundaki, persentilga asoslangan bo‘sag‘a shovqin gradientlari sathidan pastga tushib ketdi. Shovqin chegarasini qo‘shish bu kamchilikni bartaraf etdi: B qoida 20 ta sharoitdan 14 tasida kalibrlangan qat’iy parametrlardan yuqori natija ko‘rsatdi. O‘rtacha F1 bo‘yicha ham u eng yaxshi natijaga erishdi (0,917).

Shu bilan birga, natijalar cheklovlarni ham ko‘rsatdi. Eng og‘ir sharoitda (k = 0,25, σ = 30) B qoida 0,522 natija berdi, kalibrlangan qat’iy parametrlar esa 0,711 natija ko‘rsatdi. Bu sharoitda signal/shovqin nisbati juda past bo‘lib, kuchliroq silliqlash foydaliroq bo‘ladi. Demak, (2) qoidada silliqlash darajasini shovqinning mutlaq qiymatiga emas, kontrastga

nisbatan qiymatiga bog‘lash keyingi takomillashtirish yo‘nalishi hisoblanadi. Taklif etilgan qoida bitta tasvirga ishlov berish vaqtini taxminan 1–1,4 ms gacha oshiradi. Bu real vaqt rejimidagi tizimlar uchun maqbul.

Xulosa va takliflar

Tadqiqot natijalari asosida quyidagi xulosalar chiqarildi.

Birinchidan, Canny detektorining optimal parametrlari shovqin darajasiga bog‘liq ravishda o‘zgaradi: optimal σ shovqin bilan ortadi, bitta shovqin darajasi ichida esa σ ortganda optimal bo‘sag‘a pasayadi. Shu sababli parametrlarni bir-biridan alohida va qat’iy tanlash maqsadga muvofiq emas.

Ikkinchidan, Immerkær usuli σ = 5…25 oralig‘ida shovqin darajasini 0,62 birlikdan oshmaydigan xatolik bilan baholaydi va silliqlash parametrini tanlash uchun ishonchli asos bo‘ladi.

Uchinchidan, persentilga asoslangan va shovqin chegarasi bilan to‘ldirilgan bo‘sag‘a qoidasi kontrast va shovqin turlicha bo‘lgan 20 ta sharoitda o‘rtacha F1 = 0,917 natija berdi. Bu standart qat’iy parametrlardan 0,313 ga, kalibrlangan qat’iy parametrlardan esa 0,009 ga yuqori. Qoidaning asosiy afzalligi uning tasvir kontrastiga moslashishidadir.

Taklif etilgan qoidani yoritilganligi va kontrasti o‘zgaruvchan sharoitda ishlaydigan videokuzatuv, sanoat nazorati va hujjatlarga ishlov berish tizimlarida qo‘llash tavsiya etiladi. Kelgusida silliqlash parametrini signal/shovqin nisbatiga bog‘lash va qoidani real tasvirlar bazalarida tekshirish rejalashtirilgan.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Canny J. A computational approach to edge detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1986. – Vol. PAMI-8, No. 6. – P. 679–698.
2. Beknazarova S., Tillashayxova N. A comparative analysis of baseline and contour-based image segmentation methods // Digital Transformation and Artificial Intelligence. – 2024. – Vol. 2, No. 4. – P. 95–99.
3. Ziou D., Tabbone S. Edge detection techniques – an overview // Pattern Recognition and Image Analysis. – 1998. – Vol. 8, No. 4. – P. 537–559.
4. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1979. – Vol. 9, No. 1. – P. 62–66.
5. Immerkær J. Fast noise variance estimation // Computer Vision and Image Understanding. – 1996. – Vol. 64, No. 2. – P. 300–302.
6. Arabboev M., Begmatov Sh., Puziy A. A comprehensive review of contour extraction models: classical and AI-based approaches // Sovremennye innovatsii, sistemy i tekhnologii. – 2024. – Vol. 4, No. 4. – P. 157–175.

7. Mamatov N., Niyozmatova N., Jalelova M., Samijonov A., Samijonov B. A hybrid algorithm for contour thinning in image processing // Journal of Communications Software and Systems. – 2025. – Vol. 21, No. 1. – P. 23–33.
8. Martin D., Fowlkes C., Tal D., Malik J. A database of human segmented natural images and its application to evaluating segmentation algorithms and measuring ecological statistics // Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). – 2001. – Vol. 2. – P. 416–423.
9. Bradski G. The OpenCV Library // Dr. Dobb's Journal of Software Tools. – 2000. – Vol. 25, No. 11. – P. 120–125.