UO‘K 004.932.2

KONTUR ANIQLASH OPERATORLARINING SHOVQINGA CHIDAMLILIGINI ETALON KONTURLI TASVIRLAR ASOSIDA MIQDORIY BAHOLASH

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

Annotatsiya. *Maqolada Roberts, Prewitt, Sobel, LoG va Canny kontur aniqlash operatorlarining Gauss shovqiniga chidamliligi yagona metodika asosida miqdoriy baholangan. Buning uchun haqiqiy konturi aniq ma’lum bo‘lgan sintetik tasvirlar to‘plami yaratildi. Natijalar ikki piksellik tolerantlik bilan aniqlik, to‘liqlik va F1-o‘lchov orqali baholandi. Shovqinning o‘rtacha kvadratik og‘ishi 0 dan 30 gacha oshirilganda silliqlashsiz gradient operatorlarining F1 qiymati 0,94–0,95 dan 0,13–0,23 gacha pasaydi. Canny detektori esa barcha darajalarda 0,91 dan yuqori natijani saqladi. Aniqlikning pasayishi soxta chegaralar ko‘payishi bilan bog‘liq ekani ko‘rsatildi: kuchli shovqinda to‘liqlik 0,99 atrofida qolgani holda aniqlik 0,07–0,15 gacha tushdi.*

Kalit so‘zlar: *kontur aniqlash, Sobel operatori, Canny detektori, LoG, Gauss shovqini, F1-o‘lchov, sintetik tasvirlar.*

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ОПЕРАТОРОВ ВЫДЕЛЕНИЯ КОНТУРОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ЭТАЛОННЫМИ КОНТУРАМИ

Тиллашайхова Нигора Муроджон кизи

Аннотация. *В статье на основе единой методики количественно оценена устойчивость операторов выделения контуров Робертса, Превитта, Собеля, LoG и Кэнни к гауссову шуму. Для этого создан набор синтетических изображений с точно известными контурами. Результаты оценивались по точности, полноте и F1-мере с допуском два пикселя. При увеличении среднеквадратического отклонения шума от 0 до 30 F1-мера градиентных операторов без сглаживания снизилась с 0,94–0,95 до 0,13–0,23, тогда как детектор Кэнни на всех уровнях сохранил значение выше 0,91. Показано, что падение точности связано с ростом числа ложных границ: при сильном шуме полнота оставалась около 0,99, а точность снижалась до 0,07–0,15.*

Ключевые слова: *выделение контуров, оператор Собеля, детектор Кэнни, LoG, гауссов шум, F1-мера, синтетические изображения.*

QUANTITATIVE EVALUATION OF THE NOISE ROBUSTNESS OF EDGE DETECTION OPERATORS ON IMAGES WITH REFERENCE CONTOURS

Tillashayxova Nigora Murodjon qizi

Abstract. *The paper quantitatively evaluates the robustness of the Roberts, Prewitt, Sobel, LoG and Canny edge detectors to Gaussian noise using a single methodology. A set of synthetic images with exactly known contours was created, and the results were assessed by precision, recall and the F1-measure with a two-pixel tolerance. As the noise standard deviation grew from 0 to 30, the F1-measure of the gradient operators without smoothing dropped from 0.94–0.95 to 0.13–0.23, while the Canny detector stayed above 0.91 at all levels. The loss of accuracy is shown to result from false edges: under strong noise, recall stayed near 0.99 while precision fell to 0.07–0.15.*

Keywords: *edge detection, Sobel operator, Canny detector, LoG, Gaussian noise, F1-measure, synthetic images.*

Kirish

Ob’ekt chegarasini topish tasvirlarga ishlov berishning asosiy amallaridan biri hisoblanadi. Segmentatsiya, ob’ektni aniqlash va shaklni tanib olish natijasining sifati ko‘p jihatdan shu bosqichga bog‘liq [1]. Tasvir sensori, uzatish kanali va siqish jarayonida tasvirga shovqin qo‘shiladi. Shovqin piksellar yorqinligini tasodifiy o‘zgartirib, haqiqiy chegara bo‘lmagan joylarda ham yorqinlik farqlarini hosil qiladi. Shu bois kontur detektorini tanlashda uning shovqinga chidamliligi hal qiluvchi mezonlardan biriga aylanadi.

Kontur operatorlari bo‘yicha ko‘plab tadqiqotlarda natijalar, asosan, chiqish tasvirlarini vizual solishtirish orqali baholanadi. Bunday baholash sub’ektiv bo‘lib, operatorlar o‘rtasidagi farqni son bilan ifodalashga imkon bermaydi. Mazkur ishning maqsadi – keng tarqalgan beshta kontur operatorining shovqinga chidamliligini haqiqiy konturi ma’lum bo‘lgan tasvirlarda, bir xil mezonlar asosida miqdoriy baholashdan iborat.

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili

Birinchi kontur operatorlaridan biri L. Roberts tomonidan taklif qilingan bo‘lib, u 2×2 o‘lchamli niqob yordamida diagonal yo‘nalishdagi yorqinlik farqlarini hisoblaydi [2]. J. Prewitt 3×3 o‘lchamli niqoblarni qo‘llab, hosilani hisoblashni qo‘shni qatorlar bo‘yicha o‘rtachalash bilan birlashtirgan [3]. Sobel operatori markaziy qatorga katta og‘irlik berish orqali Prewitt niqobini takomillashtiradi [4]. D. Marr va E. Hildreth Gauss filtri bilan silliqlangan tasvirning ikkinchi hosilasi nolga teng bo‘lgan nuqtalarni kontur sifatida olishni taklif etgan [5]. J. Canny detektor sifatining uchta mezonini ta’riflab, silliqlash, maksimal bo‘lmagan qiymatlarni bostirish va ikki bo‘sag‘ali gisterezisdan iborat algoritmni ishlab chiqqan [6].

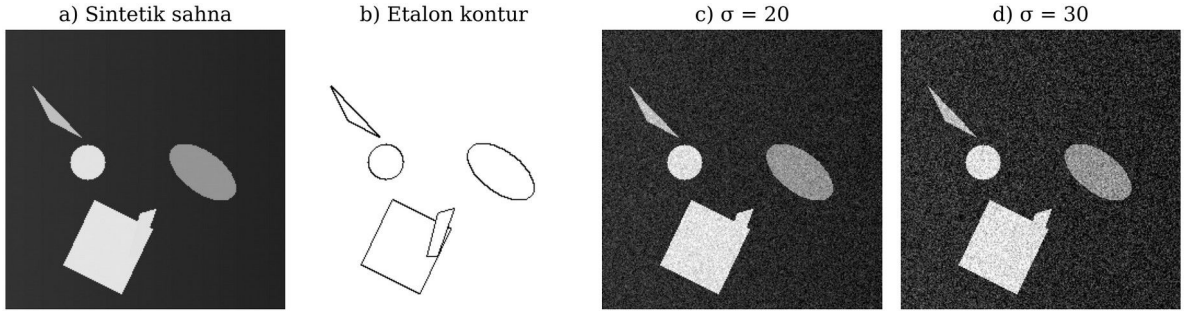
D. Ziou va S. Tabbone kontur detektorlariga bag‘ishlangan sharhida turli ishlarda qo‘llangan baholash mezonlari bir-biridan farq qilishini va bu natijalarni solishtirishni qiyinlashtirishini ta’kidlagan [7]. D. Martin va hammualliflari inson tomonidan belgilangan konturlar bazasini yaratib, detektorlarni aniqlik va to‘liqlik bo‘yicha baholash metodikasini

taklif etgan [8]. Biroq bunday bazalarda bitta tasvir uchun bir nechta, bir-biridan farq qiluvchi etalon kontur mavjud bo‘ladi va shovqin darajasini boshqarish imkoni yo‘q.

O‘zbekistonda ham kontur ajratish masalalari faol tadqiq etilmoqda. N.S. Mamatov va hammualliflari kontrastni oshirish, shovqinni kamaytirish va Sobel filtrini birlashtirgan holda konturni ingichkalashtirishning gibrid algoritmini taklif qilgan [9]. M. Arabboev va hammualliflari klassik va sun’iy intellektga asoslangan kontur ajratish modellarini tizimli sharhlagan [10]. Muallif tomonidan ilgari bajarilgan ishda bo‘sag‘a va kontur usullarining segmentatsiya sifati dastlabki taqqoslangan [11]. Ammo operatorlarning shovqin darajasiga bog‘liq ravishda nazorat qilinadigan sharoitda solishtirilishi yetarlicha yoritilmagan.

Tadqiqot metodologiyasi

Ma’lumotlar to‘plami. Tadqiqot uchun 256×256 piksel o‘lchamli 40 ta sintetik kulrang tasvir yaratildi. Har bir tasvirda yoritilganligi gorizontal yo‘nalishda sekin o‘zgaradigan fonda 3–6 ta tasodifiy shakl joylashgan: doira, ellips, burilgan to‘g‘ri to‘rtburchak va ko‘pburchak. Shakllar tasvirga chizilayotganda har biriga tartib raqami berildi. Shu raqamlar xaritasida ikki qo‘shni piksel turli shaklga tegishli bo‘lsa, ular orasidagi chegara etalon kontur hisoblanadi. Shovqinga chidamlilikni tekshirish maqsadida har bir tasvirning to‘rtta nusxasi olindi: shovqinsiz hamda o‘rtacha kvadratik og‘ishi 10, 20 va 30 bo‘lgan additiv Gauss shovqini qo‘shilgan nusxalar (1-rasm).



1-rasm. Sintetik tasvirlar to‘plamidan namuna: a) shovqinsiz sahna; b) etalon kontur; c), d) shovqin qo‘shilgan tasvirlar

Operatorlar va ularning sozlanishi. Gradient operatorlari uchun gradient moduli quyidagicha hisoblandi:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}, \qquad \theta = \operatorname{arctg} \frac{G_y}{G_x} \tag{1}$$

bu yerda G_x va G_y – tasvirni mos niqob bilan o‘ralash natijalari. Roberts, Prewitt va Sobel operatorlari uchun bo‘sag‘a gradient moduli gistogrammasiga Otsu usulini qo‘llab avtomatik aniqlandi [12]. Bu operatorlarni foydalanuvchi tanloviga bog‘liq bo‘lmagan, teng sharoitda solishtirish imkonini berdi. LoG operatori σ = 2 qiymat bilan qo‘llanilib, kontur nuqtalari nol kesishishlar sifatida olindi. Canny detektori ikki variantda sinovdan o‘tkazildi:

qat’iy parametrli variant (Gauss filtri σ = 1, quyi va yuqori bo‘sag‘alar 60 va 150) hamda parametrlari shovqin bahosi asosida avtomatik tanlanadigan moslashuvchan variant. Barcha operatorlar Python tilida OpenCV kutubxonasi yordamida amalga oshirildi [13].

Baholash mezonlari. Aniqlangan nuqta etalon konturdan ko‘pi bilan ikki piksel uzoqlikda joylashgan bo‘lsa, to‘g‘ri hisoblandi. Aniqlik P, to‘liqlik R va F1-o‘lchov quyidagi formulalar bilan aniqlandi [8]:

$$P = \frac{TP}{TP + FP}, \qquad R = \frac{TP}{TP + FN}, \qquad F_1 = \frac{2PR}{P + R} \tag{2}$$

bu yerda TP – to‘g‘ri aniqlangan, FP – soxta, FN – aniqlanmay qolgan kontur nuqtalari soni. Masofalar etalon va aniqlangan kontur xaritalarining masofa o‘zgartirishi orqali hisoblandi. Bu har bir nuqta uchun eng yaqin kontur nuqtasini tez topish imkonini beradi. Tezlik bitta tasvirga ishlov berish vaqtining medianasi bilan baholandi.

Tahlil va natijalar

Shovqin bo‘lmaganda operatorlar orasidagi farq kichik bo‘ldi: F1 qiymatlari 0,932 (qat’iy parametrli Canny) va 0,982 (LoG) oralig‘ida joylashdi. Bu sharoitda Canny detektorining biroz pastroq natijasi uning ayrim zaif chegaralarni bo‘sag‘a orqali tashlab yuborishi bilan bog‘liq. σ = 10 da Roberts operatori birinchilardan bo‘lib yomonlashdi (F1 = 0,856), Prewitt va Sobel esa hali 0,92–0,93 darajasini saqladi. Shovqin yanada kuchayganda operatorlarning ikki guruhga ajralishi yaqqol ko‘rindi (1-jadval).

1-jadval

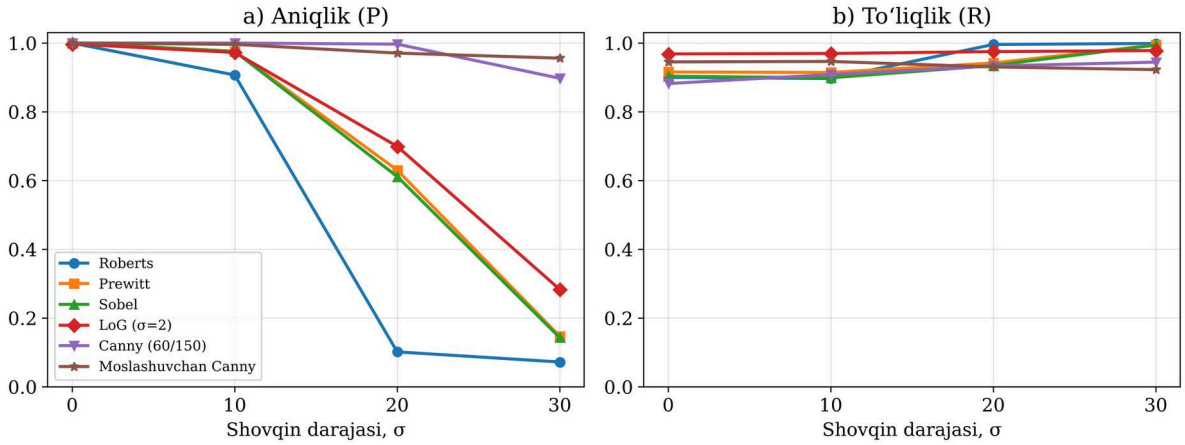
Kuchli shovqindagi aniqlik (P), to‘liqlik (R) va F1-o‘lchov

Operator	P (σ=20)	R (σ=20)	F1 (σ=20)	P (σ=30)	R (σ=30)	F1 (σ=30)
Roberts	0,102	0,996	0,165	0,072	0,999	0,134
Prewitt	0,630	0,942	0,640	0,147	0,995	0,225
Sobel	0,612	0,935	0,613	0,143	0,994	0,217
LoG (σ=2)	0,699	0,975	0,781	0,283	0,978	0,415
Canny (60/150)	0,997	0,933	0,962	0,898	0,944	0,918
Moslashuvchan Canny	0,971	0,930	0,940	0,956	0,923	0,928

Birinchi guruhni silliqlash bosqichiga ega bo‘lmagan gradient operatorlari tashkil etadi: σ = 30 da ularning F1 qiymati 0,134–0,225 gacha tushdi. LoG operatori oraliq holatni egalladi. Gauss silliqlashi uni σ = 20 gacha nisbatan himoya qildi, ammo σ = 30 da F1 qiymati 0,415 ga pasaydi. Ikkinchi guruhga Canny detektorining ikkala varianti kiradi. Ular

eng kuchli shovqinda ham 0,918 va 0,928 natijani saqlab qoldi. To‘rtta shovqin darajasi bo‘yicha o‘rtacha F1 qiymati Roberts uchun 0,525, Sobel uchun 0,673, Prewitt uchun 0,687, LoG uchun 0,786, qat’iy parametrli Canny uchun 0,940, moslashuvchan Canny uchun esa 0,952 ga teng bo‘ldi.

Natijalarning sababini tushunish uchun aniqlik va to‘liqlik dinamikasi alohida ko‘rib chiqildi (2-rasm).



2-rasm. Kontur operatorlari aniqligi (a) va to‘liqligining (b) shovqin darajasiga bog‘liqligi

Gradient operatorlarida shovqin kuchaygani sayin to‘liqlik kamaymadi, balki birga yaqinlashdi. Aniqlik bilan esa aksincha holat kuzatildi: u Roberts uchun 0,072 gacha, Sobel va Prewitt uchun 0,14–0,15 gacha tushdi. Boshqacha aytganda, bu operatorlar haqiqiy chegaralarning deyarli barchasini topadi. Lekin kontur xaritasi shovqindan kelib chiqqan nuqtalar bilan to‘lib ketadi, ularning soni haqiqiy kontur nuqtalaridan bir necha barobar ko‘p bo‘ladi. Bu holat Otsu bo‘sag‘asining xususiyati bilan bog‘liq. Shovqin gradient moduli gistogrammasini o‘zgartirib yuboradi, natijada avtomatik tanlangan bo‘sag‘a shovqin nuqtalarini ajrata olmaydi. Canny detektorida esa Gauss silliqlashi, maksimal bo‘lmagan qiymatlarni bostirish va gisterezis birgalikda soxta nuqtalarni samarali yo‘qotadi. Qat’iy parametrli Canny uchun $\sigma = 30$ da aniqlik 0,898, to‘liqlik 0,944 ga teng bo‘ldi.

Natijalarning barqarorligini baholash uchun F1 qiymatining tasvirlar bo‘yicha o‘rtacha kvadratik og‘ishi ham hisoblandi. $\sigma = 20$ da Sobel operatori uchun u 0,373 ni, qat’iy parametrli Canny uchun esa 0,045 ni tashkil etdi. Demak, gradient operatorlarining natijasi nafaqat past, balki tasvirdan tasvirga kuchli o‘zgaruvchan hamdir. Bu ularni amaliy tizimlarda ishonchsiz qiladi.

Ishlash tezligi bo‘yicha natijalar 2-jadvalda jamlangan. Unda to‘rtta shovqin darajasi bo‘yicha o‘rtacha va eng katta vaqt hamda Sobel operatoriga nisbatan vaqt keltirilgan.

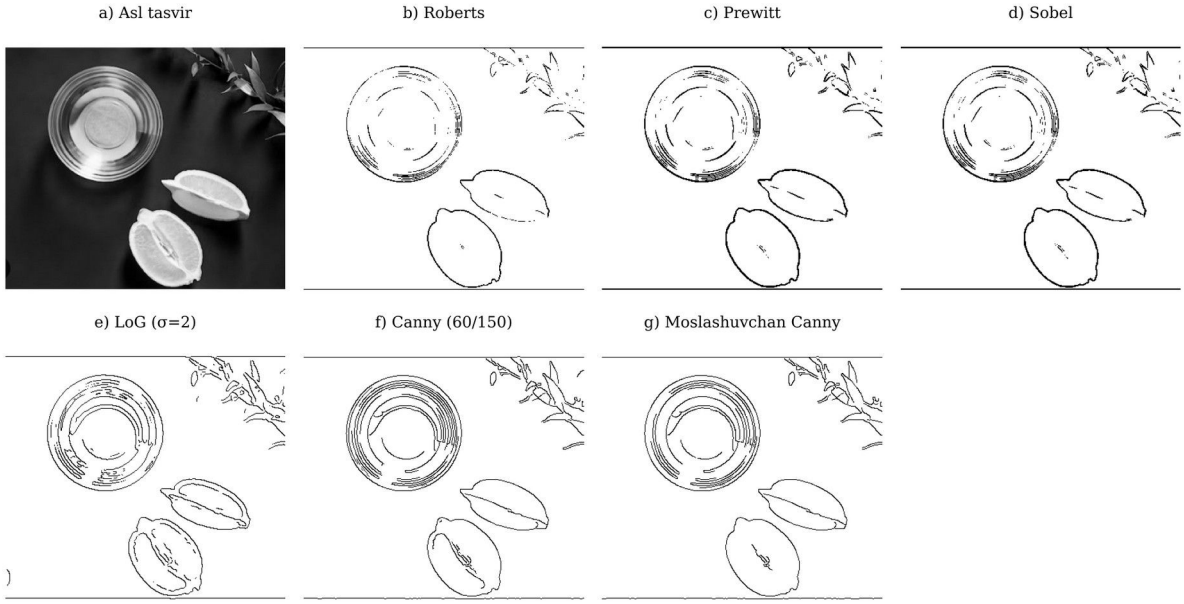
2-jadval

256×256 tasvirga ishlov berish vaqti (mediana bo‘yicha), ms

Operator	O‘rtacha vaqt	Eng katta vaqt	Sobelga nisbatan
Roberts	0,16	0,19	0,9
Prewitt	0,18	0,23	1,0
Sobel	0,18	0,23	1,0
LoG (σ=2)	0,56	0,79	3,1
Canny (60/150)	0,23	0,26	1,3
Moslashuvchan Canny	1,19	1,35	6,6

Qat’iy parametrli Canny Sobel operatoridan atigi 1,3 marta sekinroq ishladi, ya’ni silliqlash, bostirish va gisterezis bosqichlari vaqtga deyarli ta’sir qilmadi. Eng sekin bo‘lgan moslashuvchan variant ham bitta tasvirni 1,35 ms dan ko‘p bo‘lmagan vaqtda qayta ishladi. Bu sekundiga 25 kadrli video uchun ajratiladigan 40 ms vaqtning kichik bir qismidir. Demak, barcha operatorlar real vaqt rejimidagi tizimlar uchun yetarli tezlikka ega. Shunday qilib, sinovdan o‘tkazilgan usullar orasida Canny detektori tezlik bo‘yicha deyarli yutqazmagan holda aniqlikda katta ustunlik beradi.

Sintetik tasvirlardagi xulosalarni tekshirish uchun operatorlar idish va limonlar tasvirlangan real fotosuratga ham qo‘llanildi (3-rasm). Sobel va Prewitt chegaralarni yo‘g‘on, joy-joyida uzilgan chiziqlar bilan belgiladi. Roberts natijasida chiziqlar ingichkaroq, lekin uzilishlar ko‘proq bo‘ldi. LoG idish ichidagi aks etishlardan ko‘plab kichik halqalar hosil qildi. Canny detektorlari esa ob’ektlar chegarasini bir piksel qalinlikdagi yaxlit chiziqlar bilan ajratdi.



3-rasm. Kontur operatorlarining real tasvirdagi natijalari

Xulosa va takliflar

Tadqiqot natijalari asosida quyidagi xulosalar chiqarildi.

Birinchidan, etalon konturli sintetik tasvirlar va ikki piksellik tolerantlik bilan hisoblanadigan aniqlik, to‘liqlik hamda F1-o‘lchov kontur operatorlarini xolis solishtirish imkonini beradi.

Ikkinchidan, silliqlashsiz gradient operatorlari shovqinga o‘ta sezgir: σ = 30 da ularning F1 qiymati 0,134–0,225 gacha pasayadi. Bu pasayish soxta chegaralar ko‘payishi bilan bog‘liq bo‘lib, to‘liqlik yuqoriligicha qoladi.

Uchinchidan, Canny detektori barcha shovqin darajalarida 0,91 dan yuqori F1 qiymatini saqlaydi va tezlik bo‘yicha gradient operatorlaridan deyarli qolishmaydi.

Shovqinli tasvirlar bilan ishlaydigan amaliy tizimlarda Roberts, Prewitt va Sobel operatorlarini dastlabki silliqlashsiz qo‘llamaslik, ularning o‘rniga Canny detektoridan foydalanish tavsiya etiladi. Kelgusida natijalarni real tasvirlar bazalarida tekshirish va Canny parametrlarini avtomatik tanlash usullarini takomillashtirish rejalashtirilgan.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital Image Processing. – 4th ed. – New York: Pearson, 2018. – 1168 p.
2. Roberts L.G. Machine perception of three-dimensional solids // Optical and Electro-Optical Information Processing / ed. by J.T. Tippett et al. – Cambridge, MA: MIT Press, 1965. – P. 159–197.

3. Prewitt J.M.S. Object enhancement and extraction // Picture Processing and Psychopictorics / ed. by B.S. Lipkin, A. Rosenfeld. – New York: Academic Press, 1970. – P. 75–149.
4. Nixon M., Aguado A. Feature Extraction and Image Processing for Computer Vision. – 4th ed. – London: Academic Press, 2019. – 650 p.
5. Marr D., Hildreth E. Theory of edge detection // Proceedings of the Royal Society of London. Series B. – 1980. – Vol. 207. – P. 187–217.
6. 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.
7. Ziou D., Tabbone S. Edge detection techniques – an overview // Pattern Recognition and Image Analysis. – 1998. – Vol. 8, No. 4. – P. 537–559.
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. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. Bradski G. The OpenCV Library // Dr. Dobb’s Journal of Software Tools. – 2000. – Vol. 25, No. 11. – P. 120–125.