

VIDEOTASVIRDA INSON YUZ TASVIRNING GEOMETRIK XARAKTERISTIKALARI VA ULARNI ANIQLASH YONDASUVLARI

TURAPOV U. U.

(Jizzax politexnika instituti “Kompyter va
dasturiy injiniring” kafedrası professor v.b., t.f.n.)

MULDANOV F.R.

(Jizzax politexnika instituti
“Radioelektronika” kafedrası katta o’qituvchisi)

BORLIBOEV Z.D.

(Jizzax politexnika instituti “Kompyter va
dasturiy injiniring” kafedrası III-bosqich talabasi)

DAVIDOVA S. F. (Jizzax politexnika instituti
“Kompyter va dasturiy injiniring” kafedrası III-bosqich talabasi)

RAHMATULLAYEV SH H.

(Jizzax politexnika instituti “Kompyter va
dasturiy injiniring” kafedrası III-bosqich talabasi)

Annotasiya

Ushbu maqolada inson yuz tasvirini aniqlashning 7ta usullari tavsiya etilgan va inson terisining rangi bo’yicha tasvir maydonlarini ajratish va o’zgarma xususiyatlariga asoslangan.

Kalit so’zlar. rastr, modellashtirish, buffer, fragment, piksel, shablon, poligonlar, vatar, kvad, gistagramma.

Rastrlash geometrik modellashtirishga tegishli emas, biroq modellashtirish usullari har doim rastr almashtirishlari bilan chambarchas bog’liq va ular birgalikda ob’ektlarni tasvirlashning yaxlit jarayonini tashkil etadi.

Rastr almashtirishlari (rastrlash) – bu ekran koordinatalarida ifodalab bo’lingan primitivlarni chiqarish sohasiga tegishli bo’lgan piksellar atributiga aylantirish

jarayonidir. Rastrlashtirish primitivlarni qismlarga ajratish, uni teksturasini berish, uning ko‘rinmas qismlarini olib tashlash, unga soya va maxsus effektlar berish amallarini o‘z ichiga oladi. Qismlarga ajratish yordamida primitiv proeksiyasi ekranda rastr panjarasiga mos alohida piksellarga bo‘linadi. Qismlarga ajratish kadrning buferdagi piksel vaziyatini beradi. Har bir piksel vaziyati uchun buferga fragment - pikselning asosiy xarakteristikalarini (rang yorqinligi, darajasi, tekstura koordinatalari va boshqalar) aniqlovchi kodlar majmuasi kiritiladi. Zamonaviy grafik tizimlarda ob‘ekt poligonal shaklda rasterizatsiyaga beriladi.

Har xil tizimlarda poligonlar qismlarga turlicha ajratiladi. Ko‘p hollarda vatar va kvad bo‘linishlari qo‘llaniladi. Vatar – ekran tekisligidagi poligon proeksiyasi ichiga joylashgan rastr qatori qismi. Kvad – poligon proeksiyasiga tegishli 2x2 o‘lchamli piksel maydoni. Misol uchun, vatar qismlariga ajratish quyidagicha amalga oshiriladi. Vatarni topish jarayonida avval poligonlar qirralarini tashkil qiluvchi pikseller koordinatalari - ekrandagi proeksiyalari hisoblanadi. Buning uchun Brezenxem algoritmlari modifikatsiyalaridan birortasidan foydalaniladi. Olingan koordinatalarni qatorlar bo‘yicha saralash, ularning ichida esa, pikseller vaziyati bo‘yicha har bir elementlar juftligi Vatarni aniqlovchi ro‘yxat beradi. Vatar bo‘ylab harakatlanish jarayonida pikselning rangi, darajasi va boshqa xarakteristikalarini aniqlanadi.

Hozirgacha video oqim va fotosuratlarda yuz tasvirini ajratib olish imkonini beruvchi yuzni aniqlashning ko‘plab usul va algoritmlari tadqiq qilingan va ishlab chiqilgan va har biri o‘z ustunliklari va kamchiliklariga ega. Yuz tasvirining geometrik xarakteristikalarini va ularni aniqlash yondashuvlarini ettita toifaga ajratish mumkin:

- empirik yondoshuv usuli;
- tasvirni kuchli kichraytirish usuli;
- gistogrammalarni qurish usuli;
- xarakterli invariant belgilar usuli;
- shablonlar yordamida shaxs yuz tasvirini identifikatsiyalash usuli;
- uch o‘lchovli shakllar yordamida Yuzni aniqlash usuli;
- tayanch nuqtalarni taqsimlash modellari.

Empirik yondoshuv usul. Mazkur yondoshuv shaxs yuzi deb tan olinishi uchun tasvir qismi javob berishi kerak bo‘lgan qoidalar to‘plamini amalga oshiruvchi

algoritmi yaratishni talab qiladi. Ushbu qoidalar to'plami empirik bilimlarni shakllantirish, ya'ni tasvirda yuz aynan qanday ko'rinishga ega bo'lishi kerakligini aniqlashni yuzning markaziy qismi bir jinsli yorug'lik va rangga ega, yuzning markaziy va yuqori qismidagi yorug'likning farqi sezilarli, yuz simmetrik joylashgan ikki ko'z, burun va og'izdan iborat bo'lib, ular yuzning qolgan qismiga nisbatan yorug'lik bo'yicha keskin farq qiladi.

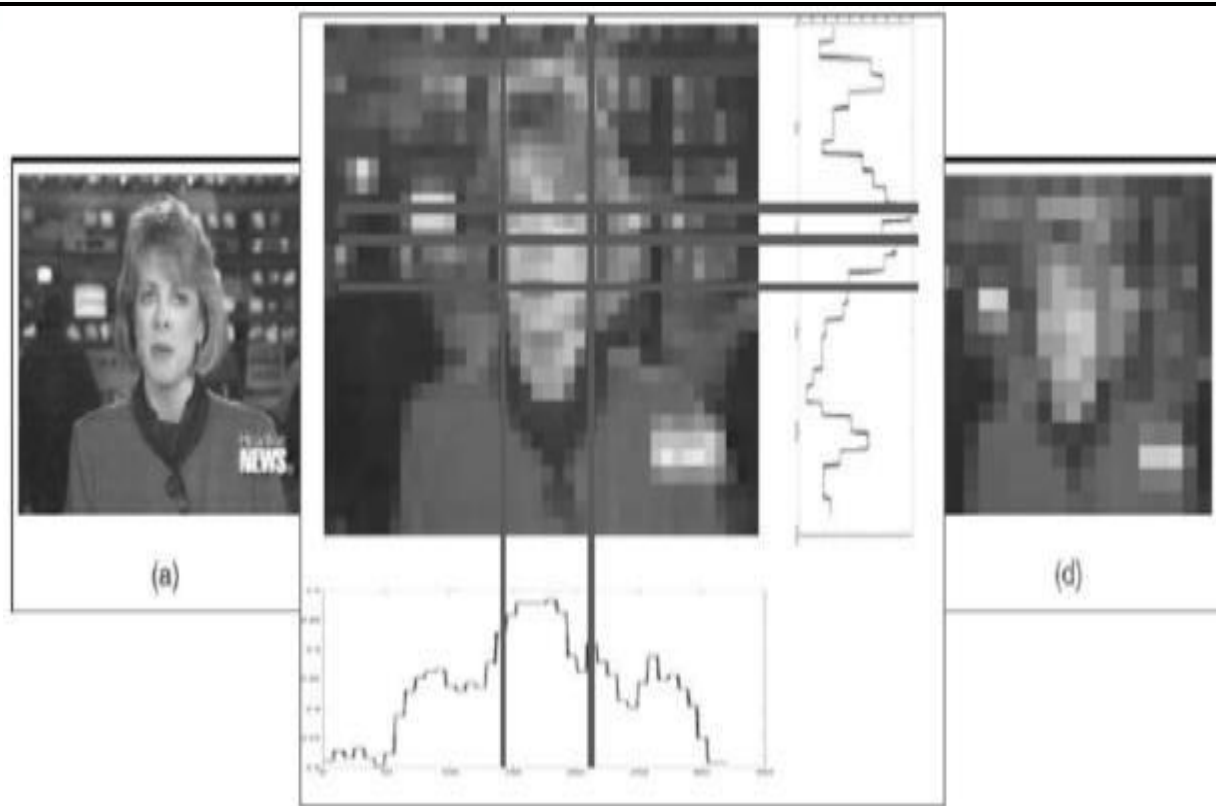
Yuz tasvirini kichraytirish usuli. Halaqitlarni tekislash, shuningdek hisoblash amallarini kamaytirish uchun tasvir kichraytiriladi (1- rasm).



1-rasm. Tasvirni kichraytirish namunasi

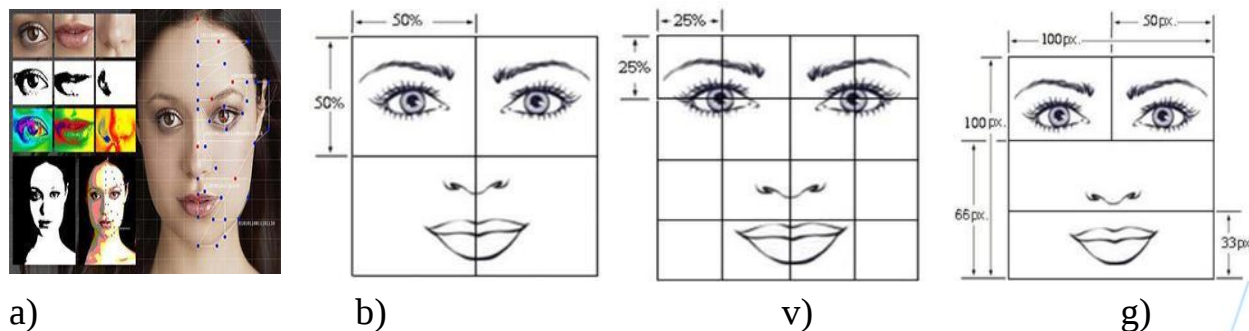
Bunday tasvirda yuz joylashgan sohaga ma'sul yorug'likning bir tekis taqsimlangan sohasini aniqlab olish qulayroq, so'ng ichida yorug'lik bo'yicha keskin farq qiluvchi sohalarni mavjudligini tekshirish: aynan qanday sohalarni turli ehtimolliklar bilan «Yuz» deb atash mumkin.

Gistogrammalarni qurish usuli. «Yuz» mavjud sohalarni aniqlash uchun vertikal va gorizontaal gistogrammalar quriladi (2-rasm). Yuz joylashgan eng ko'p ehtimolli sohalarda ularni qidiruvi amalga oshiriladi. Ushbu yondoshuvdan protsessorlar ancha «kuchsiz» bo'lgan kompyuter ko'rish tizimlarining rivojlanishi davrida foydalanilgan. Shuningdek yuqorida ko'rib chiqilgan usullar bir jinsli fonda yuzni aniqlash bo'yicha yaxshi ko'rsatkichlarga ega bo'lib, oson amalga oshiriladi. Biroq ushbu usullar ko'p miqdordagi yuzlardan tashkil topgan tasvirlarni qayta ishlash uchun umuman yaroqsiz hisoblanadi [10].



2-rasm. Gistogramma bo'yicha yuzni qidirish

Xarakterli invariant belgilar usuli. Ushbu usul suratga olish sharoitiga qaramasdan doimiy bo'lgan yuzning invariant xossaligidan foydalanadi, masalan, fazoda yuzning yo'nalishi, yoritilganlik darajasi va shu kabilar. Shablonlar yordamida shaxs yuz tasvirini identifikatsiyalash usuli. Shablonlar yuz tasviriga qandaydir standart ko'rinish beradi, masalan, yuzning alohida sohalari va ularning mumkin bo'lgan o'zaro joylashuvi xossalarini tavsiflash yo'li bilan ajaralib turadi (3-rasm).



3 -rasm. Yuz tasvirini shablonlar yordamida identifikatsiyalash

Yuz tasvirini hususiyat va elementlarini aniqlashda asosan a) -yuz tasvirining shablonida aks etgan yuzning kalit nuqtalari, rang va yorqinlik uyg'unligi, yuz qismidan ajratib olingan elementlari, b) -yuz tasvirini elementlarini hisoblash intensivligi, v) -yuz tasviri elementlarini kataklarga ajratilgan ko'rinishi, g) -yuz tasviri elementlari piksellari intensivligini hisoblash.

Yuzni shablonlar yordamida aniqlashda berilgan shablonga tasvirning har bir sohasini mosligini tekshirishdan iborat.

Tashqi belgilar bo'yicha yuzni aniqlash usuli. Tasvirga qandaydir tarzda belgilarning hisoblangan vektori mos qo'yiladi, u tasvirni ikki – Yuz/Yuz emas sinfga sinflashtirish uchun foydalaniladi.

Odatda yuz tasvirining matematik modelini qurishga asoslangan usullar yordamida tasvirlardagi yuzni qidirish tasvirning turli xil o'lchamli barcha to'g'ri to'rtburchak qismlarining to'la tanlovi va har bir qismni yuzning mavjudligiga tekshirishdan iborat. To'la tanlov ortiqcha va ulkan hisoblashlar sababli, tadqiqotchilar tomonidan qaralayotgan qismlar sonini qisqartirishning turli usullari qo'llaniladi.

Misol uchun, standart televizor ramkasini saqlash uchun uchta rangdan ikkitasi 3 bitning har biri uchun 2 bitdan iborat bo'lsa, kamida 512×512 bayt xotira talab qilinadi. Pasport tasviri kamida $64 \times 64 \times 64$ bit bo'lishi kerak (bu boshqa pasport ma'lumotlariga qaraganda ko'proq joy talab qiladi). Saqlash, qidirish va topish bilan bog'liq muammolar ko'p sonli tasvirlarni qayta ishlash va tahlil qilish orqali yanada murakkablashadi. Tasvir katta hajmdagi ma'lumotlarni o'z ichiga oladi, shuning uchun ular uchun ortiqcha statistik, psixo-vizual va kontent ma'lumotlariga ega bo'lish tabiiydir. Ushbu ortiqchalik tufayli raqamli tasvirni qayta ishlash jarayoni, tasvirni olish vaqti va saqlash hajmi oshadi.

Tasvirlarni raqamli qayta ishlashda parallel texnologiyalardan foydalanish yuqoridagi muammolarni hal qilishda muhim rol o'ynaydi. Shuning uchun Open MP va Open GL texnologiyasidan foydalangan holda rangli tasvirdan inson yuzini olish jarayonini hisoblash algoritmi ishlab chiqildi.

Tasvirlar ikki o'lchovli $f(x, y)$ funksiyasi bilan belgilanadi, bu erda x va y ma'lum bir fazoda (yoki aniqrog'i tekislikda), $f(x, x)$ ning qiymati koordinata nuqtasida intensivlik yoki kulrang faza deb ataladi. Ba'zi nashrlar yorqinlik deb ataladi. Agar x , y va f diskret qiymatlarni qabul qilsa, ular raqamli tasvirlar deyiladi. Raqamli tasvirni qayta ishlash deganda raqamli tasvirlarni kompyuterlar tomonidan qayta ishlash tushuniladi. Har qanday raqamli tasvir muayyan sohalarda cheklangan

elementlarga bo‘linadi va belgilangan qiymatlarni qabul qiladi. Ushbu elementlar tasvir elementlari yoki piksellar deb ataladi. Piksel so‘zi inglizcha rasm elementi degan ma‘noni anglatadi va tasvir elementi sifatida tarjima qilinadi.

Rangli tasvirlar. Ushbu tasvirlarning har bir pikseliga kamida 2 bit kerak. Har bir pikselda High Color nomi bilan 16 bitli (65 536 rangli) tasvir va har bir pikselda True Color deb nomlangan 24 bitli (16,7 million rangli) tasvir mavjud. Kompyuter grafik tizimlari har bir piksel uchun 32,44 yoki undan ortiq pikseli tasvirlardan ham foydalanadi.

Rasm shaklida taqdim etilgan ma‘lumotlar turlari. Kompyuter tasvirini qayta ishlash haqida gap ketganda, tasvirlarni to‘rt guruhga bo‘lish maqsadga muvofiqdir:

1. Kulrang va rangli tasvirlar.
2. Ikki va bir nechta rangli tasvirlar.
3. Qo‘sh egri va to‘g‘ri chiziqlar.
4. Nuqtalar yoki ko‘pburchaklar.

Rangli tasvir uchta matritsa (qizil, yashil va ko‘k uchun) yoki har bir rang uchun ma‘lum bitlarni ajratadigan bitta matritsa yordamida saqlanishi mumkin. Ma‘lumki, agar yorug‘likdagi farq 1 foizdan kam bo‘lsa, odamning ko‘zlari odatda buni sezmaydi. Shuning uchun, rangli tasvirlarni saqlashda har bir pikselning rangi uchun bitta bo‘shliqni ajratish kifoya. Biroq, eng yaxshi natijalarga erishish uchun rangli tasvirning har bir pikselini xotirada saqlashda bir bayt ma‘lumot etarli. Bu holda ikkita rangning har biri uchun 3 bit va uchinchi rang uchun 2 bit. Matematik nuqtai nazardan, rangli tasvirni ba‘zi hollarda uch o‘lchovli vektor matritsa sifatida ko‘rish qulay.

Yuzlarni aniqlashning tavsiya etilgan usuli o‘zgarmas xususiyatlardan foydalanadigan usullarni nazarda tutadi va inson terisining rangi bo‘yicha tasvir maydonlarini ajratishga asoslangan. Kirish o‘lchamdagi rangli tasvirdir. Algoritm 4 bosqichdan iborat.

1- bosqich. Quyidagi formuladan foydalanib, asl tasvirni RGB rang modelidan YCrCb ga aylantirish (1) .

$$\begin{aligned} Y &= 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B; \\ Cr &= 0.5 * R - 0.4187 * G - 0.0813 * B + 128; \\ Cb &= -0.1687 * R - 0.3313 * G + 0.5 * B + 128. \end{aligned} \quad (1)$$

Bu erda Y - asl tasvirning yorqinligi, Cr - asl tasvirning R kanalining farqi va Y yorqinligi, Cb - asl tasvirning B kanali va Y yorqinligi.

2- bosqich. Tajribalar natijasida Cr kanal diapazonlarida aniqlandi va Cr kanali, inson terisining rangi o'zgaradi, ya'ni tasvirdagi S1 teri hududini tanlash quyidagi formula (2) bo'yicha hisoblanadi:

$$S_1 = \begin{cases} 1, & \text{if } [Cr(x, y) \in [133;173] \cap Cb(x, y) \in [77;127]] \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

3- bosqich. Ushbu bosqichda 1- bosqich harakatlarini qo'llash natijasida hosil bo'lgan shovqinni bartaraf etish vazifasi qo'yiladi. Shovqin nuqta va kichik teshiklar shaklida shakllanishi mumkin. Shovqinni bartaraf qilish uchun biz tasvir zichligi xaritasini quyidagi formula (3) bo'yicha hisoblaymiz:

$$D(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 S_1(4x+i, 4y+j). \quad (3)$$

Nol zichlik qiymatiga ega bo'lgan nuqtalar ($D(x, y) = 0$) Yuz maydoniga taalluqli emas. To'liq zichlik qiymatiga ega bo'lgan nuqtalar ($D(x, y) = 16$) Yuz maydoniga ishora qiladi. Oraliq zichlik qiymatidagi har qanday nuqta ($0 < D(x, y) < 16$) shovqin mavjudligini bildiradi.

Zichlik xaritasi $D(x, y)$ uchun biz quyidagi amallarni bajaramiz:

barcha ekstremal nuqtalarning qiymatlarini nolga tenglashtiring - formula (4), ya'ni $D(0, y) = D(x, 0) = D(m, y) = D(x, n) = 0$. (4)

umumiy zichlikning barcha nuqtalarining qiymatlarini nolga tenglashtiring agar ular umumiy zichlikning beshdan kam nuqtasi bilan o'ralgan bo'lsa; agar ularning yaqinida umumiy zichlikning ikkitadan ortiq nuqtasi bo'lsa, barcha zichlik nuqtalariga 16 qiymatini belgilang.

Ushbu bosqichda yig'ish jarayoni to'rtta sikldan iborat. Ya'ni, ikkita tashqi siklda hisoblash tasvirdan olingan ikki o'lchovli massivning $362 \times 468 = 168416$ pikselida amalga oshiriladi. Ikki ichki siklda hisoblash $4 \times 4 = 16$ pikselida amalga oshiriladi. Ushbu hisoblash jarayoni operatsion tizimning parallel oqimlariga parallel hisoblash uchun Opne MP texnologiyasidan chiqariladi. Ushbu harakatlardan so'ng, zichlik xaritasi quyidagi formula (5) bo'yicha tasvirga aylantiriladi:

$$S_2 = \begin{cases} 1, & \text{if } D(x, y) = 16, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (5)$$

4- bosqich. Ma'lumki, asosan, fondan farqli o'laroq, tasvirdagi Yuzning mintaqasi heterogen dir. SHuning uchun, bu xususiyatga asoslanib, fon va Yuz maydoni o'rtasidagi chegarani aniqroq aniqlash mumkin - formula (6). Buning uchun biz 8x8 o'lchamdagi har bir W diafragma qiymatining standart og'ishini hisoblaymiz: Bu bosqichda 3- bosqichda bajarilgan jarayon kuzatiladi.

$$\delta(x, y) = \sqrt{E(W^2) - E(W)^2}. \quad (6)$$

Matritsa elementlarini raqamli qayta ishlash tezligi 3 va 4-bosqichlarda vektorlashtirish amalga oshirilganda yanada ortadi. Vektorlashtirish jarayoni bir vaqtning o'zida matritsaning N ta elementini qo'shish, ayirish, ko'paytirish yoki bo'lishdir.

Agar standart og'ish ikkidan kam bo'lsa, unda ko'rib chiqilayotgan oyna juda bir xil va shuning uchun yuzning bir qismi bo'lishi qiyin. Biz ushbu amalni barcha W diafragmalariga qo'llaymiz - formula (7):

$$S_3(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } S_2(x, y) = 1 \text{ va } \delta(x, y) \geq 2; \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (7)$$

Natijada, biz minimal tarkibga ega yoki shovqinsiz yuzning maydonini o'z ichiga olgan tasvirni olamiz.

Algoritmnin uchinchi va to'rtinchi bosqichlarida ketma-ket va parallel hisob-kitoblarga sarflangan vaqt quyidagi jadvalda ko'rsatilgan. 1- jadvaldagi ma'lumotlarga ko'ra, 1 ta rasm uchun 0,00021 sekund, parallellashtirish uchun 0,00017 soniya, 20 ta rasm uchun 1,152 sekund, parallellashtirish uchun 0,391 sekund va 40 ta rasm uchun 2,354 soniya, parallellashtirish uchun 72727 soniya etadi. Tezlashtirish koeffitsienti 8-formula bo'yicha hisoblanadi:

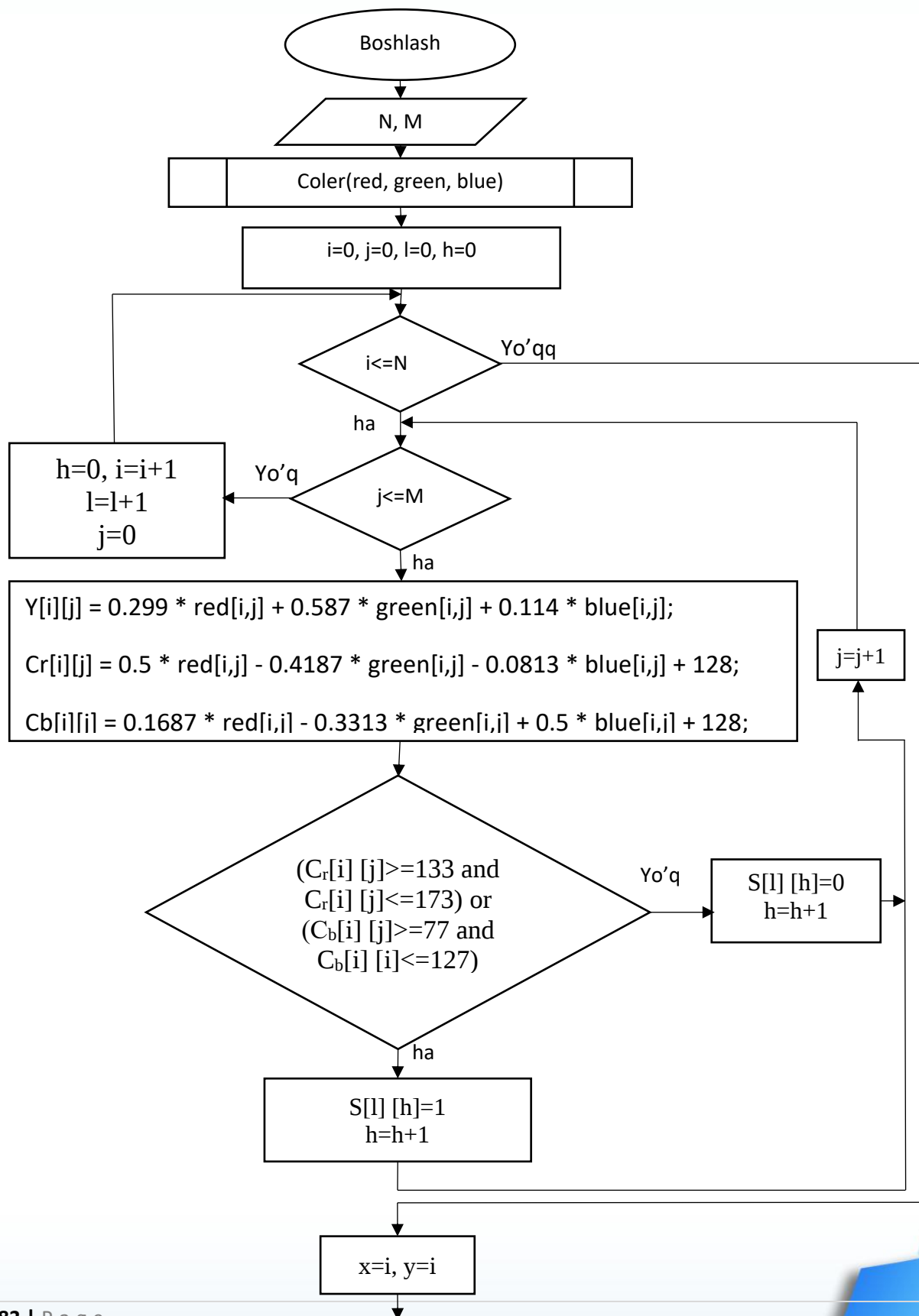
$$S_p(n) = \frac{T(n)}{T_p(n)}. \quad (8)$$

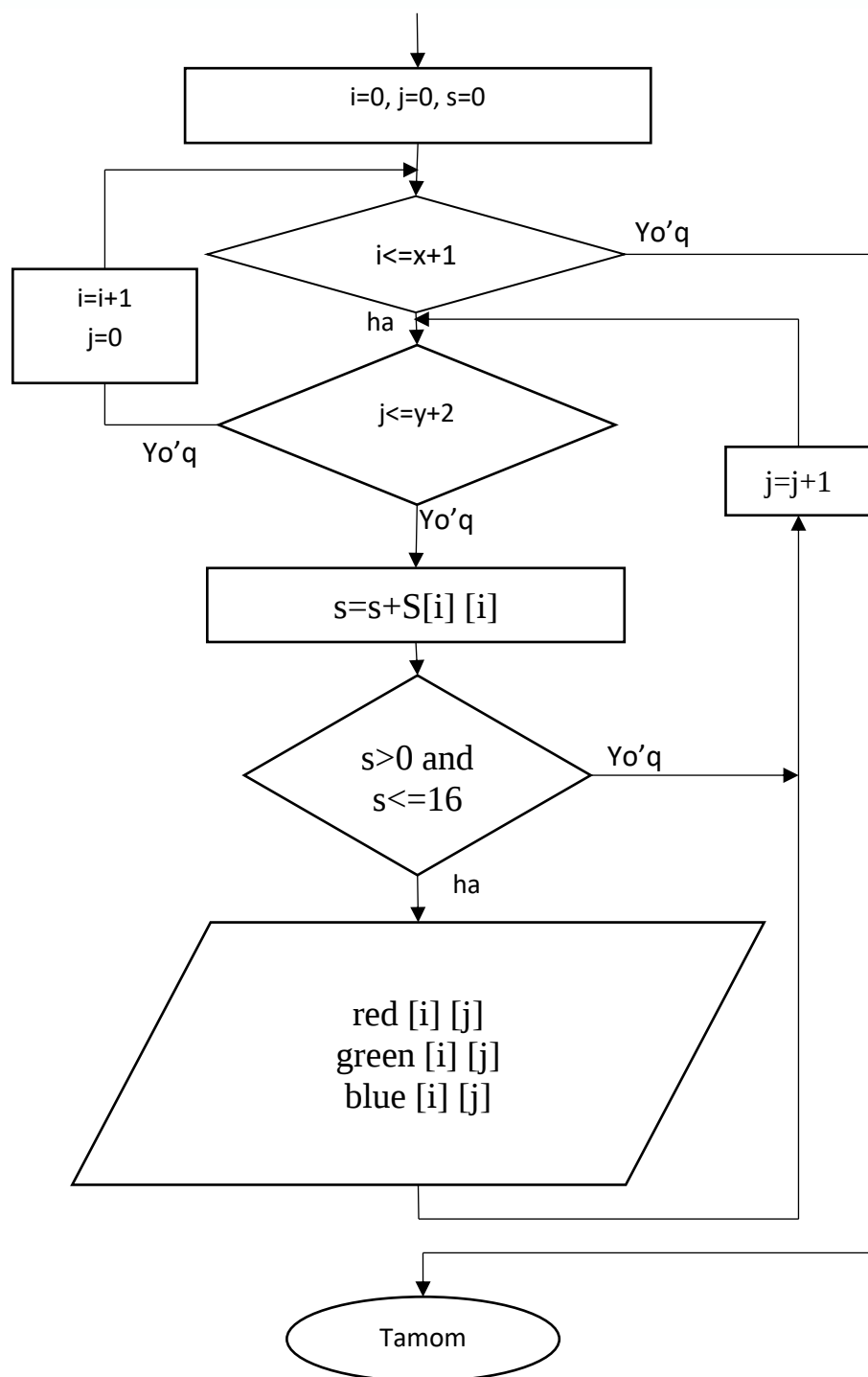
bu erda T(n) - ketma-ket dasturni bajarish uchun sarflangan vaqt miqdori; Tp(n) - parallel dasturni ishga tushirish uchun sarflangan vaqt;

1- jadval. Nofaol belgilarni tozalashga sarflangan vaqt.

Rasmlar soni	Hisob-kitoblarga sarflangan vaqt		Tezlashtirish omili ($S_p(n)$)
	Ketma-ket (sek.)	Parallel (sek.)	
1	0,00021	0,00017	1.235
5	0,00175	0,00125	1.400
10	0,248	0,119	2.084
20	1.152	0,391	2.946
40	2.354	0,727	3.238

Rangli tasvirlarda odamning yuzini ajratib olish uchun sarflangan vaqtning taklif qilingan tezkor algoritmi yordamida qisqartirish mumkin. Agar bu jarayon real vaqt rejimida insonni identifikatsiyalash masalalarini hal qilish uchun ishlatilsa, u siz izlayotgan shaxs haqida qisqa vaqt ichida ma'lumot berishi mumkin. Qidirilayotgan ma'lumotni ma'lumotlar bazasidagi N ta odam yuzining oldindan ishlangan informatsion belgilari bilan solishtirish jarayoni qidiruv samaradorligini oshiradi. Agar ushbu tezkor algoritmi avtomobil signalizatsiya tizimlarida qo'llanilsa, u avtohalokat tezligini kamaytiradi. Shuningdek, u tasodifan mashina oldiga tushib qolgan va mashinani avtomatik ravishda to'xtatib qo'ygan odamlarni bashorat qilish imkonini beradi. Kuzatuv va qidiruv tizimlarida foydalaniladi, u qidirilayotgan shaxsni tez va samarali tahlil qilish imkoniyatlarini beradi.





4- rasm. Videotasvirdan qidirilayotgan shaxs yuz tasviri joylashgan sohani aniqlashning tezkor algoritmining blok sxemasi.

Xulosa

Videotasvirda shaxs yuz tasvirini identifikatsiyalash usullari tahlil qilish asnosida identifikatsiyalash jarayonlarining muhim nuqtalari aniqlandi.

Videotasvirda shaxs yuz sohalariga geometrik ob'ektlar yordamida raqamli ishlov berish talablari ishlab chiqildi.

Videotasvirda shaxs yuz sohalarini sifatini oshirishning muhim bosqichlari ishlab chiqildi.

Videotasvirda inson yuz sohasining geometrik xarakteristikalarini va ularni aniqlash yondashuvlari ishlab chiqildi.

Videotasvirdan qidirilayotgan shaxs yuz tasviri joylashgan sohani aniqlashning tezkor algoritmi ishlab chiqildi.

Foydaniqlan adabiyotlar

1. Wolf L. Descriptor based methods in the wild / L. Wolf, T. Hassner, Y. Taigman // Science (80.). - 2008. - T. 6 - C. 1-14.
2. Yang J. Face liveness detection with component dependent descriptor / J. Yang Z. Lei, S. Liao // Biometrics (ICB). - 2013. - C. 1-6.
3. Yang M.H. Detecting faces in images: A survey / M. H. Yang, D. J. Kriegman, N. Ahuja // IEEE Trans. P.A.M.I. - 2002. - T. 24 - № 1 - C. 34-58.
4. Yu L. A New Object Tracking Algorithm Based on the Fast Discrete Curvelet Transform. / L. Yu, X. Zhang, L. Zheng // Int. J. Signal Process. Image Process. Pattern Recognit. - 2014. - T. 7 - № 1. - C. 1-8.
5. Zaeri N. Thermal Face Recognition Using Moments Invariants / N. Zaeri, F. Baker, R. Dib // Int. J. Signal Process. Syst. - 2015. - T. 3 - № 2. - C. 94-99.
6. Zhang Z. A face antispoofing database with diverse attacks / J. Yan, S. Liu, Z. Lei // Biometrics Compendium, IEEE. - 2012. - C. 26-31.
7. Метод Виолы-Джонса (Viola-Jones) как основа для распознавания лиц. [Электронный ресурс] // Хабрахабр. URL: <http://habrahabr.ru/post/133826/>.
8. Описание библиотеки компьютерного зрения OpenCV. [Электронный ресурс] // РобоКрафт. URL: <http://robocraft.ru/blog/computervision/264.html>.
9. Болотова Ю. А. Алгоритм детектирования областей лиц и рук на изображении на основе метода Виолы – Джонса и алгоритма цветовой сегментации / Ю. А. Болотова, Л. С. Федотова, В. Г. Спицын // Fundamental

Research, 2014. - № 11 (часть 10) . - С. 2130–2134.

10. Вежнев В. П. Локализация человеческого лица на цветном растровом изображении / В. П. Вежнев // Математические методы распознавания образов (ММРО-10): тр. конф, 2001. - С. 71-82.

11. Друки А. А. Алгоритмы выделения лиц на статических RGB изображениях в видеопотоке/ А. А Друки. // Известия Томского Политехнического Университета, 2012. - Том. 320, № 5. - С. 65-69.

12. Петрович В. В. Алгоритмы анализа изображения лица человека для построения интерфейса человек-компьютер/ В. В. Петрович // Диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, 2004. - С.30.

13. Хомяков М. Ю. Методы обработки изображения лица человека по цветовой и контурной информации и аппаратно-программные средства биометрической идентификации/ М. Ю. Хомяков // Диссертации кандидат технических наук. Санкт-Петербург, 2012. – С. 25.

14. Matthew T. Eigen faces for Recognition / T. Matthew, P. Alex // Journal of Cognitive Neuroscience, 1991. - Vol. 3, Issue 1. - P. 71- 86.

15. Meng L. An image-based Bayesian framework for face detection/ L. Meng, T. Nguyen, A. David // in IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2000. - Vol. 1. - P. 302-307.

16. Michael K. Snakes: active contour models / K. Michael, W. Andrew, T. Demetri // International Journal of Computer Vision, 1987. - Vol. 1, Issue 4. - P. 321-331.

