BRAYL KATAKCHASINING GEOMETRIK-PROYEKTIV MODELI VA PERSPEKTIVNI TO‘G‘RILASH ALGORITMI

Majidova Gulhayo Abdirazzoq qizi
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi
Toshkent axborot texnologiyalari universiteti doktoranti

Annotatsiya. Maqolada Brayl katakchasining geometrik modeli va kamera orqali olingan tasvirlarda perspektivni to‘g‘rilash algoritmi bayon etiladi. Katakcha parametrik tarzda, panjara esa global geometrik tuzilma sifatida modellashtiriladi. Tekis sahifaning kamera ostidagi ko‘rinishi gomografiya orqali frontal holatga keltiriladi; gomografiya to‘g‘ridan-to‘g‘ri chiziqli akslantirish va RANSAC bilan robust baholanadi. Algoritmning matematik asoslari va aniqlikка ta’siri ko‘rib chiqiladi.

Kalit so‘zlar: geometrik model, proyektiv akslantirish, gomografiya, perspektivni to‘g‘rilash, RANSAC, Brayl katakchasi.

Kamera orqali olingan Brayl tasvirlarini tanishning markaziy qiyinchiligi geometrik buzilishdir. Smartfon kamerasi sahifaga ko‘pincha burchak ostida yo‘naltiriladi, bu perspektiv buzilish hosil qiladi: muntazam panjara tugunlari tasvirda nomuntazam joylashadi va parallel qatorlar kesishuvchi bo‘lib ko‘rinadi. Bu buzilishni to‘g‘rilamasdan ishonchli tanish mumkin emas.

Ushbu maqolada Brayl katakchasining geometrik modeli va perspektivni to‘g‘rilash algoritmi yagona matematik apparat doirasida bayon etiladi. Maqsad — kamera ostidagi ixtiyoriy ko‘rinishni frontal, etalon ko‘rinishga keltirish va katakcha tuzilishini muntazam panjara sifatida tiklash, bu keyingi barcha bosqichlar uchun ishonchli zamin yaratadi.

Brayl yozuvi tekislikdagi muntazam panjara tugunlariga joylashgan bo‘rtma nuqtalardan iborat. Bitta katakcha beshta geometrik parametr — tayanch nuqta koordinatalari, gorizontal va vertikal qadamlar hamda og‘ish burchagi — bilan tavsiflanadi. Katakcha ichidagi olti pozitsiya 2×3 to‘rning tugunlariga mos keladi va ularning markazlari tayanch nuqtaga nisbatan ma’lum siljish bilan aniqlanadi.

Har bir pozitsiya markazi masshtab, burilish va siljish geometrik almashtirishlari orqali ifodalanadi. Bu parametrik model katakchaning ixtiyoriy joylashuvini ixcham va aniq tasvirlaydi. Pozitsiyada nuqta mavjudligi ikkilik holat vektori bilan, katakcha kodi esa shu vektorning ikkilik son sifatidagi qiymati bilan belgilanadi, bu 0 dan 63 gacha bo‘lgan 64 ta kombinatsiyani qamrab oladi.

Sahifa darajasida katakchalar global panjara hosil qiladi. Bu panjara bir necha global parametr — umumiy qadam, orientatsiya va boshlang‘ich pozitsiya — bilan tavsiflanadi. Global panjara modeli alohida nuqtalarni emas, balki ularning birgalikdagi muntazam tuzilmasini hisobga oladi, bu yetishmagan yoki shovqinli nuqtalar mavjud bo‘lganda ham tuzilmani ishonchli tiklashga imkon beradi.

Brayl sahifasi tekis bo‘lgani uchun, uning kamera ostidagi ko‘rinishi tekislikdan tekislikka proyektiv akslantirish — gomografiya — bilan to‘liq tavsiflanadi. Gomografiya 3×3 matritsa bo‘lib, u sahifadagi nuqtalarni tasvirdagi mos nuqtalarga akslantiradi. Bu akslantirish parallellikni saqlamaydi, shuning uchun u perspektiv effektni, jumladan g‘oyib nuqtalarni, to‘g‘ri modellashtiradi.

Gomografiya sakkizta erkinlik darajasiga ega va to‘rtta mos nuqta juftligidan aniqlanadi, chunki har bir juftlik ikki tenglama beradi. Amalda sahifa burchaklari yoki aniqlangan nuqtalar mos nuqtalar sifatida ishlatiladi. To‘g‘ridan-to‘g‘ri chiziqli akslantirish (DLT) usuli bu tenglamalar tizimini yechib, gomografiya matritsasini topadi.

Sonli barqarorlikni ta’minlash uchun koordinatalar normallashtiriladi: ular markazlashtiriladi va o‘rtacha masofa belgilangan qiymatga keltiriladi. Bu normallashtirish DLT matritsasining shartlilik sonini kamaytirib, yechimning aniqligini sezilarli oshiradi. Gomografiya teskari akslantirilib, tasvir frontal ko‘rinishga keltiriladi.

Amalda mos nuqtalarda shovqin va xato mosliklar (chetlanishlar) mavjud bo‘ladi. Klassik eng kichik kvadratlar usuli chetlanishlarga sezgir, chunki kvadratik yo‘qotish katta xatolarni kuchaytiradi. Shuning uchun robust baholash — RANSAC algoritmi — qo‘llaniladi. U tasodifiy minimal namunalardan (to‘rtta nuqta) gomografiyalar quradi va har biri uchun izchil nuqtalar sonini hisoblaydi.

Eng ko‘p izchil (inlier) nuqtaga ega bo‘lgan gomografiya tanlanadi va yakuniy baho barcha inlierlar bo‘yicha aniqlanadi. RANSAC yuqori buzilish nuqtasiga ega, ya’ni u ko‘p sonli chetlanishlar mavjud bo‘lganda ham ishonchli ishlaydi. Zarur iteratsiyalar soni inlierlar ulushiga va talab qilingan ishonch darajasiga qarab baholanadi.

To‘g‘rilangan tasvirda katakcha qadamini aniq baholash dekodlash uchun zarur. Katakchalarning muntazam joylashuvi davriy tuzilma hosil qiladi; shu sababli proyeksiya profilining Fure spektrida qadamga mos chastotada aniq cho‘qqi paydo bo‘ladi. Bu cho‘qqi pozitsiyasidan panjara qadami hisoblanadi.

Baholangan qadam asosida global panjara qo‘yiladi va har bir aniqlangan nuqta eng yaqin panjara tuguniga biriktiriladi. Robust optimallashtirish panjara parametrlarini aniqlashtirib, chetlanishlarning ta’sirini kamaytiradi. Natijada har bir katakcha ma’lum qator va ustundagi olti pozitsiya bilan aniqlanadi, bu katakcha tuzilishini to‘liq tiklaydi.

Perspektivni to‘g‘rilash tanish aniqligiga hal qiluvchi ta’sir ko‘rsatadi. To‘g‘rilashsiz holatda kamera burchagi ortishi bilan katakchalar tuzilishi buziladi va aniqlik keskin tushadi. To‘g‘rilash bilan esa katta burchaklarda ham muntazam tuzilma tiklanadi va yuqori aniqlik saqlanadi. Bu algoritmni kamera asosidagi mobil qo‘llash uchun amaliy qiladi.

Geometrik model, shuningdek, qidiruv fazosini cheklab, keyingi bosqichlarni soddalashtiradi: nuqtalar faqat panjara tugunlarida izlanadi, bu soxta aniqlanishlarni kamaytiradi. Shunday qilib, geometrik-proyektiv model va perspektivni to‘g‘rilash butun tanish quvurining ishonchliligi va aniqligi uchun fundamental zamin yaratadi.

Modelning ishlashini yaxlit sonli misolda ko‘rsatish mumkin. Faraz qilaylik, tasvir taxminan 12° qiya burchakda va kichik perspektiv buzilish bilan olingan. Binarizatsiya va bog‘liq komponentlar tahlilidan keyin yuzlab nuqta-nomzod ajratiladi; yuza va doiraviylik mezoni bo‘yicha filtrlashdan so‘ng haqiqiy nuqtalar saqlanadi. Qiyshayish burchagi proyeksiya profili dispersiyasi maksimumi orqali baholanadi va tasvir to‘g‘rilanadi.

Keyin sahifa burchaklaridan gomografiya hisoblanadi, RANSAC chetlanishlarni filtrlaydi va tasvir frontal ko‘rinishga keltiriladi. Fure spektri katakcha qadamiga mos chastotada cho‘qqi beradi, bundan qadam hisoblanadi. Global panjara qo‘yilib, har bir nuqta eng yaqin tugunga biriktiriladi va katakcha tuzilishi tiklanadi.

Yakuniy bosqichda har bir katakchaning ikkilik vektori va kodi aniqlanadi. Bu sonli misol nazariy formulalar real ma’lumotda qanday qo‘llanilishini va har bir bosqich oldingisining natijasiga qanday asoslanishini ko‘rsatadi, bu modelning amaliy izchilligini tasdiqlaydi.

Algoritmning hisoblash murakkabligi mobil qo‘llash uchun muhim. Gomografiyani baholash to‘rtta nuqtadan o‘zgarmas vaqtda, RANSAC esa iteratsiyalar soniga proporsional vaqtda bajariladi. Tasvirni qayta namunalash piksellar soniga chiziqli bog‘liq. Umumiy murakkablik tasvir o‘lchamiga nisbatan chiziqli yoki yaqin chiziqli bo‘lib, real vaqtli ishlovga imkon beradi.

Sonli barqarorlik koordinatalarni normallashtirish orqali ta’minlanadi: bu DLT matritsasining shartlilik sonini kamaytirib, yumaloqlash xatolariga bardoshlilikni oshiradi. Singulyar qiymatlarga yoyish (SVD) ga asoslangan yechim sonli jihatdan barqaror.

Bu xususiyatlar algoritmni nafaqat aniq, balki samarali va ishonchli qiladi. Hisoblash murakkabligini nazorat qilish va sonli barqarorlikni ta’minlash amaliy, mobil tizimni loyihalashning ajralmas qismidir.

Taklif etilgan geometrik model bir qator taxminlarga asoslanadi: sahifa tekis, kamera buzilishi kichik va katakchalar muntazam panjara hosil qiladi. Bu taxminlar amalda ko‘pincha o‘rinli, biroq kuchli egilgan yoki shikastlangan materiallarda buzilishi mumkin. Bunday hollarda qo‘shimcha to‘g‘rilash yoki ko‘p kadrli birlashtirish foydali.

Model linza (radial) buzilishini aniq modellashtirmaydi, biroq zamonaviy smartfon kameralarida bu buzilish kichik va perspektiv to‘g‘rilash amalda yetarli. Sezilarli radial buzilishda oldindan kalibrlangan parametrlar bilan to‘g‘rilash qo‘shilishi mumkin.

Model modulli bo‘lib, kengaytirishga ochiq: sakkiz nuqtali katakcha yoki boshqa panjara tuzilmalari uchun parametrik tavsif kengaytirilishi mumkin. Bu kengaytirilishi modelni turli Brayl variantlari va sharoitlariga moslashtirishga imkon beradi.

Maqolada Brayl katakchasining geometrik-proyektiv modeli va perspektivni to‘g‘rilash algoritmi bayon etildi. Katakcha parametrik tarzda, panjara esa global tuzilma sifatida modellashtirildi; kamera ostidagi ko‘rinish gomografiya orqali frontal holatga keltirilib, DLT va RANSAC bilan robust baholandi.

Algoritm kamera burchagidan qat’i nazar muntazam katakcha tuzilishini tiklab, yuqori aniqlikni ta’minlaydi. Bu model keyingi nuqta aniqlash va dekodlash bosqichlari uchun ishonchli geometrik zamin bo‘lib xizmat qiladi va mobil Brayl tanish tizimining matematik negizini tashkil etadi.

Adabiyotlar

1. Majidova G.A. Brayl alifbosidagi yozuvlarni ovozli ma’lumotlarga aylantirishning modellari va algoritmlari: PhD diss. – Toshkent: TATU, 2025.
2. Hartley R., Zisserman A. Multiple View Geometry in Computer Vision. – Cambridge University Press, 2004.
3. Fischler M.A., Bolles R.C. Random Sample Consensus // Communications of the ACM. – 1981.
4. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital Image Processing. – Pearson, 2018.
5. (Muallif manba ma’lumotlarini o‘z nashrlari bilan to‘ldirishi/tekshirishi lozim.)