

UDK 004.8, 004.93

## MASOFADAN ZONDLASH ASOSIDA OLINGAN TASVIRLARDAGI DESKRIPTORLARNI QURISH USULLARINING QIYOSIY TAHLILI

Yusupov O.R.<sup>1</sup>, Eshonqulov E.Sh.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti, Samarqand, O‘zbekiston  
ozodyusupov@gmail.com

**Annotatsiya.** *Tasvirlarni taqqoslash, tasvirlarda obyektlarni qidirish, tasvirni ro‘yxatdan o‘tkazish amaliy masalalari yechishda belgilar to‘plami tashkil etadigan deskriptorlardan foydalaniladi. Ushbu maqolada deskriptorlar qurish usullarining gradiyentga asoslangan deskriptorlar, spektral taqdim etishga asoslangan deskriptorlar, lokal binar deskriptorlar, shakl deskriptorlari, bazis funksiyasiga asoslangan deskriptorlar sinfi tegishli usullar tasvirlar uchun o‘rganilgan. Masofadan olingan tasvirlarning turli vaqtlarda olishi, turli qurilmalarda olinishi, deformatsiyalar paydo bo‘lishi, okklyuziyalar bo‘lishi hisobga olinib deskriptorlarni qurish usullari burilishga invariant, tasvir kontrast, intensivligini o‘zgarishi, masshtab, deformatsiya okklyuziyaga turg‘unligi tahlil etildi. Qiyosiy tahlillar asosida xulosa qismida keyingi ilmiy tadqiqot ishlari uchun tavsiyalar berildi. Deskriptorlar ko‘plab masofadan olingan tasvirlarni ro‘yxatga olish, tasvirni birlashtirish, tasvir bo‘yicha qidirish, tasvirlarda obyektning tanib olish va o‘zgarishlarni aniqlash masalalarida muhim ekanligi qayd etildi.*

**Kalit so‘zlar:** *tasvir, invariant, deskriptor, tasvirga ishlov berish, belgilarni ajratib olish, deformatsiya, kompyuterli ko‘rish.*

### I. KIRISH

Kompyuterli ko‘rishning dolzarb masalalaridan biri tasvirlarda obyektlarni qidirishdir. Bunday amaliy masalalar sirasiga inson-mashina interfeysi, biometrika, yerni masofadan zondlash, tasvirli ma‘lumotlar bazalari, jarayonni boshqarish tizimlari va boshqalarni keltirish mumkin [1-3].

Tasvirlarda obyektlarning belgilarini ajratib olish kompyuterli ko‘rish va timsollarni tanib olishning asosiy masalalaridan biridir. Tasvirlardagi obyektlarning birlamchi geometrik belgilaridan biri bo‘lib maxsus nuqtalari (feature points) hisoblanadi. Bunday maxsus nuqtalar tasvirning lokal qismlari ajratib turishda, ya‘ni qirralar burchaklar, timsollarning tanib olishning keyingi bosqichlarida qo‘llaniladi. Maxsus nuqtalar bir-biri bilan taqqoslab, bir qator tasvirlarda obyektlarni kuzatish, videoni barqarorlashtirish, panorama yaratish, obyektlarni uch o‘lchovli rekonstruksiya qilish, to‘ldirilgan reallik tizimlarida va boshqalar masalalarni hal qilish mumkin [1-3].

Tasvirni ro‘yxatga olish tasvirga ishlov berishning muhim bosqichlaridan biri hisoblanadi. Bu bosqichi bir xil sahnaning ikki yoki undan ortiq ko‘rinishda identifikatsiyalash yoki turli xil ma‘lumotlar to‘plamini bitta koordinata tizimiga keltirish jarayonidir. Asosan, bu tasvirni to‘g‘rilash deb ham ataladi. Tasvirni ro‘yxatga olish tushunchasi masofadan zondlash, tibbiy tasvirlar, kompyuter ko‘rish va kartografiya sohalar uchun ishlab chiqiladigan dasturiy ilovalarda qo‘lla-

niladi. Masofadan zondlashda o‘zgarishlarni aniqlash, tasvirni mozaikalash, atrof-muhit monitoringi va ob-havo prognozi kabi ko‘plab amaliy masalalarni yechishda qo‘llaniladi. O‘zgarishlarni aniqlash tushunchasi quruqlikdagi o‘zgarishlar, yer qoplamasi, qirg‘oq o‘zgarishi, shaharlar, geoinformation tizimlar va masofaviy zondlash kabi vaqt va fazoviy tahlil usullarida o‘zgarishlarni ifodalaydi. Masofaviy zondlash tasvirni tahlil qilishning eng kerakli bo‘lgan masalasidir [1]. Tasvirni mozaikalash deganda ma‘lumotlar to‘plamining o‘lchamini kamaytirishga yordam beradigan, bir-biri ustma-ust tushadigan ikki yoki undan ortiq tasvirlarni birlashtirishdan hosil qiladigan tasvirni yaratish jarayoni tushuniladi. Tasvirni ro‘yxatga olishda foydalaniladigan ma‘lumotlar turli vaqtlardan, turli rakurslarda yoki turli xil suratga olish qurilmalari tomonidan olinishi mumkin. Ushbu ma‘lumotlarni turli vaqtlarda olishdan asosiy maqsad o‘zgarishlarni aniqlash, baholash va tahlil qilish hisoblanadi va bunday o‘zgarishlar yuqorida sohalarining amaliy masalalarni yechishda kerak bo‘ladi. Masalan, masofaviy zondlash masalalarida o‘zgarishlar vaqti-vaqti bilan er maydonlari o‘zgarishi mumkin, ya‘ni ba‘zi maydonlarda ekinlar ekilgan bo‘lishi va bir vaqtdan so‘ng maydonda ekinlar yig‘ilishi yoki o‘rnida yangi binolar qurilishi mumkin. Tibbiy tahlilda shifokorlar turli xil tibbiy tasvirlardagi o‘zgarishlarni kuzatishlari kerak bo‘ladi. Masalan, saraton kasalligini davolash uchun shifokor vaqti-vaqti

bilan saraton hujayralarining o'sishini kuzatishi kerak bo'ladi [1-3].

Tasvirni ro'yxatga olish usullari ikki xil turga bo'linadi: hududga asoslangan va belgiga asoslangan usullarga [4,5]. Hududga asoslangan usullar tasvirlar o'zida optimallashtirish algoritmlari yordamida aniq belgilarni aniqlamasdan, o'zgarish bo'lgan tasvirlar o'rtasidagi piksel-larning o'xshashligini baholash bilan amalga oshiriladi [4-7]. Bu usul shovqindan kelib chiqadigan intensivlik taqsimoti, o'zgaruvchan yorug'lik va geometrik deformatsiyalar tufayli o'zgarishlariga turg'un emas. Belgiga asoslangan usullar yorug'lik o'zgarishi va murakkab geometrik deformatsiyalar [4,8] uchun ko'proq mos keladigan tasvir intensivligi qiymatlari o'rniga ikkita tasvirdan olingan yorqinlik belgilaridan bevosita foydalanadi va tasvirlarni taqqoslashda keng qo'llaniladi. Belgiga asoslangan tasvirni ro'yxatga olish usullari to'rtta asosiy bosqichdan iborat [9]: birinchi bosqich belgini ajratib olish (feature descriptor), ikkinchi bosqich belgilarni taqqoslash, uchinchi transformatsiyani baholash va oxirgisi – tasvirdan qayta shablon olish. Belgilarni ajratib olish va belgilarga mosligini sozlash ko'plab manipulyatsiya usullarni talab qiladi [10], tasvirni ro'yxat olish qiyin bosqichlardan biri bo'lib, aniq belgilar ro'yxatga olishda muhimdir. Belgilarni chiqarishdagi har qanday muammo noto'g'ri o'zgartirish funksiyasiga olib keladi va bu esa noto'g'ri ro'yxatga olish

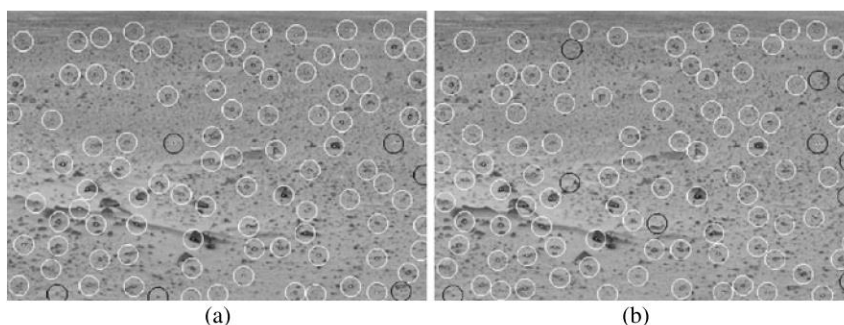
natijalariga olib keladi. Belgilarni ajratib olish yoki belgilar deskriptori to'g'ri qurmaslik tasvirni noto'g'ri ro'yxatga olishning asosiy muammosi bo'ladi.

Tasvirning maxsus nuqtasi deb, uning lokal sohasi atrofiga tegishli bo'lgan nuqtalar boshqa nuqtalar bilan taqqoslaganda o'ziga xos xususiyatga ega bo'lgan nuqtaga aytiladi. Ushbu sohalar ko'plab kompyuter ko'rish algoritmlari uchun boshlang'ich nuqta bo'ladi va ular qirralar, burchaklar, bloblarga bo'linadi.

Tasvirlarning maxsus nuqtalari bilan ishlash quyidagi sxemaga asoslanadi:

1. Maxsus nuqtani aniqlash (feature detection);
2. Deskriptor asosida maxsus nuqtani tavsiflash (feature description);
3. Taqqoslanayotgan tasvirlarning maxsus nuqtalarining deskriptor asosida taqqoslash (feature matching).

Tasvirni ro'yxatga olishda ikkita tasvirdagi taqqoslash nuqtalari o'rtasidagi moslikni aniqlash uchun deskriptorlar kerak bo'ladi. Agar tasvirlarda aylanish va masshtablashda farq bo'lmasa, oynalar o'rtasidagi o'xshashlikni topib, tasvirlardagi eng mos oynalarni etalonga moslashtirish orqali aniqlash mumkin (1-rasmga qarang). Biroq, tasvirlar noma'lum burilish yoki masshtab bo'yicha farqqa ega bo'lsa, moslikni aniqlash uchun burilish yoki masshtabning o'zgarishligi ega deskriptorlar kerak bo'ladi.



1-rasm. (a), (b) NASA tomonidan taqdim etilgan Mars manzarasining stereo tasvirlari

1-rasmda maxsus nuqtalar, lokal sohaning shakli doira shaklda va maxsus nuqtalar doira chegarasini ifodalovchi aylanalarni markazi sifatida ko'rsatilgan.

## II. USULLAR TAHLILI

Obyektni qidirish asosan deskriptorlarni taqqoslash asosida amalga oshiriladi. Deskriptor – bu belgilar to'plami asosida tasvirning ba'zi bir sohasini identifikatsiyalash usuli hisoblanadi. Tasvirlar ikki o'lchovli bo'lgani uchun ularga

qo'llaniladigan deskriptorlarni quyidagi shartli quyidagi sinflarga bo'lish mumkin [11, 12]: gradiyentga asoslangan deskriptorlar, spektral taqdim etishga asoslangan deskriptorlar, lokal binar deskriptorlar, shakl deskriptorlari, bazis funksiyasiga asoslangan deskriptorlar. Shuni ta'kidlab o'tish kerakki, ba'zi usullar ma'lum bir xususiyatlar nisbatan bir vaqt ikkita sinfga ham tegishli bo'lishi mumkin.

Lokal binar deskriptorlar binar vektorlar ko'rinishidagi tasvirning kichik sohasining tavsiflaydi. Eng mashhur lokal deskriptor lokal

binar naqshlar hamda ularni takomillashtirish asosida ishlab chiqilgan. (Local Binary Patterns — LBP) [13], Ushbu sinfga BRISK (Binary Robust Invariant Scalable Keypoints) [16], BRIEF (Binary Robust Independent Elementary Features) [14], ORB (Oriented BRIEF) [15] va boshqalar keltirish mumkin.

Tasvir spektraliga asoslangan deskriptorlar sohalarni identifikatsiyalashda turli xil belgilardan foydalanadilar: gradiyent, rang, intensivlik, statistik belgilar va boshqalar. Binar belgilar deskriptoriga nisbatan tasvir spektraliga asoslangan deskriptori hisoblash nuqtai nazardan intensiv bo‘ladi. Ushbu deskriptor usullariga quyidagilarni keltirish mumkin: SURF (Speeded Up Robust Features) [18], SIFT (Scale Invariant Feature Transform) [17], HoG (Gradients histogrammasi) [20], DAISY [19], korrelyatsiya shablonlari Sum of Absolute Differences (SAD), Sum of Squared Differences (SSD), Normalized Cross Correlation (NCC) [21], Local Gradient Pattern (LGP) [22], Haar belgilari [24], Friman kodi (Chain Code Histograms (CCH)) [23] va boshqalar.

Bazis funksiyalariga asoslangan deskriptorlar berilgan fazoda tasvirning tavsiflaydi. Bazis funksiyalariga asoslangan eng mashhur usulardan biri Furrye deskriptoridir [25]. Ushbu sinf o‘z navbatida zich bo‘lmagan kodlashtirish usullarini ham o‘z ichiga oladi va sinfga tegishli usulga “Sparse Coding” usulini keltirish mumkin [26]. Noyob kodlashga asoslangan deskriptorlar obyektlarni identifikatsiyada asosiy belgilar o‘rniga kodlar to‘plamidan foydalanadi.

*SIFT deskriptor.* SIFT usulida deskriptor Gauss bo‘yicha kalit nuqtaga eng yaqin bo‘lgan va kalit nuqtaning ba’zi bir qo‘shni nuqtalarining gradiyentlar hisoblash asosida qurilgan belgilar vektordir. Deskriptorni aniqlashdan oldin, kalit nuqtaning qo‘shni nuqtasining yo‘nalish burchagi aylana bo‘yicha o‘zgartirib chiqilib invariantga erishiladi. Tasvir gradiyentiga asoslangan usullar

bugungi kunda amaliy jihatdan turli xil ilova va tizimlarda yaxshi qo‘llanilishi tadqiqotchilarni e‘tibori tortishga sabab bo‘ldi. [17] da keltirilgandek, (SIFT) mashtablashtirish, burilish, nuqtani o‘zgarishiga nisbatan klassik va invariant bo‘lgan qism sohalarning gradiyent taqsimotiga asoslangan usuldir. SIFT usulining algoritmi to‘rtta asosiy qadamdan iborat:

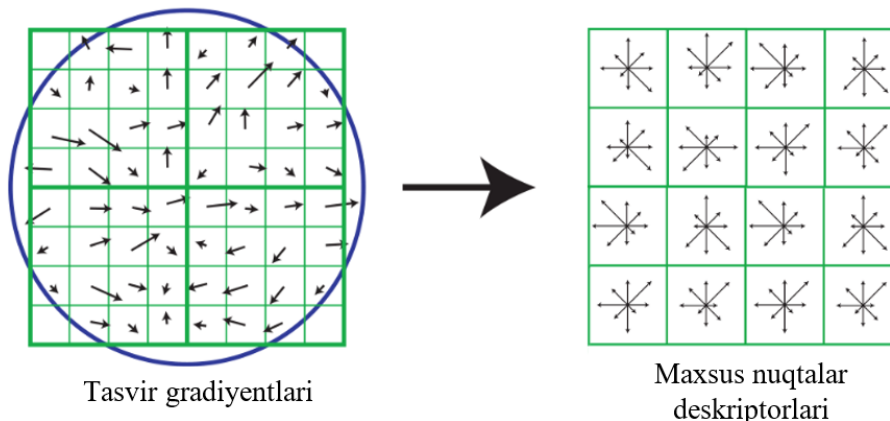
**1-qadam.** Masshtab fazosida ekstremal qiymatlarni aniqlash. Ushbu qadamda Gauss farqi funksiyasi asosida masshtab va yo‘nalishi o‘zgar-mas bo‘lgan potentsial nuqtalarini aniqlanadi;

**2-qadam.** Kalit nuqtalarni lokallashtirish. Ushbu qadamda har bir nomzod nuqtaning joylashuvi va masshtabi turg‘unlik mezonlari asosida aniqlanadi;

**3-qadam.** Yo‘nalishni belgilash. Ushbu qadamda har bir kalit nuqtaning joylashuvi tasvirning lokal gradiyent yo‘nalishlari nisbatan bir yoki bir nechta yo‘nalishlarni belgilanadi;

**4-qadam.** Deskriptor kalitli nuqtaning deskriptorli lokal sohasi qurish. Ushbu qadamda har bir kalit nuqtaning atrofidagi sohasiga tegishli nuqtalarini gradiyenti va yo‘nalishi hisoblanadi.

2(a)-rasmدا tasvirning bir qismi pikselni kvadrat shaklida ifodalab ko‘rsatilgan. Deskriptor oynasi shakli kvadrat shaklda olinib, tasvir deskriptor oynasi shaklda qismlarga ajratiladi. Har bir deskriptor ham to‘rtta kvadrat shakldagi sohaga bo‘linadi. Har bir pikselning markazida joylashgan strelka gradiyent yo‘nalishini ko‘rsatadi. Deskriptor oynasining markazi shu sohada joylashgan piksellar orasidan kalit nuqtaga yaqin joylashgan nuqtalardan tanlaniladi. Doira tasvirni Gauss yadrosi bilan konvolyutsiya bajarilgan oynasini bildiradi. Bu yadrodagi  $\sigma$  parametrining qiymati deskriptor oynasi kengligi yarmiga teng qiymati bilan aniqlanadi. Deskriptor oynasidagi har bir nuqtaning qiymati mos holda Gauss yadrosini ifodalovchi vazn koeffitsiyentlariga ko‘paytiriladi.



**2-rasm.** Deskriptorni aniqlash sxemasi: a – tasvir gradiyentining yo‘nalishi; b – kalit nuqta deskriptori

2(b)-rasmida  $4 \times 4 \times 8$  o'lchamdagi kalit nuqta deskriptorlari ko'rsatilgan. Bu yerda  $4 \times 4$  qiymatlar gorizont va vertikal sohalarni sonini, 8 qiymati esa sohalarning gistogrammasini yo'nalish yacheykasi sonini ifodalaydi. Mintaqaviy gistogrammalar hisoblash yo'nalishli gistogrammalar hisoblash kabi amalga oshiriladi, bunda quyidagilar e'tiborga olinadi:

- gistogramma  $360^\circ$  sohani qamrab oladi. Lekin 36 ta qismga emas, 8 ta qismlarga ajratadi;
- vazn koeffitsiyentlari sifatida Gauss yadrosidan foydalaniladi;
- uch chiziqli interpolyatsiya koeffitsiyentlari vazn koeffitsiyentlarida aniqlanadi.

Deskriptor oynasidagi har bir gradiyent uchta haqiqiy qiymat juftligida, ya'ni  $(x, y, n)$  koordinata ko'rishda beriladi, bu yerda  $(x, y)$  — gradiyentgacha bo'lgan gorizont va vertikal masofa,  $n$  — gistogrammadagi gradiyent yo'nalishigacha bo'lgan masofa. Uch chiziqli interpolyatsiya koeffitsiyenti har bir  $(x, y, n)$  koordinatasi uchun  $l-d$  gradiyentlar ayirmasi kabi aniqlanadi, bu yerda  $d$  — gradiyent koordinatasidan ushbu koordinataga o'rtasigacha bo'lgan masofa. Gistogrammadagi gradiyentning kiruvchi qiymatlar uchta chiziqli interpolyatsiya vazniga ko'paytiriladi.

Amalda 128 komponentli, ya'ni  $(4 \times 4 \times 8)$  o'lchamli deskriptorlardan foydalaniladi. Olingan deskriptor normallashtirishdan so'ng deskriptor sifatida foydalaniladi.

SIFT va SURF usullar deskriptorlarni hisoblash uchun kalit nuqta atrofidagi sohalarning gradiyentini gistogrammalarini quradi. SURF usuli integral tasvirlardan foydalansa-da, bu hisoblash jarayoniga ko'proq vaqtni talab etadi.

Binar deskriptorlarning asosiy g'oyasi ma'lum bir sohadagi piksellarning yorqinligini taqqoslash natijasida olingan binar qator yordamida bitta nuqta atrofidagi sohani tasvirlashdir. Taqqoslash natijasi yorqinlik kamroq bo'lsa "1" va yorqinlik dan katta yoki teng bo'lsa "0" bo'ladi. Asosan, binar deskriptor — bu bitta nuqta sohasida yorqinlikning pasayish yo'nalishini tavsiflash usuli sifatida qaraladi.

Deskriptorlarni bir-biri bilan taqqoslanganda satrlardagi bitlarni taqqoslashni o'z ichiga oladi. Xususan, binar usullar g'oyasida paydo bo'lgan dastlabki usullarda deskriptorlarni taqqoslashda  $d_{SAD} = \sum |f_a - f_b|$  modul bo'yicha farqlar yig'indisi yoki  $d_{SSD} = \sum (f_a - f_b)^2$  ayirmalar kvadratlar yig'indisidan foydalanilgan. Keyinchalik usullarda tez hisoblashlarni amalga oshirish uchun

$d_{SSD} = \sum (f_a - f_b)^2$  Xemming masofasi qo'llanilgan.

BRIEF deskriptori. BRIEF (Binary Robust Independent Elementary Feature) [14] usuli  $s \times s$  o'lchamli  $l$ -sohaning piksellerini mos juftlari taqqoslash (1) ifoda bilan aniqlanadi,

$$\tau(p, w, z) = \begin{cases} 1, & p(w) < p(z) \\ 0, & p(w) \geq p(z) \end{cases} \quad (1)$$

bu yerda  $p(x)$   $l$ -sohadagi  $w = (u, v)$  koordinatali nuqtaning intensivligi.  $n_d$  o'lchamdagi bunday juft piksellar  $(w, z)$  to'plami "binar testlar" to'plami deb nomlanadi. Asosiy nuqta deskriptori  $n_d$  o'lchovli bit to'plami asosida quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$f_{n_d}(p) = \sum_{i=1}^{n_d} 2^{i-1} \tau(p, w, z). \quad (2)$$

$n_d$  qiymatlari sifatida 128, 256, 512 lar biri tanlanadi. Binar soha testlashda piksellarni tanlash muhim, [14] da  $w$  va  $z$  vektorlarini aniqlashning beshta usuli o'rganilgan:

- 1)  $w$  va  $z$  tekis taqsimotli tasodifiy bilan tanlanadi;
- 2)  $w$  va  $z$  Gauss taqsimotli tasodifiy bilan;
- 3)  $w$  va  $z$  ikki bosqichda tasodifiy tanlanadi. Birinchi bosqichda Gauss taqsimotiga asosida koordinatalar markaziga nisbatan  $z$  tanlaniladi. Ikkinchi bosqichda  $z$  ga nisbatan  $w$  tanlanadi;
- 4)  $w$  va  $z$  diskret radial to'rdada tasodifiy tanlanadi;
- 5) har bir juftlik uchun  $w$  koordinata markazida,  $z$  esa diskret radial to'rdada tanlanadi.

[14] dagi tajriba natijalariga ko'ra, yuqorida keltirilgan beshta usulda tanib olish aniqligi deyarli bir-biriga yaqindir. Deskriptorlarni taqqoslashda Hemming masofasidan qo'llaniladi.

BRIEF usulining asosiy kamchiliklari sifatida quyidagilarni keltirish mumkin: deskriptorni hisoblash uchun nuqtalarni optimal tanlamaslik; tanib olish jarayonida nuqtaning yo'nalishini hisobga olmaslik.

ORB deskriptor. ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF) [15] usuli BRIEF usulidagi asosiy kamchiliklarni bartaraf etishga qaratilgan. ORB usulida burchak yo'nalishini hisoblashda  $m_{pq}$  tasvir momentlari orqali hisoblangan  $C$  og'irlik markazining koordinatalaridan foydalaniladi:

$$m_{pq} = \sum_{x,y} x^p y^q I(x,y) \quad C = \left( \frac{m_{10}}{m_{00}}, \frac{m_{01}}{m_{00}} \right),$$

u holda burchakning yoʻnalishi vektor tomonidan beriladi, uning boshlanishi markaziy nuqtada va oxiri ogʻirlik markazida boʻladi. Burchak quyidagi koʻrinishda aniqlanadi

$$\theta = \arctg \left( \frac{m_{01}}{m_{10}} \right).$$

Ushbu yondashuvlar BRIEF “steered” usulida oʻz ifodasini topadi. Koordinatalari  $(x_i, y_i)$  boʻlgan  $n$  oʻlchamli binar testlar toʻplami uchun  $2 \times n$  oʻlchamli  $S$  matritsa quriladi:

$$S = \begin{pmatrix} x_1 & \dots & x_n \\ y_1 & \dots & y_n \end{pmatrix}.$$

Hisoblangan  $\theta$  burchagidan foydalanib,  $R_\theta$  aylanish matritsasi tuziladi, undan soʻng  $S_\theta = R_\theta S$  ifodadan aylanishni hisobga olgan holdagi  $S_\theta$  matritsasini olish mumkin. Burchakni  $2\pi/30$  qiymatga oshirish asosida diskretlash-tiriladi, yaʼni diskretlash qadami  $12^\circ$  tashkil etadi va deskriptorlar qidiriladi va  $S_\theta$  bilan kelishuv amalga oshiriladi.

Deskriptor (2) ifodadan farqli oʻlaroq, quyidagicha koʻrinishga ega boʻladi:

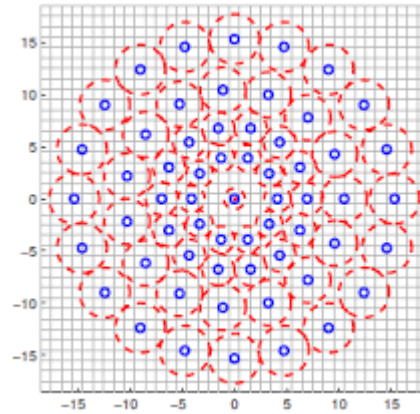
$$g_n(p, \theta) = f_{n_d}(p) |_{(x,y) \in S_\theta}.$$

[27] da deskriptorlarning sifatini keyingi taqqoslash nuqtai nazaridan aniqlash muammosi koʻrib chiqiladi. Maʼlumki, baʼzi bir jinsli sohaning deskriptorlari kam farqlanadi va koʻplab boshqa xususiyatlarga bogʻliq boʻlib qoladi. Shuning uchun deskriptorlarning sifatini koʻp hollarda oʻrtacha arifmetik va dispersiya parametrlari orqali baholash taklif etiladi.

BRIEF usuli muhim xususiyatga egaligi har bir deskriptor katta dispersiyaga ega va oʻrtacha qiymati 0,5 ga yaqindir. Lekin deskriptor asosiy nuqta yoʻnalishiga yoʻnaltirilishi bu xususiyatni yoʻqotishga olib keladi. Binar testlarni oʻzaro bogʻliq emasligi ham muhim hisoblanadi. Bu yaxshi tanib olish taʼminlaydi. Bunday muammolarni hal qilishda ORB usuli yuqori dispersiyaga ega, oʻrtacha qiymatlari 0,5 ga yaqin va bir-biri bilan bogʻliq boʻlmaganlarni topishda barcha mumkin boʻlgan binar testlar orasida qidiruvdan foydalanadi. Bunda natija rBRIEF deb ataladi. Koʻp oʻlchovli maʼlumotlarni oʻlchovlari

deskriptorga mos kelish uchun oʻlchamni qisqartirishda LSH (Locality-sensitivity hashing) usuli qoʻllaniladi.

BRISK deskriptori. Burilishga invariantlikga erishish uchun erishish uchun BRISK (Binary Robust Invariant Scalable Keypoints) deskriptorida nuqtalar 3-rasmdagi shablona muvofiq amalga muvofiq tanlanadi.



3-rasm. BRISK deskriptorida nuqtalarni tanlash

Kalit nuqtaning yoʻnalishini hisoblash uchun  $p$  sohadagi  $N(N-1)/2$  nuqtalar orasidagi  $(p_i, p_j)$  juft nuqta oʻrtasida lokal gradiyent hisoblanadi,

$$g(p_i, p_j) = (p_i - p_j) \frac{I(p_i, \sigma_j) - I(p_i, \sigma_i)}{\|p_i - p_j\|^2}$$

bu yerda  $I(p_i, \sigma_j) - \sigma_i$  standart chetlanish bilan Gauss filtri qoʻllanilgan nuqta intensivliklari.  $A$  nuqta juftlarining butun toʻplamida  $S$  – “qisqa juftliklar” va  $L$  – “uzun juftliklar” bilan belgilanadi. Uzun juftliklar uchun –  $\|p_i - p_j\| < \delta_{\max}$ , qisqalar juftliklar uchun esa  $\|p_i - p_j\| \geq \delta_{\min}$  shart bilan aniqlanadi, bu yerda  $\delta_{\max}, \delta_{\min}$  – boʻsagʻaviy qiymatlar.

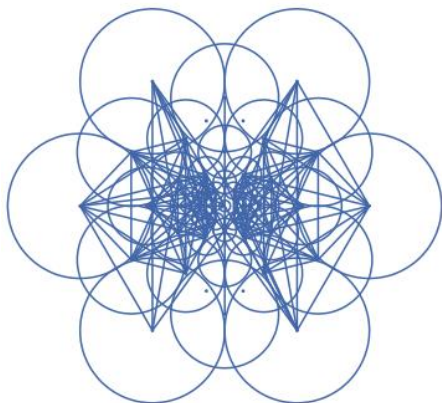
Uzun juftliklar  $L$  birlik nuqtaning yoʻnalishini hisoblash uchun ishlatiladi. Yoʻnalishni hisoblash uchun barcha "uzun gradiyentlar" yigʻindisi aniqlanadi,

$$g = \begin{pmatrix} g_x \\ g_y \end{pmatrix} = \frac{1}{L} \sum_{(p_i, p_j) \in L} g(p_i, p_j)$$

va  $\theta = \arctg \left( \frac{g_x}{g_y} \right)$  hisoblanadi. Binar deskriptorning oʻzi BRIEFdagi kabi faqat “qisqa

juftliklar” uchun hisoblanadi. Deskriptorlarni taqqoslash BRIEFdagi kabi amalga oshiriladi.

*FREAK deskriptori.* FREAK (Fast Retina Keypoint) [28] deskriptori ham xuddi BRISK kabi deskriptorni hisoblash uchun doira shakldan foydalanadi. Undan farqi shundaki, nuqtalarning zichligi sohaning markaziga qarab eksponensial ravishda oshadi va ular bir-biri kesishadi (4-rasmga qarang). BRIEF va ORB usullari kabi, kalit nuqta sohalari oldindan silliqashtirish amali bajariladi. Asossan bunda Gauss silliqashtirishi qo'llaniladi.



4-rasm. FREAK deskriptorida nuqtalarni tanlash

FREAK usuli deskriptorlarni taqqoslashda deskriptorning har 16 baytida kaskadli qidiruvdan foydalanadi. Dastlabki 16 baytni taqqoslashda nomzodlarning 90% dan ortig'i bekor qilinishi qidiruvni sezilarli darajada tezlashtiradi. Kalitli nuqtaning burilishga nisbatan baholash uchun BRISK usuli kabi tanlangan juftliklar ustidagi lokal gradiyentlar yig'iladi.

*AKAZE deskriptori.* Ushbu usul chiziqalmas masshtabli fazolardagi kalit nuqtalarni aniqlash va tavsiflashni amalga oshiradi. Ushbu yondashuvning g'oyasi berilgan tasvirga turli tipli filtrlarni qo'llash orqali turli masshtablardagi (ko'p masshtabli fazo) bir qancha oraliq tasvirlarni yaratishdir.

Chiziqalmas diffuziya tenglamalarni yechishga chiziqalmas ko'p masshtabli fazoni qurish uchun tez oshkor sxemasidan (Fast Explicit Diffusion, FED) foydalanish taklif qiladi.

Kalit nuqtalarni aniqlash berilgan tasvirning  $L_f$  tasvirning chiziqli bo'lmagan shkalasining har bir filtr qo'llanilgan komponenti uchun Gessian matritsasi determinantini hisoblash yo'li bilan amalga oshiriladi,

$$L_H = \sigma^2 (L_{xx}L_{yy} - L_{xy}^2)$$

bu yerda  $(L_{xx}, L_{yy})$  gorizontal va vertikal bo'yicha ikkinchi tartibli hosiladir.

Burilishga invariant bo'lgan deskriptorlarini olish uchun kalit nuqtaning lokal qo'shnisini dominant yo'nalishini baholash kerak. SURF usuli kabi, dominant yo'nalishi  $6\sigma_i$  radiusli doira sohasida  $\sigma_i$  diskretlash qadami joylashadi.

Deskriptorni hisoblashda M-SURF deskriptorining chiziqalmas ko'p masshtabli fazo uchun takomillashtirilgan usuli qo'llaniladi.  $\sigma_i$  masshtab bo'yicha asosiy nuqtani aniqlash uchun  $L_x$  va  $L_y$  birinchi tartibli hosilalar  $24\sigma_i \times 24\sigma_i$  o'lchamli to'rtburchak sohada hisoblanadi. Ko'rib chiqiladigan to'rtburchak sohalardan olingan har sohaning asosiy nuqtasi qo'sh nuqtasi yo'nalishi bo'yicha olingan general yo'nalishga asoslanib kelishuv bo'yicha olingan general yo'nalish buriladi. Bundan tashqari, hosilalar yo'nalishga muvofiq hisoblanadi. Tasvir kontrasti invariantlik ta'minlash uchun yakuniy natijada olingan deskriptor nisbiy birliklarning 64 bitli vektoriga normallashtiriladi [29].

*Iyerarxik yadro deskriptorlari.* Yadro deskriptorlari [30] SIFT va HOG kabi yo'nalish gistogrammalarining yadro ko'rinishini ta'kidlaydi va ular tasvir qismi uchun mos keladigan yadrolarning maxsus turi ekanligini ko'rsatadi. Ushbu yangi yondashuv piksel atributlarini (gradiyent, rang, mahalliy ikkilik naqsh va boshqalar) lokal qism darajasidagi belgilar bo'yicha yagona asosni taklif qiladi:

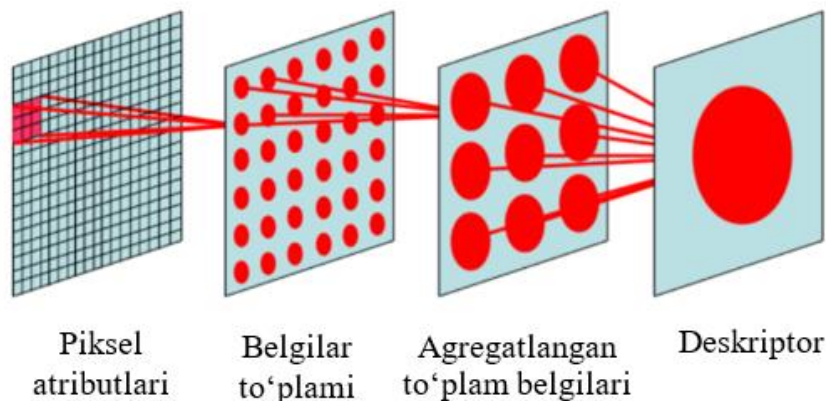
- piksel xususiyatlari yordamida muvofiqlik yadrolarini loyihalash;
- bosh komponenta yadrolarini tahlil qilish (KPCA) yordamida kompakt bazis vektorlarni qurish;
- cheksiz o'lchovli belgilar vektorlarini o'rganilgan bazis vektorlariga proyeksiyalash orqali yadro deskriptorlarini qurish.

Ushbu usulning asosiy g'oyasi shundan iboratki, yadro deskriptor tuzilishini nafaqat piksellar to'plamidan tashqari yadro deskriptorlar to'plamiga ham qo'llash mumkin. Yadroning iyerarxik identifikatorlari 5-rasmda ko'rsatilganidek, rekursiv yadro identifikatorlari yordamida yuqori darajadagi belgilarni hosil qilish uchun fazoviy yaqin joylashgan piksellar to'plami darajasidagi belgilarni birlashtiradi.

Yadro deskriptorlari lokal sohada piksellar to'plami darajasidagi belgilar ko'plab kompyuterli ko'rish masalalari uchun juda muhimdir. SIFT va HOG usullari kabi yo'nalish gistogrammalari

obyektni tanib olish uchun lokal qismda pikselar to'plami darajasidagi mashhur belgilardir. Yadro identifikatorlari maxsus holatlar sifatida SIFT va HOG ni o'z ichiga oladi va turli piksel

atributlaridan lokal qism darajasidagi ko'p belgilarni yaratishning prinsipial usulini ta'minlaydi.



5-rasm. Iyerarxik yadro deskriptori

### III. XULOSA

Ushbu maqola masofadan olingan tasvirlarda ro'yxatga olish, taqqoslash va obyektlarni qidirish masalalari hal qilishda muhim bo'lgan deskriptorlar qurish usullarini tahlil qilish va tahlil natijalari bo'yicha ilmiy tadqiqotchilar uchun eng so'nggi va ilg'or ilmiy olingan natijalarni umumlashtirgan holda taqdim etish va kompyuterli ko'rish masalalari yechishda qo'llaniladigan dasturiy ilovalarni ishlab chiqishda asosini tashkil etadigan uchun usul va algoritmlarni bo'yicha tadqiqotlarni rivojlantirishga qaratilgan.

Tasvir deskriptori kompyuterli ko'rish va timsollarni tanib olishda muhim rol o'ynaydigan asosiy apparatdir. Lekin, deskriptorlarni mos masalaga yondashib qurishda hali ham hal qilinmagan ba'zi muammolar mavjud:

- Barqaror belgilarni aniqlash tasvirni ro'yxatdan o'tkazishning birinchi bosqichi bo'lib, u belgilar mos kelishda aniqliqga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli, kelajakda tadqiqotchilar ushbu muammoni hal qilish uchun etalon va o'zgargan tasvirda aniqlash taklif etiladi.

- Aniqlangan belgilarni tavsiflash juda muhim va qiyin qadam bo'lib, lokal deskriptor bo'yicha belgilar invariant, o'lchov, burilish, okklyuziya va yoritishga nisbatan turg'un bo'lishi kerak.

- Tasvirlarni ro'yxatga olishni tezlashtirish va yaxshilash uchun ishlatiladigan mezonlarni va optimallashtirish algoritmlarini o'lchaydigan aniq belgi mosligini aniqlash juda muhim qadamdir.

- Mos almashtirish funksiyasi tanlash muhimdir. Chunki ba'zi tasvirlar global yoki lokal yoki global va lokal deformatsiyalar ega bo'ladi.

Xulosa qilib aytganda, deskriptorlar ko'plab masofadan olingan tasvirlardagi masalalarda kompyuterli ko'rish ilovalarini ishlab chiqishda

tasvirni ro'yxatga olish, tasvirni birlashtirish, tasvir bo'yicha qidirish, tasvirlarda obyektning tanib olish va o'zgarishlarni aniqlashda muhim rol o'ynaydi.

### ADABIYOTLAR

- [1] Radjabov S.S., Yusupov O.R., Eshonqulov E.Sh. Masofadan zondlash asosida olingan tasvirlarga ishlov berish masalalari. Международная научно-практическая конференция «Актуальные задачи математического моделирования и информационных технологий». – Нукус, Нукусский филиал ТУИТ имени Мухаммада аль-Хоразмий, 2023 г. Том №3 – 69-71 с.
- [2] Yusupov O.R., Eshonkulov E.Sh., Abdiyeva Kh.S. An enhancement of the slic superpixel segmentation method for hyperspectral images. Actual problems of applied mathematics and information technologies-AI-Khwarizmi 2023. 291-292 pp.
- [3] Yusupov O. R., Eshonkulov E. Sh. Superpixel segmentation approaches for remote sensing images. Actual problems of applied mathematics and information technologies-AI-Khwarizmi 2023. 292-293 pp.
- [4] C. Leng, H. Zhang, B. Li, G. Cai, Z. Pei and L. He, "Local Feature Descriptor for Image Matching: A Survey," in IEEE Access, vol. 7, pp. 6424-6434, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2888856.
- [5] B. Zitová and J. Flusser, "Image registration methods: A survey," Image Vis. Comput., vol. 21, no. 11, pp. 977-1000, 2003.
- [6] W. K. Pratt, "Correlation techniques of image registration," IEEE Trans. Aerosp.

- Electron. Syst., vol. AES-10, no. 3, pp. 353–358, May 1974.
- [7] *P. Viola and W. M. Wells, III*, “Alignment by maximization of mutual information,” *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 24, no. 2, pp. 137–154, Sep. 1997.
- [8] *X. Liu, Z. Tian, and M. T. Ding*, “A novel adaptive weights proximity matrix for image registration based on R-SIFT,” *AEU-Int. J. Electron. Commun.*, vol. 65, no. 12, pp. 1040–1049, 2011.
- [9] *C. Leng, J. Xiao, M. Li, and H. P. Zhang*, “Robust adaptive principal component analysis based on intergraph matrix for medical image registration,” *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2015, Mar. 2015, Art. no. 829528.
- [10] *L. G. Brown*, “A survey of image registration techniques,” *ACM Comput. Surv.*, vol. 24, no. 4, pp. 325–376, Dec. 1992.
- [11] *Krig, S.* *Computer vision metrics: Survey, taxonomy, and analysis* / S. Krig. – Berkeley, CA: Apress Media, 2014. – 498 p. – ISBN: 978-1-4302-5929-9.
- [12] *Jain, M.* *A survey on CBIR on the basis of different feature descriptor* / M. Jain, D. Singh // *British Journal of Mathematics & Computer Science*. – 2016. – Vol. 14, Issue 6. – P. 1-13. – DOI: 10.9734/BJMCS/2016/24000.
- [13] *Ojala, T.* *A comparative study of texture measures with classification based on feature distributions* / T. Ojala, M. Pietikäinen, D. Harwood // *Pattern Recognition*. – 1996. – Vol. 29, Issue 1. – P. 51-59. – DOI: 10.1016/0031-3203(95)00067-4.
- [14] *Calonder, M.* *BRIEF-binary robust independent elementary features* / M. Calonder, V. Lepetit, C. Strecha, P. Fua // *European Conference on Computer Vision*. – 2010. – Part IV. – P. 778-792. – DOI: 10.1007/978-3-642-15561-1\_56.
- [15] *Rublee, E.* *ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF* / E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige, G. Bradski // *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. – 2011. – P. 2564-2571. – DOI: 10.1109/ICCV.2011.6126544.
- [16] *Leutenegger, S.* *BRISK: Binary Robust invariant scalable keypoints* / S. Leutenegger, M. Chli, R. Siegwart // *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV'11)*. – 2011. – P. 2548-2555. – DOI: 10.1109/ICCV.2011.6126542.
- [17] *Lowe, D.G.* *Distinctive image features from scale-invariant keypoints* / D.G. Lowe // *International Journal of Computer Vision*. – 2004. – Vol. 60, Issue 2. – P. 91-110. – DOI: 10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94.
- [18] *Bay, H.* *SURF: Speeded up robust features* / H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, L. Van Gool // *Computer Vision and Image Understanding*. – 2008. – Vol. 110, Issue 3. – P. 346-359. – DOI: 10.1016/j.cviu.2007.09.014.
- [19] *Tola, E.* *DAISY: An efficient dense descriptor applied to wide-baseline stereo* / E. Tola, V. Lepetit, P. Fua // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 2010. – Vol. 32, Issue 5. – P. 815-830. – DOI: 1109/TPAMI.2009.77.10.
- [20] *Dalal, N.* *Histograms of oriented gradients for human detection* / N. Dalal, B. Triggs // *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2005)*. – 2005. – Vol. 1. – P. 886-893. – DOI: 10.1109/CVPR.2005.177.
- [21] *Scharstein, D.* *A taxonomy and evaluation of dense twoframe stereo correspondence algorithms* / D. Scharstein, R. Szeliski // *International Journal of Computer Vision*. – 2002. – Vol. 47, Issue 1-3. – P. 7-42. – DOI: 10.1023/A:1014573219977.
- [22] *Jun, B.* *Robust face detection using local gradient patterns and evidence accumulation* / B. Jun, D. Kim // *Pattern Recognition*. – 2012. – Vol. 45, Issue 9. – P. 3304-3316. – DOI: 10.1016/j.patcog.2012.02.031.
- [23] *Freeman, H.* *On the encoding of arbitrary geometric configurations* / H. Freeman // *IRE Transactions on Electronic Computers*. – 1961. – Vol. EC-10, Issue 2. – P. 260-268. – DOI: 10.1109/TEC.1961.5219197.
- [24] *Gonzalez, R.* *Digital image processing* / R. Gonzalez, R. Woods. – 3rd ed. – Upper Saddle River, NJ: PrenticeHall, 2007. – 976 p. – ISBN: 978-0-13-168728-8.
- [25] *Bracewell, R.* *The Fourier transform and its applications* / R. Bracewell. – 3rd ed. – New York: McGraw-Hill Science, 1999. – 640 p. – ISBN: 978-0-07-303938-1.
- [26] *Fei-Fei, L.* *Recognizing and learning object categories* / L. Fei-Fei, R. Fergus, A. Torralba // *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. – 2007.
- [27] *Сидякин, С.В.* *Морфологические дескрипторы формы бинарных изображений на основе эллиптических структурирующих элементов* / С.В.

- Сидякин, Ю.В. Визильтер // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 3. – С. 511-520. – DOI: 10.18287/0134-2452-2014-38-3-511-520.
- [28] Alahi, A. Freak: Fast retina keypoint / A. Alahi, R. Ortiz, P. Vandergheynst // Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2012. – P. 510-517. – DOI: 10.1109/CVPR.2012.6247715.
- [29] Alcantarilla, P. Fast explicit diffusion for accelerated features in nonlinear scale spaces / P. Alcantarilla, J. Nuevo, A. Bartoli // British Machine Vision Conference. – 2013. – P. 13.1-13.11. – DOI: 10.5244/C.27.13.
- [30] Демчев, Д.М. Восстановление полей дрейфа морского льда по последовательным спутниковым радиолокационным изображениям методом прослеживания особых точек / Д.М. Демчев, В.А. Волков, В.С. Хмелева, Э.Э. Казаков // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2016. – № 3(109). – С. 5-19

Поступила в редакцию 4.10.2023

**Citation:** Yusupov O.R., Eshonqulov E.Sh. (2023). Masofadan zondlash asosida olingan tasvirlarda deskriptorlarni qurish usullarining qiyosiy tahlili. Raqamli texnologiyalarning nazariy va amaliy masalalari xalqaro jurnali. 4(6). – B. 102-110.

### COMPARATIVE ANALYSIS OF DESCRIPTORS CONSTRUCTION METHODS IN REMOTE SENSING IMAGES

Yusupov O.R.<sup>1</sup>, Eshonkulov E.Sh.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Samarkand State University named after Sharof Rashidov, Samarkand, Uzbekistan  
ozodyusupov@gmail.com

**Abstract.** A set of descriptors is used to solve real challenges in image registration, object search in images, and image comparison. The various types of descriptors that are addressed in this article include those that are based on gradients, spectral representation, local binary, shape, and basis function. Taking into account the acquisition of remote images at different times, on different devices, the appearance of deformations, the presence of occlusions, the methods of constructing descriptors, invariance to rotation, image contrast, intensity change, scale, deformation to occlusion stability were analyzed. Recommendations for further scientific research were given in the conclusion based on comparative analysis. Descriptors have been found to be important for registration of multiple remotely sensed images, image fusion, image search, object recognition in images, and change detection.

**Keywords:** image, invariant, descriptor, image processing, feature extraction, deformation, computer vision.

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ДЕСКРИПТОРОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Юсупов О.Р.<sup>1</sup>, Эшонкулов Э.Ш.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Самаркандского государственного университета имени Шарофа Рашидова,  
Самарканд, Узбекистан

**Аннотация.** Для решения практических задач сравнения изображений, поиска объектов на изображениях, регистрации изображений используются дескрипторы, составляющие набор признаков. В этой статье изучаются методы построения дескрипторов для изображений на основе дескрипторов градиента, спектрального представления, локально-бинарного, дескриптора форм и класса дескрипторов на основе базисной функции. С учетом возникновения деформаций и окклюзий при получении удаленных изображений в разное время и с помощью разных устройств были проанализированы методы построения дескрипторов, инвариантных к вращению, контрасту изображения, изменению интенсивности, масштабу, устойчивости деформации к окклюзии. В заключении на основе сравнительного анализа даны рекомендации по дальнейшим научным исследованиям. Было отмечено важность дескрипторов при задачах регистрации изображений полученных дистанционно, объединении изображений, в поиск по изображению, распознавания объектов на изображениях и обнаружение изменений.

**Ключевые слова:** изображение, инвариант, дескриптор, обработка изображения, извлечение признаков, деформация, компьютерное зрение.