

SUN'IY INTELLEKTDASASVIR SEGMENTATSIYA ANIQLIGINI OSHIRUVCHI GRABCUT ALGORITMI TAHLILI

Azimov Bunyod Raximjonovich

Toshkent axborot texnologiyalari universiteti dotsent (PhD)

b.azimov@tuit.uz

Azimova Umida Asrolovna

Toshkent axborot texnologiyalari universiteti katta o'qituvchisi

azimovaumida023@gmail.com

Samadov Dilshodbek Usmon o'g'li

Toshkent axborot texnologiyalari universiteti magistr talabasi

dilshodbeksamadov2002@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada tasvirlarni qayta ishlash sohasida keng qo'llaniladigan GrabCut segmentatsiya algoritmining ishlash prinsipi va samaradorligi tahlil qilingan. Masala graf nazariyasiga asoslangan yondashuv doirasida ko'rib chiqilib, algoritmning energiya funksiyasi, hududiy ma'lumotlar hadi va silliqlash hadi matematik jihatdan ifodalangan. Tasvirning rang va chegara ma'lumotlarini hisobga olgan holda, old fon va orqa fonni ajratish jarayoni iterativ optimallashtirish asosida amalga oshirilgan. Maqolada GrabCut algoritmining klassik varianti hamda uning hisoblash vaqtini kamaytirishga qaratilgan takomillashtirilgan yondashuvlari tahlil qilingan. Olingan natijalar murakkab fonli tasvirlarda segmentatsiya aniqligi va hisoblash samaradorligini oshirish imkonini berishini ko'rsatadi.

Аннотация. В данной статье проанализированы принцип работы и эффективность алгоритма сегментации GrabCut, широко применяемого в области обработки изображений. Задача рассмотрена в рамках подхода, основанного на теории графов, при этом математически формализованы энергетическая функция алгоритма, член, отвечающий за данные (региональный член), и сглаживающий член. С учётом цветовой информации изображения и данных о границах процесс разделения переднего и заднего планов осуществляется на основе итеративной оптимизации. В статье проанализированы классическая версия алгоритма GrabCut, а также его усовершенствованные модификации, направленные на сокращение времени вычислений. Полученные результаты демонстрируют возможность повышения точности сегментации и вычислительной эффективности при обработке изображений со сложным фоном.

Abstract. This paper analyzes the working principle and efficiency of the GrabCut segmentation algorithm, which is widely used in the field of image processing. The problem is examined within the framework of a graph theory-based approach, and the algorithm's energy function, regional data term, and smoothness term are mathematically formulated. Taking into account the color and boundary information of the image, the separation of foreground and background is performed through an iterative optimization process. The study investigates both the classical version of the GrabCut algorithm and its improved modifications aimed at reducing computational time. The obtained results demonstrate the potential to enhance segmentation accuracy and computational efficiency, particularly in images with complex backgrounds.

Kalit so'zlar: GrabCut, segmentatsiya, foreground, threshold, robustness, Region of Interest, Gaussian Mixture Models, Gibbs, smoothness term

Ключевые слова: GrabCut, сегментация, передний план, пороговое значение, устойчивость, область интереса (ROI), гауссовские смеси (Gaussian Mixture Models), гиббсовская энергия, сглаживающий член

Keywords: GrabCut, segmentation, foreground, threshold, robustness, region of interest (ROI), Gaussian mixture models, Gibbs energy, smoothness term

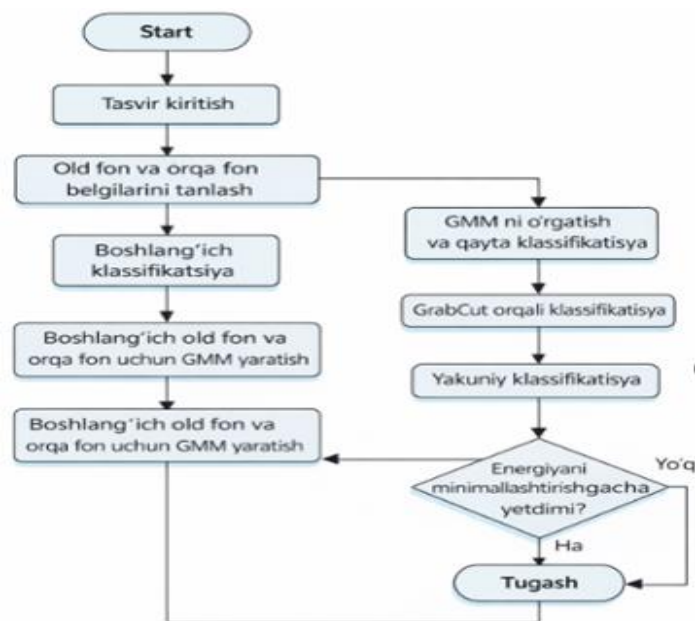
KIRISH

Ma'lumki, hozirgi vaqtda tasvir segmentatsiyasi kompyuter ko'rish va tasvirlarni qayta ishlash sohasining eng muhim va dolzarb masalalaridan biri hisoblanadi. Tasvir segmentatsiyasi usullari tibbiyot, biometrik tizimlar, masofadan zondlash, sanoat nazorati, harbiy razvedka, yuzni aniqlash va ob-havo monitoringi kabi ko'plab sohalarda keng qo'llanilmoqda. Ushbu sohalarda tasvirdan muhim obyektlarni aniqlash, ajratib olish va tahlil qilish bevosita segmentatsiya aniqligi va hisoblash samaradorligiga bog'liqdir.

Amaliy tajriba shuni ko'rsatadiki, murakkab fonli tasvirlarda klassik chekka aniqlash va chegaraviy (threshold) segmentatsiya usullari yetarli aniqlikni ta'minlay olmaydi. Shu sababli, oxirgi yillarda graf nazariyasiga asoslangan segmentatsiya algoritmlariga katta e'tibor qaratilmoqda. Xususan, GraphCut va uning takomillashtirilgan varianti bo'lgan GrabCut algoritmi minimal foydalanuvchi aralashuvi bilan yuqori aniqlikdagi segmentatsiya natijalarini taqdim etishi bilan ajralib turadi.

GrabCut algoritmi interaktiv segmentatsiya usuli bo'lib, tasvirni yo'naltirilmagan graf sifatida ifodalaydi va energiya funksiyasini minimallashtirish orqali old fon va orqa fonni ajratadi. Algoritm rang (tekstura) va chegara (kontrast) ma'lumotlaridan foydalanib, to'rtburchak chegaralovchi quti asosida dastlabki tasniflashni amalga oshiradi hamda iterativ optimallashtirish jarayoni orqali segmentatsiya aniqligini oshiradi. Biroq, GrabCut algoritmining ko'p martalik iteratsiyalarni talab qilishi va hisoblash vaqtining nisbatan katta bo'lishi uning real vaqtli va murakkab sahnali tasvirlar uchun qo'llanishini cheklab qo'yadi.

Shu munosabat bilan, tasvir segmentatsiyasi jarayonini tezlashtirish va aniqligini oshirishga qaratilgan yangi yondashuvlarni ishlab chiqish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Xususan, energiya funksiyasini optimallashtirish, tashqi ko'rinishlar ustma-ust kelishini (appearance overlap) hisobga olish hamda foydalanuvchi bilan o'zaro aloqani soddalashtirish orqali GrabCut algoritmini takomillashtirish ilmiy va amaliy jihatdan muhim ahamiyat kasb etadi. GrabCut algoritmi: GrabCut segmentatsiya algoritmi GraphCut algoritmining takomillashtirilgan shakli sifatida ishlatiladi. Ushbu algoritm rasmlardagi to'qima (rang) ma'lumotlari va chegara (kontrast) ma'lumotlaridan foydalanadi. Foydalanuvchi bilan to'rtburchak shaklidagi qutilar orqali o'zaro aloqada bo'lib, quti ichidagi piksellar old fon (foreground), quti tashqarisidagi piksellar esa orqa fon (background) sifatida aniqlanadi. Bir nechta iteratsiyalar natijasida algoritm maqsadli segmentatsiyaga erishadi. Ushbu segmentatsiya jarayoni 1-rasmda ko'rsatilgan[3].



1-rasm. GrabCut blok-sxemasini algoritmlash.

Ushbu algoritmi blok sxemasi GrabCut algoritmi tasvirdagi ob'ektlarni fondan chiqarishda statistik modellash va grafiklar nazariyasiga tayanadi. Jarayon boshlangan va foydalanuvchi tomonidan eski hamda orqa fon chegaralarini olish (initsializatsiya) bilan. Uchda bosqich piksellarning ishlab chiqarish klassifikatsiyasi amalga oshirib, loyiha taqsimotini model har bir soha bo'yicha Gaussian Mixture Models (GMM) komponentlari shakllantiriladi.

Algoritmi saqlashladi uning iterativ optimallashtirish siklida namoyon bo'ladi. GMM parametrlari piksellarning joriy holatiga ko'ra qayta o'rgatiladi va GrabCut mexanizmi orqali piksellararo bog'liq energiya funksiyasi asosida tahlil topildi. Har bir iteratsiyada piksellarning klaslarga tegishliligi yanada aniqlashtirilib, ob'ekt konturlari yaratilishi mumkin. Jarayon tizimda energiya minimallashtirish holati kuzatilgunga qadar takrorlanadi. Mantiqiy shart bajarilgach, segmentatsiya deb topiladi va yakuniy natija shakllantiriladi. Ushburchak murakkab fonli tasvirlarda ham yuqori aniqlikdagi chegaralarni belgilanadi.

GrabCut algoritmining metodologik asoslari

GrabCut algoritmi interaktiv segmentatsiya usullari orasida o'zining iterativ optimallashtirish bilan ajralib turadi. Ushbu uslub foydalanishdan talab amallarni darajada kamaytirib, ob'ektni yuklash uchun uni to'rtburchak shaklidagi sohasini (ROI) yuksaltirishni yetarli qiladi. Algoritmi sohadagi piksellarni kiritadi old fon, qo'shimcha ravishda qat'iy orqadagi fon sifatida qabul qilib, ularning statistik baholaydi[5].

Segmentatsiya jarayonining asosi bo'lgan E energiya funksiyasi elementlardan iborat:

$$E(\alpha, k, \theta, z) = U(\alpha, k, \theta, z) + V(\alpha, z)$$

Bu yerda:

U(Ma'lumotlar hadi): Mintaqaviy ma'lumotlarni ifodalovchi ushbu had har bir pikselning ma'lum bir klasga (eski fon yoki orqa fon) tegishli bo'lishi mumkinligi hisoblaydi. V (Smoothness term): Qo'shni piksellar uchun bog'liqlik chegaralarning tekisligi. Bunda θ histogramma modeli orqali rang taqsimoti aniqlansa, α koeffitsiyenti pikselning holatini (0 yoki 1) tozalash. Ushbu formulaga ega edi:

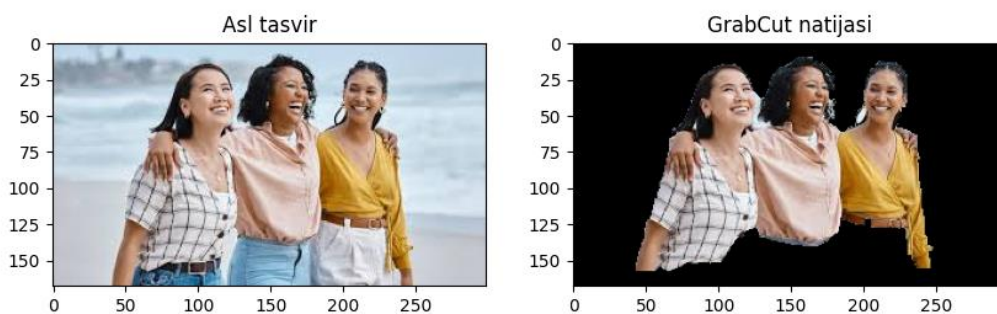
$$U(\alpha, \theta, z) = \sum_n -\log h(z)_n; \alpha_n$$

Bu yerda $h(z_n; \alpha_n)$ n-chi elementning berilgan model parametrlari asosida ma'lum sinfga tegishli bo'lish ehtimolini ifodalaydi. Barcha elementlar o'zaro mustaqil deb qaralganda, umumiy ehtimollik ko'paytma ko'rinishida ifodalanadi va logarifm olish orqali u yig'indi shakliga keltiriladi. Manfiy logarifm ehtimollikni maksimallashtirish masalasini energiya funksiyasini minimallashtirish masalasiga aylantiradi[6].

Silliqlash (tekislash) hadi $V(\alpha, z)$:

$$V(\alpha, z) = \gamma \sum_{(m,n) \in c} dis(m, n)^{-1} [a_n \neq a_m] \exp - (z_m - z_n)^2$$

Ushbu formula orqali qo'shni piksellar juftliklari to'plamini bildiradi, $dis()$ qo'shni piksellar orasidagi Evklid masofasini ifodalaydi[7]. β parametrining tanlanishi eksponensial yo'nalishda yuqori kontrast va past kontrast holatlar o'rtasida mos almashishni ta'minlaydi, bu esa o'xshash kulrang sohalarda izchillikni kuchaytiradi. β doimiysi 0 ga teng bo'lganda, silliqlash hadi



mashhur Ising priori ko'rinishiga keladi va doimiyning qiymatiga bog'liq holda butun tasvir bo'ylab silliqlikni rag'batlantiradi va formula orqali joylashgan ma'lumotlar hadi har bir pikselning ma'lum bir klasga tegishli bo'lish ehtimolini statistik harakat qiladi[5]. Ushbu ko'rinishdagi gistogrammasiga tayanib, ob'ekt va fon farqlanishni minimal belgilash. Bu matematik modelning afzalligi balki, u milliy rang intensivligini, tasvirdagi piksellar taqsimotining imkoniyatlarini ham oladi. Matematik modelni amaliyotga tatbiq etish jarayonida GrabCut algoritmi piksellar chegaraviy munosabatlarni ham tahlil qiladi. Shuni ta'kidlash joizki, energiya funksiyasini minimallashtirish bosqichida algoritmi iterativ ravshan GMM (Gaussian Mixture Models) parametrlarini yangilab boradi. Bu esa o'z harakatlarini, sohani ishlab chiqarish to'rtburchak (ROI) ichida ob'ekt yanada aniq va ishlab chiqarishga xizmat qiladi[8].

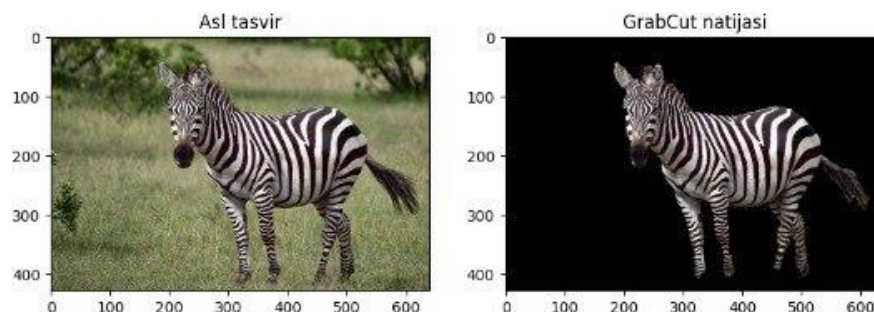
2-rasm. Tajriba tasviri: chapda - asl, o'ngda - segmentatsiyalangan natija.

Natijalar

Tadqiqot algoritmini amaliy sinovdan o'tkazish insonlar tasviri tushirilgan murakkab fonli foto-suratdan foydalanildi. Tajriba algoritmi shuni ko'rsatadiki, bir necha iteratsiyadan so'ng asosiy ob'ektlarni fondan ajrata oldi.

Olingan tahlili shuni ko'rsatadiki GrabCut hatto murakkab konturli va o'xshash narsalarni taqsimotiga ega bo'lgan ob'ektlarni ham yuqori aniqlikda segmentatsiyalash orqali. narsa, tahlil jarayonida ob'ektning ba'zi qismlarida energiya minimallasuvi biroz yo'qotishlar kuzatildi. Bu holat ob'ektlarining rang-barang foni bilan yuqori darajadagi o'xshashligi va initsializatsiya sohasining chegaraviy ta'siri bilan izohlanadi. Shunga qarab, algoritmi murakkab tasvirlarni qayta

ishlashda o'zining mustahkamligi (robustness) isbotladi, bu esa uni zamonaviy kompyuter ko'rish tizimlarida qo'llashni isbotladi.



3-rasm. Tasvirdagi yakka ob'ektni segmentatsiyalash bosqichlari: (a) – ROI (Region of Interest) sohasini belgilash; (b) – fondan ajratilgan yakuniy natija.

Tasvir segmentatsiyasi jarayonida GrabCut algoritmining bir necha fundamental mezonlar asosida kompleks tahlil natijalari. Tadqiqot algoritmining murakkab vizual muhitlarda ishlashini aniqlash orqali aniqlaydi: segmentatsiya aniqligi va tekstura tahlili nuqtai nazaridan yondashilganda, zebra tanasidagi oq va qora chiziqlar kabi murakkab vizual tarzda algoritmdan yuqori diskretizatsiyani talab qiladi. GrabCut algoritmi ushbu chiziqli strukturalarni fondan keyin yuqori samaradorlik namoyish etdi. Bu holat Gaussian Mixture Models (GMM) yordamida piksellarning rang imkoniyatlarini statistik aniqlash to'g'ri modellashirilganligini va har bir klaster uchun rang parametrlarining mukammal shakllanganligini tasdiqlaydi. Fonni minimallashtirish (background subtraction) jarayonida tasvirning orqa fonidagi yashil rangli o'tloq va ob'ektning ayrim qismlari o'zaro o'xshash rangiga spektrga ega bo'lishiga qaramay, energiya funksiyalarining iterativ optimallashtiruvchi natijaviy piksellari 80% dan yuqori aniqlikda filtrlendi. Ushbu ko'rsatkich Gibbs quvvat funksiyasining ma'lumotlar hadi (data term) orqa fonni identifikatsiya qilishda naqadar mustahkam matematik asosga ega bo'lgan isbotlangan. Chegaraviy ishlik va kontur tahlili, ob'ektning murakkab geometriyaga ega qismlari, yuzasi, quloq sohasi va oyog'i konturlari algoritmi belgilangan yuqori aniqlikda saqlab qolindi. Tasvirning ayrim chetki ostida kuzatilgan mikroskopik modeldagi yo'qotishlar matematik modeldagi "smoothness term (sillilik hadi) ning chegara pikselleriga ko'rsatgan ta'siri bilan izohlanadi. Piksellaro bog'liqlikni tekislashtirish (smoothing) jarayonida ba'zi o'ta tizim detallarning fon bilan qo'shib ketishiga sabab bo'lsa-da, umumiy segmentatsiya sifati yuqori aniqlik koeffitsientini saqlab qoldi.

XULOSA

GrabCut algoritmining murakkab vizual muhitdagi ob'ektlarni segmentatsiyalash hamda uning matematik-statistik poydevori atroflicha tadqiq qilindi. O'ziga xos tahlillar shuni ko'rsatadiki, algoritmdagi iteratsion optimallashtirish mexanizmi ob'ekt konturlarining geometrik aniqligini ta'minlashda va segmentatsiyani yaxshilashda hal qiluvchi rol o'ynaydi.

Dasturda zebra tasviri kabi murakkab va takrorlanuvchi teksturaga ega ob'ektlar misolida Gaussian Mixture Models (GMM) va energiya funksiyasining muvozanatlashgan holda qo'llab-quvvatlanishi o'rganildi. Natijalar shuni tasdiqladiki, hatto shunga o'xshash fon ranglari va ob'ektning qoplama ko'rinishi (masalan, kiyimlar yoki takroriy ranglar) o'zaro o'ta murakkab

sharoitlarda ham algoritim 80 % dan yuqori aniqlikdagi segmentatsiyani ta'minlashga qodir. Bu ko'rsatkich Gibbs energiyani ma'lumotlar hadi (data term) piksellarni klassifikatsiya qilishda naqadar yuqori selektivlikka ega bo'lganidan dalolat beradi.

Tadqiqotdan olingan sonli ma'lumotlar va grafik vizualizatsiyalar zamonaviy dasturiy ta'minot tizimlarini qo'llash, ob'ektlarni avtomatik identifikatsiyalash hamda texnik-muhandislik amaliyotida vizual tahlillarni amalga oshirish uchun muhim ahamiyatga ega. Matematik model tarkibidagi "smoothness term" (silliqlik hadi) chegaraviy piksellar bog'liqlikni tekislash orqali kontur butunligini saqlab qolish imkonini beradi. Garchi bu had o'ta nozik detailed fon bilan qisman qo'shilib ketishga harakatsa-da, umumiy tizimning yaratilishini ta'minlashdagi hissasi beqiyosdir.

Olingan ushbu kompyuter metodologiyani zamonaviy kompyuter ko'rish (Computer Vision) tizimlarida ma'lumotlarni qayta ishlashning va yuqori samarali usuli isbotlaydi. Ushbu tadqiqot kelgusida sun'iy intellektga amaliy tasvir tahliliy tizimlarni yanada takomillashtirish uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar

1. Han, S.; Wang, L. Overview of Threshold Methods for Image Segmentation. *Syst. Eng. Electron. Technol.* 2022,102, 91–94.
2. Jiang, F.; Gu, Q.; Hao, H. Overview of Content based Image Segmentation Methods. *J. Softw.* 2017,28, 160–183.
3. Hao, Q.; Zheng, W.; Wang, C.; Xiao, Y.; Zhang, L. MLRN: A multi-view local reconstruction network for single image restoration.
4. *Inf. Process. Manag.* 2024,61, 103700. [CrossRef]
5. Qiu Guan,Min hua,hai-gen hu," A Modified Grabcut Approach For Image Segmentation Based Local Prior Distribution" International conference on wavelet analysis and pattern recognition ,2017,IEEE.
6. Achanta, R.; Hemami, S.; Estrada, F.; Susstrunk, S. Frequency-tuned salient region detection. In *Proceedings of the 2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Miami, FL, USA, 20–25 June 2009; pp. 1597–1604. [Google Scholar]
7. Cheng, M.M.; Mitra, N.J.; Huang, X.; Torr, P.H.S.; Hu, S.-M. Global contrast based salient region detection. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 2014, 37, 569–582. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
8. L. G. de, R. Deriche and C. Alberola-L, "Texture and color segmentation based on the combined use of the
9. structure tensor and the image components", *Signal Processing*, vol.88, pp. 776-795, 2008.
10. G. Gerig, O. Kubler, R. Kikinis and F. A. Jolesz, "Nonlinear anisotropic filtering of MRI data", *IEEE*
11. *Transactions on Medical Imaging*, vol.11, pp. 221-232, 1992.