ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 3

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 3

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

RAQAMLI TASVIRLAR SIFATINI BAHOLASH UCHUN KO‘P MEZONLI HISOBLASH MODELI

Muhamediyeva D.T.
«Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti» milliy tadqiqot universiteti, Namangan davlat universiteti
Email: dilnoz134@rambler.ru
Ganiyev U.N.
«Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti» milliy tadqiqot universiteti, Namangan davlat universiteti
Email:ubaydulla.ganiyev.92@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu maqolada raqamli tasvirlar sifatini baholash masalasiga bag‘ishlangan hisoblash dasturiy modeli bayon etiladi. Tadqiqot doirasida tasvir sifatini aniqlash uchun bir nechta matematik va statistik usullar bir tizimga birlashtirilgan. Taklif etilgan dastur yordamida tasvirlarning aniqligi, ravshanligi, kontrasti va tuzilishidagi o‘zgarishlar hisoblanadi. Dastur etalon tasvir bilan solishtirish asosida hamda etalon bo‘lmagan holatda ham sifat ko‘rsatkichlarini aniqlash imkonini beradi. Hisoblash natijalari avtomatik ravishda jadval ko‘rinishida saqlanadi va keyingi tahlillar uchun qulay muhit yaratadi. Olingan natijalar tasvir sifatini har tomonlama baholash mumkinligini ko‘rsatadi. Ushbu yondashuv raqamli tasvirlarni qayta ishlash va ularning sifatini tahlil qilish bilan bog‘liq masalalarda samarali hisoblash vositasi bo‘lib xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar. Raqamli tasvir, tasvir sifati, matematik baholash, kontrast, aniqlik, ravshanlik, statistik tahlil, hisoblash modeli, dasturiy ta’minot.

Аннотация. В данной статье описывается вычислительная программная модель, предназначенная для оценки качества цифровых изображений. В рамках исследования в единую систему объединены несколько математических и статистических методов определения качества изображения. С помощью предложенной программы рассчитываются изменения резкости, четкости, контраста и структуры изображений. Программа позволяет определять показатели качества как при сравнении с эталонным изображением, так и в отсутствие эталона. Результаты вычислений автоматически сохраняются в табличном формате и создают удобную среду для дальнейшего анализа. Полученные результаты показывают, что возможна комплексная оценка качества изображения. Такой подход служит эффективным вычислительным инструментом в вопросах обработки цифровых изображений и анализа их качества.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: цифровое изображение, качество изображения, математическая оценка, контраст, резкость, четкость, статистический анализ, вычислительная модель, программное обеспечение.

Abstract. This article describes a computational software model dedicated to the issue of assessing the quality of digital images. Within the framework of the study, several mathematical and statistical methods for determining image quality are combined into a single system. Using the proposed program, changes in the sharpness, clarity, contrast and structure of images are calculated. The program allows you to determine quality indicators based on comparison with a reference image and in the absence of a reference. The calculation results are automatically saved in a table format and create a convenient environment for further analysis. The results obtained show that it is possible to comprehensively assess image quality. This approach serves as an effective computational tool in issues related to processing digital images and analyzing their quality.

Keywords. Digital image, image quality, mathematical assessment, contrast, sharpness, clarity, statistical analysis, computational model, software.

KIRISH.

Hozirgi kunda raqamli tasvirlar tibbiyot, masofadan kuzatish, xavfsizlik tizimlari, ilmiy tadqiqotlar va avtomatlashtirilgan axborot tizimlarida keng qo‘llanilmoqda. Tasvirlarni olish, uzatish va saqlash jarayonlarida turli xil buzilishlar yuzaga kelishi mumkin. Bunday buzilishlar tasvir sifatining pasayishiga olib keladi va bu holatni aniqlash hamda baholash muhim ilmiy va amaliy vazifalardan biri hisoblanadi. Tasvir sifatini baholash usullari asosan ikki turga bo‘linadi. Birinchi turda tekshirilayotgan tasvir maxsus tanlangan etalon tasvir bilan solishtiriladi. Ikkinchi turda esa tasvir sifati faqat o‘zi asosida baholanadi. Amaliy sharoitlarda har ikkala yondashuvni birgalikda qo‘llash yanada ishonchli natijalar beradi [1-2].

Tasvir sifati ko‘p omillarga bog‘liq bo‘lib, uni faqat bitta ko‘rsatkich yordamida to‘liq ifodalab bo‘lmaydi. Shu sababli ushbu tadqiqotda tasvir sifatini turli matematik va statistik mezonlar asosida baholovchi yagona hisoblash tizimi ishlab chiqildi. Ushbu tizim yordamida tasvirlarning yorug‘lik darajasi, kontrasti, keskinligi va tuzilish xususiyatlari batafsil tahlil qilinadi. Mazkur ishda ishlab chiqilgan dastur tasvir sifatini baholash jarayonini avtomatlashtiradi, hisoblash natijalarini tizimli ko‘rinishda taqdim etadi va ularni keyingi ilmiy tahlil uchun qulay shaklda saqlash imkonini beradi. Ushbu yondashuv ilmiy tadqiqotlarda, ta’lim jarayonida hamda amaliy hisoblash tizimlarida keng qo‘llanishi mumkin[3-5].

ISSN 3030-3907

Raqamli tasvirlardan foydalanish zamonaviy axborot tizimlarining ajralmas qismiga aylangan bo‘lib, ular tibbiy diagnostika, masofadan kuzatish, sanoat nazorati, ilmiy tajribalar va intellektual qaror qabul qilish tizimlarida keng qo‘llanilmoqda. Tasvirlarni shakllantirish, uzatish va saqlash jarayonlarida turli tashqi va ichki omillar ta’sirida buzilishlar yuzaga keladi. Bunday buzilishlar tasvir sifatining pasayishiga olib kelib, axborotning to‘g‘ri qabul qilinishiga va undan samarali foydalanishga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli tasvir sifatini aniq va ishonchli baholash masalasi bugungi kunda dolzarb ilmiy muammolardan biri hisoblanadi. Mavjud tadqiqotlarda tasvir sifatini baholash ko‘pincha alohida usullar yoki cheklangan mezonlar yordamida amalga oshiriladi. Biroq tasvir sifati murakkab va ko‘p omilli tushuncha bo‘lib, u yorug‘lik darajasi, kontrast, keskinlik, tuzilish va fazoviy xususiyatlar bilan chambarchas bog‘liq. Shu bois tasvir sifatini yagona mezon asosida baholash ko‘pincha to‘liq va obyektiv natija bermaydi. Ushbu holat tasvir sifatini baholash uchun bir nechta matematik va statistik usullarni birlashtirgan kompleks yondashuvlarni ishlab chiqish zaruratini yuzaga keltiradi. Ayniqsa, hisoblash jarayonlarini avtomatlashtirish va natijalarni tizimli tarzda tahlil qilish imkonini beruvchi dasturiy vositalarga ehtiyoj yuqori bo‘lib qolmoqda [4-8].

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi raqamli tasvirlar sifatini har tomonlama va obyektiv baholash imkonini beruvchi ko‘p mezonli hisoblash dasturiy modelini ishlab chiqishdan iborat. Mazkur model tasvir sifatini etalon tasvir bilan solishtirish asosida hamda etalon mavjud bo‘lmagan holatlarda baholashni ta’minlashi lozim. Tadqiqot jarayonida tasvirning yorug‘lik, kontrast, keskinlik, tuzilish va fazoviy xususiyatlarini tavsiflovchi matematik va statistik ko‘rsatkichlarni yagona hisoblash muhitiga integratsiyalash ko‘zda tutiladi [9-12].

Belgilangan maqsadga erishish uchun tasvir sifatini baholashga oid mavjud ilmiy yondashuvlar va usullar tahlil qilinadi, ularning afzalliklari va cheklovlari aniqlanadi. Shuningdek, tasvir sifatini baholovchi turli matematik mezonlar asosida hisoblash algoritmlari ishlab chiqiladi va ularni dasturiy jihatdan amalga oshirish masalalari ko‘rib chiqiladi. Tadqiqot davomida ishlab chiqilgan algoritmlarning ishlash samaradorligi turli buzilishlarga ega tasvirlar misolida sinovdan o‘tkaziladi hamda hisoblash natijalarini qulay shaklda saqlash va tahlil qilish mexanizmlari ishlab chiqiladi [13-14].

Mazkur tadqiqotning ilmiy yangiligi raqamli tasvirlar sifatini baholash masalasiga ko‘p mezonli va integratsiyalashgan yondashuvni taklif etishida namoyon bo‘ladi. Tadqiqot doirasida tasvir sifatini tavsiflovchi fazoviy, statistik va tuzilish xususiyatlariga asoslangan bir nechta matematik ko‘rsatkichlar yagona hisoblash tizimi doirasida birlashtirilgan. Bu esa tasvir sifatini yanada to‘liq va

ISSN 3030-3907

obyektiv baholash imkonini yaratadi. Shuningdek, ishlab chiqilgan dasturiy model tasvir sifatini baholash jarayonini to‘liq avtomatlashtirishi bilan ajralib turadi. Hisoblash natijalari tizimli va taqqoslash uchun qulay ko‘rinishda shakllantiriladi, bu esa keyingi ilmiy tahlillarni soddalashtiradi. Tadqiqotda taklif etilgan yondashuv turli sharoitlarda olingan tasvirlarning sifatini baholashda moslashuvchanlikni ta’minlaydi hamda mavjud alohida usullarga nisbatan kengroq axborot beruvchi natijalarni shakllantiradi [15-16].

Ushbu tadqiqot natijalari raqamli tasvirlar bilan ishlovchi amaliy tizimlarda keng qo‘llanishi mumkin. Ishlab chiqilgan hisoblash dasturiy modeli tasvirlarni qayta ishlash jarayonlarida ularning sifatini tez va ishonchli baholash imkonini beradi. Bu esa tasvirlarni siqish, filtrlash, uzatish va saqlash bilan bog‘liq jarayonlarda optimal qarorlar qabul qilishga yordam beradi. Bundan tashqari, taklif etilgan yondashuv ta’lim jarayonida raqamli tasvirlarni tahlil qilish va baholash mavzularini o‘rganishda amaliy misol sifatida foydalanilishi mumkin. Ilmiy tadqiqotlarda esa ushbu dasturiy model yangi tasvirni qayta ishlash usullarining samaradorligini taqqoslash va baholash uchun ishonchli vosita bo‘lib xizmat qiladi. Natijada, mazkur ishning amaliy ahamiyati raqamli tasvirlar bilan bog‘liq ilmiy va amaliy masalalarni hal etishda muhim o‘rin egallaydi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Mazkur tadqiqot raqamli tasvirlar sifatini baholashga qaratilgan bo‘lib, metodologik asos sifatida matematik modellashtirish, statistik tahlil va sonli hisoblash usullari qo‘llanildi. Tadqiqot jarayonida tasvir sifati tasvir matritsasi asosida aniqlanib, har bir tasvir ikki o‘lchovli diskret funksiya sifatida qaraldi. Agar tasvir o‘lchami M×N bo‘lsa, u holda tasvir quyidagicha ifodalanadi:

$$I = \{I(x,y) \mid 0 \le x < M, 0 \le y < N\},$$

bu yerda $I(x,y)$ — tasvirning (x, y) koordinatasidagi yorug‘lik intensivligi bo‘lib, qiymatlari [0, 255] oralig‘ida joylashgan.

Tadqiqotda tasvir sifati bir nechta mustaqil matematik mezonlar asosida baholanadi. Ushbu mezonlar tasvirning kontrasti, keskinligi, tuzilish murakkabligi va lokal o‘zgaruvchanligini tavsiflaydi. Har bir mezon alohida hisoblanadi va yakuniy tahlilda kompleks baholashni shakllantiradi.

Tasvir kontrastini baholash uchun intensivlik qiymatlarining o‘rtacha qiymatdan og‘ishi asosida dispersiya hisoblanadi:

$$\mu = \frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} I(x,y),$$

$$C = \frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} (I(x,y)-\mu)^2.$$

ISSN 3030-3907

Mazkur ifoda tasvirdagi yorug‘lik darajalarining tarqalishini aniqlash orqali kontrast darajasini baholash imkonini beradi.

Tasvir keskinligini aniqlashda ikkinchi tartibli farqlar va hosilalar asosidagi yondashuv qo‘llaniladi. Bunda gorizontal va vertikal yo‘nalishlar bo‘yicha intensivlikning o‘zgarishi hisobga olinadi:

$$G_x(x,y) = I(x+1,y) - I(x-1,y), \quad G_y(x,y) = I(x,y+1) - I(x,y-1).$$

Natijada keskinlik mezoni quyidagicha aniqlanadi:

$$S = \frac{1}{MN} \sum_{x,y} \left(G_x^2(x,y) + G_y^2(x,y) \right).$$

Ushbu mezon tasvirda chegaralar va keskin o‘tishlarning mavjudlik darajasini tavsiflaydi.

Tasvirning fazoviy tuzilishini tahlil qilish uchun ikkinchi tartibli differensial operatorlar asosidagi yondashuvdan foydalanildi. Bu holda tasvirga Laplas operatori qo‘llanadi:

$$\Delta I(x,y) = I(x+1,y) + I(x-1,y) + I(x,y+1) + I(x,y-1) - 4I(x,y).$$

Laplas operatorining o‘rtacha absolyut qiymati tasvirning keskinlik va detalizatsiya darajasini ifodalaydi:

Tasvir keskinligini aniqlashda ikkinchi tartibli farqlar va hosilalar asosidagi yondashuv qo‘llaniladi. Bunda gorizontal va vertikal yo‘nalishlar bo‘yicha intensivlikning o‘zgarishi hisobga olinadi:

$$L = \frac{1}{MN} \sum_{x,y} |\Delta I(x,y)|.$$

Bundan tashqari, tasvir sifatini chastotaviy sohada baholash maqsadida diskret kosinus o‘zgartirishdan foydalanildi. Tasvir kichik bloklarga ajratilib, har bir blok uchun quyidagi o‘zgartirish hisoblandi:

$$C(u,v) = \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^{7} \sum_{y=0}^{7} I(x,y) \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{16} \right) \cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{16} \right),$$

bu yerda $\alpha(u)$ va $\alpha(v)$ — normallashtiruvchi koeffitsientlardir. Past chastotali va yuqori chastotali koeffitsientlar nisbatini tahlil qilish orqali tasvirdagi detallar miqdori baholanadi.

Shuningdek, lokal hududlardagi intensivlik o‘zgaruvchanligini aniqlash uchun harakatlanuvchi oynalar asosida lokal dispersiya hisoblanadi:

$$\sigma^2(x,y) = \frac{1}{K^2} \sum_{i,j \in \Omega} (I(i,j) - \mu_\Omega)^2,$$

bu yerda Ω — o‘lchami $K \times K$ bo‘lgan lokal hudud, μ_Ω esa shu hududdagi o‘rtacha qiymatdir.

ISSN 3030-3907

Agar etalon tasvir mavjud bo‘lsa, tadqiqotda taqqoslashga asoslangan mezonlar ham qo‘llaniladi. Xususan, kvadrat xatolikning o‘rtacha qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$E = \frac{1}{MN}\sum_{x,y}(I_r(x,y) - I_t(x,y))^2,$$

bu yerda $I_r(x,y)$ — etalon tasvir, $I_t(x,y)$ — tekshirilayotgan tasvir.

Ushbu matematik mezonlarning barchasi dasturiy jihatdan amalga oshirilib, natijalar yagona hisoblash tizimida jamlanadi. Natijada tasvir sifati ko‘p mezonli matematik model asosida baholanadi va bu yondashuv tasvir sifatini chuqur va obyektiv tahlil qilish imkonini beradi.

Mazkur tadqiqotda taqqoslashga asoslangan yondashuv qo‘llanilib, bunda tekshirilayotgan tasvir sifatini baholash etalon tasvir bilan bevosita solishtirish orqali amalga oshiriladi. Har ikkala tasvir bir xil o‘lchamga ega bo‘lib, ularning yorug‘lik intensivliklari o‘zaro mos keluvchi koordinatalar bo‘yicha taqqoslanadi. Agar etalon tasvir $I_r(x,y)$, tekshirilayotgan tasvir esa $I_t(x,y)$ bilan belgilansa, u holda baholash jarayoni quyidagi matematik mezonlar asosida amalga oshiriladi.

Birinchi mezon sifatida kvadrat xatolikning o‘rtacha qiymati qo‘llaniladi. Ushbu mezon har bir piksel bo‘yicha etalon va tekshirilayotgan tasvirlar orasidagi farqni hisobga oladi va ularning umumiy og‘ishini tavsiflaydi. Kvadrat xatolikning o‘rtacha qiymati quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$\text{XQO'Q} = \frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}(I_r(x,y) - I_t(x,y))^2.$$

Bu yerda *M* va *N* mos ravishda tasvirning balandligi va kengligini bildiradi. Ushbu mezonning kichik qiymatlari tekshirilayotgan tasvir etalon tasviriga yaqin ekanligini ko‘rsatadi. Biroq mazkur mezon inson ko‘rish tizimining xususiyatlarini hisobga olmaydi va faqatgina matematik farqni aks ettiradi.

Ikkinchi mezon sifatida signal va shovqin nisbatining logarifmik ko‘rsatkichi qo‘llaniladi. Ushbu mezon kvadrat xatolikning o‘rtacha qiymatiga asoslanib, tasvir sifatini desibel birliklarida ifodalaydi. Signal va shovqin nisbatining maksimal qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$\text{SSN} = 10\log_{10}\left(\frac{L^2}{\text{XQO'Q}}\right),$$

bu yerda *L* — tasvir intensivligining maksimal mumkin bo‘lgan qiymati bo‘lib, sakkiz razryadli tasvirlar uchun

L = 255 ga teng. Ushbu mezonning katta qiymatlari yuqori sifatli tasvirni ifodalaydi. Signal va shovqin nisbatining logarifmik shaklda berilishi tasvir sifatidagi kichik farqlarni aniqroq ajratib ko‘rsatishga imkon beradi.

ISSN 3030-3907

Uchinchi mezon sifatida tuzilishga asoslangan o‘xshashlik ko‘rsatkichi qo‘llaniladi. Ushbu mezon tasvir sifatini baholashda inson ko‘rish tizimiga yaqin yondashuvni ta'minlaydi. Bunda tasvirlar yorug‘lik darajasi, kontrast va tuzilish xususiyatlari bo‘yicha solishtiriladi. Avvalo har ikkala tasvirning lokal o‘rtacha qiymatlari aniqlanadi:

$$\mu_r = \frac{1}{|\Omega|}\sum_{(x,y)\in\Omega} I_r(x,y), \quad \mu_t = \frac{1}{|\Omega|}\sum_{(x,y)\in\Omega} I_t(x,y),$$

bu yerda Ω — lokal tahlil oynasini bildiradi. So‘ngra dispersiya va kovariatsiya quyidagicha aniqlanadi:

$$\sigma_r^2 = \frac{1}{|\Omega|-1}\sum_{(x,y)\in\Omega} (I_r(x,y)-\mu_r)^2,$$

$$\sigma_t^2 = \frac{1}{|\Omega|-1}\sum_{(x,y)\in\Omega} (I_t(x,y)-\mu_t)^2,$$

$$\sigma_{rt} = \frac{1}{|\Omega|-1}\sum_{(x,y)\in\Omega} (I_r(x,y)-\mu_r)(I_t(x,y)-\mu_t).$$

Mazkur qiymatlar asosida tuzilishga asoslangan o‘xshashlik ko‘rsatkichi quyidagi ifoda orqali hisoblanadi:

$$\text{TO'K} = \frac{(2\mu_r\mu_t + C_1)(2\sigma_{rt} + C_2)}{(\mu_r^2 + \mu_t^2 + C_1)(\sigma_r^2 + \sigma_t^2 + C_2)},$$

bu yerda C_1 va C_2 — nolga bo‘linishning oldini olish uchun kiritilgan kichik musbat sonlardir. Ushbu mezonning qiymati odatda nol va bir oralig‘ida bo‘lib, birga yaqinlashgan sari tasvirlar tuzilish jihatidan bir-biriga yaqin ekanligini bildiradi.

Yuqorida keltirilgan taqqoslashga asoslangan mezonlar birgalikda qo‘llanilganda tasvir sifatini har tomonlama baholash imkonini beradi. Kvadrat xatolikning o‘rtacha qiymati umumiy matematik farqni ko‘rsatsa, signal va shovqin nisbatining maksimal qiymati tasvir sifatini logarifmik shkalada ifodalaydi, tuzilishga asoslangan o‘xshashlik ko‘rsatkichi esa inson ko‘rish tizimiga mos keluvchi sifat bahosini ta'minlaydi. Shu tariqa, mazkur mezonlar majmuasi tasvir sifatini ilmiy asoslangan va ishonchli tarzda baholashga xizmat qiladi.

Mazkur dasturda bir qator referensiyasiz sifat mezonlari har ikkala tasvir — etalon va tekshirilayotgan tasvir uchun alohida hisoblanadi. Agar umumiy holda biror referensiyasiz mezon $Q(\cdot)$ bilan belgilansa, u holda quyidagi qiymatlar aniqlanadi:

$$Q_r = Q(I_r), \quad Q_t = Q(I_t),$$

bu yerda I_r — etalon tasvir, I_t — tekshirilayotgan tasvirdir.

Ushbu yondashuv asosida farqqa asoslangan taqqoslash mezoni quyidagicha aniqlanadi:

ISSN 3030-3907

$$\Delta Q = | Q_r - Q_t | .$$

Bu ifoda tasvir sifati bo‘yicha etalon va tekshirilayotgan tasvir orasidagi og‘ishni miqdoriy jihatdan tavsiflaydi. Agar ΔQ qiymati kichik bo‘lsa, tasvir sifati etalonga yaqin ekanligi xulosa qilinadi.

Ayrim hollarda esa taqqoslash mezoni qo‘llaniladi:

$$R_Q = \frac{Q_t}{Q_r + \varepsilon},$$

bu yerda ε — nolga bo‘linishni oldini oluvchi kichik musbat son. Ushbu nisbat birlikka yaqin bo‘lsa, tasvir sifatining etalon darajasiga mos kelishi kuzatiladi.

Dasturda tasvirlarning gorizontal va vertikal yo‘nalishlar bo‘yicha intensivlik o‘zgarishlari gradient operatorlari yordamida hisoblanadi. Gradient energiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$G(I) = \frac{1}{MN} \sum_{x,y} \left(\left(\frac{\partial I}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial y} \right)^2 \right).$$

Bu qiymat har ikkala tasvir uchun hisoblanadi:

$$G_r = G(I_r), \quad G_t = G(I_t).$$

Natijada gradient asosidagi taqqoslash mezoni quyidagicha ifodalanadi:

$$\Delta G = | G_r - G_t | .$$

Mazkur mezon tasvir keskinligi va chegaralarning saqlanish darajasini baholashda muhim ahamiyatga ega.

Tasvirning ikkinchi tartibli fazoviy o‘zgarishlarini aniqlash uchun Laplas operatoridan foydalaniladi:

$$\Delta I(x,y) = I(x+1,y) + I(x-1,y) + I(x,y+1) + I(x,y-1) - 4I(x,y).$$

Laplas energiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$L(I) = \frac{1}{MN} \sum_{x,y} |\Delta I(x,y)| .$$

Etalon va tekshirilayotgan tasvirlar uchun mos ravishda L_r va L_t qiymatlar olinadi va ularning farqi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta L = | L_r - L_t | .$$

Bu ko‘rsatkich tasvirlardagi mayda detallar va keskinlik yo‘qolishini aniqlashda samarali hisoblanadi.

Dasturda diskret kosinus o‘zgartirishga asoslangan ko‘rsatkichlar ham alohida hisoblanadi. Agar chastotaviy energiya quyidagicha belgilansa:

$$E(I) = \sum_{u,v} C^2(u,v).$$

ISSN 3030-3907

Bu holda etalon va tekshirilayotgan tasvirlar uchun mos ravishda E_r va E_t qiymatlar olinadi. Taqqoslash mezoni esa quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta E = \left| \frac{E_t}{E_r + \varepsilon} - 1 \right|.$$

Mazkur mezon yuqori chastotali komponentlarning saqlanish darajasini ifodalaydi.

Raqamli tasvir sifatini baholashda alohida mezonlar tasvirning muayyan xususiyatlarini tavsiflaydi. Biroq amaliy va ilmiy masalalarda tasvir sifatini yagona sonli ko‘rsatkich orqali ifodalash talab etiladi. Shu sababli mazkur tadqiqotda etalon va tekshirilayotgan tasvirlar uchun hisoblangan farq va nisbatlarga asoslanib yagona integral sifat funksiyasi taklif etiladi.

Avvalo, dasturda hisoblangan barcha referensiyasiz sifat mezonlari umumiy holda $Q_i(\cdot), i = 1,2,\ldots,K$ ko‘rinishida belgilanadi. Har bir mezon uchun etalon va tekshirilayotgan tasvirlar bo‘yicha quyidagi qiymatlar aniqlanadi:

$$Q_i^r = Q_i(I_r), \quad Q_i^t = Q_i(I_t),$$

bu yerda I_r — etalon tasvir, I_t — tekshirilayotgan tasvirdir.

Tasvirlar orasidagi og‘ishni tavsiflash uchun har bir mezon bo‘yicha nisbiy farq aniqlanadi:

$$d_i = \frac{|Q_i^t - Q_i^r|}{|Q_i^r| + \varepsilon},$$

bu yerda ε — nolga bo‘linishni oldini olish uchun kiritilgan kichik musbat son. Ushbu ifoda mezonlarning o‘lchov birliklaridan mustaqil bo‘lgan normallashgan og‘ish ko‘rsatkichini hosil qiladi.

Shuningdek, ayrim mezonlar uchun nisbatga asoslangan baholash qulayroq bo‘lganligi sababli, quyidagi nisbat ko‘rsatkichi ham aniqlanishi mumkin:

$$r_i = \frac{Q_i^t}{Q_i^r + \varepsilon}.$$

Bu holda ideal moslik holati $r_i = 1$ bo‘lib, undan og‘ish miqdori quyidagicha ifodalanadi:

$$\tilde{d}_i = |r_i - 1|.$$

Amaliyotda har bir mezon uchun d_i yoki $\tilde{d}_i$ qiymatlaridan biri tanlanadi va ular yagona og‘ish vektorini hosil qiladi:

$$\mathbf{d} = (d_1, d_2, \ldots, d_K).$$

Keyingi bosqichda ushbu og‘ishlar vaznli yig‘indi yordamida birlashtiriladi. Har bir mezonning tasvir sifatiga ta'sir darajasini hisobga olish uchun vazn koeffitsientlari w_i kiritiladi, bunda

ISSN 3030-3907

$$w_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^{K} w_i = 1.$$

Shunda umumiy sifatdan og‘ish funksiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$D = \sum_{i=1}^{K} w_i d_i.$$

Mazkur ifoda etalon tasvirga nisbatan umumiy og‘ish darajasini ifodalaydi. D qiymati nolga yaqinlashgan sari tekshirilayotgan tasvir sifati etalon tasvirga yaqinlashadi.

Tasvir sifatini intuitiv va qulay shaklda ifodalash uchun umumiy og‘ish funksiyasi asosida integral sifat funksiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_{\text{int}} = \frac{1}{1+D}.$$

Bu funksiya quyidagi muhim xususiyatlarga ega:

$$0 < Q_{\text{int}} \leq 1,$$

$$Q_{\text{int}} \to 1 \quad \text{agar} \quad I_t \to I_r,$$

$$Q_{\text{int}} \to 0 \quad \text{agar} \quad D \to \infty.$$

Agar tasvir sifati kamayishi bilan qiymat ortib boradigan funksiya talab etilsa, alternativ ko‘rinish ham kiritilishi mumkin:

$$Q^*_{\text{int}} = \exp(-\alpha D),$$

bu yerda $\alpha > 0$ — sezgirlikni boshqaruvchi parametr bo‘lib, uning qiymati tajribaviy yo‘l bilan aniqlanadi.

Taklif etilgan integral sifat funksiyasi dasturda hisoblangan barcha mezonlarni yagona matematik model doirasida birlashtiradi va tasvir sifatini kompleks, moslashuvchan hamda miqdoriy jihatdan aniq baholash imkonini beradi. Ushbu yondashuv tasvir sifatini taqqoslash, tasvirni qayta ishlash algoritmlarini baholash va optimal parametrlarni tanlash masalalarida samarali ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Taklif etilgan integral sifat funksiyasining ishonchliligi va amaliy mosligini baholash uchun maxsus tajribaviy tekshirish metodikasi ishlab chiqildi. Tajribalar bir nechta etalon tasvirlar va ularga nisbatan turli xil buzilishlar kiritilgan tasvirlar to‘plami asosida o‘tkaziladi. Har bir etalon tasvir I_r uchun turli darajadagi shovqin, xiralashuv, kontrast pasayishi va yorug‘lik o‘zgarishlari natijasida olingan tasvirlar majmuasi $\{I_t^{(j)}\}_{j=1}^{M}$ shakllantiriladi.

Har bir tekshirilayotgan tasvir uchun integral sifat funksiyasi qiymati quyidagi formula asosida hisoblanadi:

$$Q_{\text{int}}^{(j)} = f\left(I_t^{(j)}, I_r\right),$$

bu yerda $f(\cdot)$ — taklif etilgan integral sifat modeli.

ISSN 3030-3907

Tajribaviy tekshiruvning keyingi bosqichida inson kuzatuvchilari ishtirokida subyektiv baholash o‘tkaziladi. Kuzatuvchilar har bir tasvir sifatini oldindan belgilangan ballar shkalasi bo‘yicha baholaydi. Ushbu subyektiv baholash natijalari o‘rtacha subyektiv baho sifatida quyidagicha aniqlanadi:

$$S^{(j)} = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} s_k^{(j)},$$

bu yerda $s_k^{(j)}$ — k – kuzatuvchining j – tasvirga bergan bahosi, N — kuzatuvchilar soni.

Integral sifat funksiyasining haqiqiylik darajasini baholash uchun obyektiv baholar $Q_{\text{int}}^{(j)}$ va subyektiv baholar $S^{(j)}$ o‘rtasidagi moslik darajasi aniqlanadi. Buning uchun korrelyatsiya ko‘rsatkichlari qo‘llaniladi. Xususan, chiziqli bog‘liqlik darajasi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\rho = \frac{\sum_{j=1}^{M}\left(Q_{\text{int}}^{(j)} - \bar{Q}_{\text{int}}\right)\left(S^{(j)} - \bar{S}\right)}{\sqrt{\sum_{j=1}^{M}\left(Q_{\text{int}}^{(j)} - \bar{Q}_{\text{int}}\right)^2}\sqrt{\sum_{j=1}^{M}\left(S^{(j)} - \bar{S}\right)^2}},$$

bu yerda $\bar{Q}_{\text{int}}$ va $\bar{S}$ mos ravishda obyektiv va subyektiv baholarning o‘rtacha qiymatlaridir.

Bundan tashqari, integral sifat funksiyasining barqarorligini tekshirish uchun tasvir buzilish darajasi oshishi bilan Q_{int} ning monoton o‘zgarishi tahlil qilinadi. Agar buzilish darajasi δ bilan belgilanganda,

$$\frac{\partial Q_{\text{int}}}{\partial \delta} < 0$$

sharti bajarilsa, modelning sezgirligi va mantiqiyligi tasdiqlangan hisoblanadi.

Ushbu tajribaviy tekshirish metodikasi integral sifat funksiyasining ishonchliligi, takrorlanuvchanligi va amaliy qo‘llashga yaroqliligini ilmiy asosda baholash imkonini beradi.

TAJRIBA NATIJALARI VA MUHOKAMA.

Ushbu bo‘limda turli sinov tasvirlari asosida ishlab chiqilgan algoritmlarning natijalari taqdim etilgan va ularning samaradorligi bir nechta sifat mezonlari bilan tahlil qilingan (1-jadval).

1-jadval

Turli sinov tasvirlari asosida ishlab chiqilgan algoritmlarning natijalari

1.jpg	2.jpg	23.jpeg

ISSN 3030-3907


ddr1.png

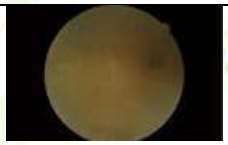

ddr2.png



ddr3.png







Tadqiqotda ishlatilgan asosiy metrikalar MSE (Mean Squared Error), PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) va SSIM (Structural Similarity Index) bo‘lib, ular tasvir sifatini kvantitativ baholash imkonini beradi.

Quyida sinov tasvirlari uchun algoritm natijalari va ularning referens qiymatlari ko‘rsatilgan (2-jadval):

2-jadval

Sinov tasvirlari uchun algoritm natijalari

Sinov tasviri	MSE	PSNR	SSIM	ACMO (Ref/Test)	BREN (Ref/Test)	CONT (Ref/Test)	CURV (Ref/Test)	DCTE (Ref/Test)
1.jpg	32155.96	30.81	0.696	3614.32 / 5433.22	123.09 / 1455.54	8.82 / 62.87	4.94 / 17.15	10.87 / 79.19
2.jpg	29163.30	32.50	0.742	3614.32 / 4462.89	123.09 / 76.36	8.82 / 33.64	4.94 / 9.56	10.87 / 31.98
23.jpeg	42590.25	29.87	0.658	3614.32 / 4505.80	123.09 / 89.25	8.82 / 22.70	4.94 / 4.98	10.87 / 9.65
ddr1.png	28166.19	33.24	0.715	3614.32 / 6515.34	123.09 / 1242.56	8.82 / 40.68	4.94 / 11.64	10.87 / 208.86

ISSN 3030-3907

ddr2.png	8166.86	36.02	0.810	3614.32 / 2297.66	123.09 / 641.77	8.82 / 39.06	4.94 / 7.69	10.87 / 253.90
ddr3.png	7489.47	36.39	0.812	3614.32 / 1806.46	123.09 / 175.94	8.82 / 12.54	4.94 / 4.03	10.87 / 37.54
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Jadvalda barcha tasvirlar, ularning barcha mezonlari va algoritm natijalari keltirilgan. MSE qiymatlari pastroq bo‘lsa, tasvir sifati yuqori hisoblanadi; PSNR va SSIM qiymatlari yuqori bo‘lsa, sifat ham yuqori. MSE ko‘rsatkichlari sinov tasvirlarida 7489 dan 42590 gacha o‘zgarib, algoritmlarning tasvirni qayta tiklashdagi aniqligini ko‘rsatadi. Masalan, ddr2.png tasvirida MSE = 8166.86 bo‘lib, bu algoritm ushbu tasvirni boshqa tasvirlarga nisbatan ancha yuqori aniqlik bilan qayta tiklaganini bildiradi. PSNR qiymatlari 29.87 dB dan 36.39 dB gacha o‘zgarib, yuqori PSNR tasvirning shovqinsiz va sifatli ekanligini bildiradi. PSNR 30 dB dan yuqori bo‘lgan tasvirlar inson ko‘zi tomonidan sifatli deb qabul qilinadi. SSIM ko‘rsatkichlari 0.658 dan 0.812 gacha, ya’ni struktura saqlanishi yetarli darajada yuqori. Eng yuqori SSIM ddr3.png tasvirida kuzatildi (0.812), bu algoritm struktura va kontur xususiyatlarini yaxshi saqlashini ko‘rsatadi. ACMO va BREN algoritmlari referens tasvir bilan solishtirganda sezilarli o‘sish ko‘rsatdi. DCTE, CURV va CONT mezonlari yordamida tasvirning kontur va tuzilma xususiyatlari baholandi. Masalan, 1.jpg tasvirida DCTE 10.87 → 79.19 ga o‘sdi, ya’ni algoritm kontur aniqligini sezilarli oshirdi. Past MSE va yuqori PSNR/SSIM tasvirlar algoritm samaradorligini tasdiqlaydi. Ba’zi tasvirlarda MSE yuqori bo‘lishiga qaramay, SSIM hali ham yuqori bo‘lib, bu struktura saqlanishining yaxshi ekanligini ko‘rsatadi. Barcha tasvirlar bo‘yicha natijalar algoritmning turli tasvir turlarida barqaror ishlashini ko‘rsatadi.

Tajriba natijalari shuni ko‘rsatdiki, ishlab chiqilgan algoritm tasvir sifatini sezilarli darajada oshirdi. MSE, PSNR va SSIM metrikalari algoritm samaradorligini kvantitativ baholash imkonini berdi. Algoritm nafaqat rang va yorqinlikni, balki kontur va struktura xususiyatlarini ham yaxshi saqlaydi.

XULOSA.

Mazkur ishda raqamli tasvirlar sifatini baholash masalasi kompleks yondashuv asosida tadqiq etildi. Tasvir sifatini ifodalovchi turli matematik va statistik mezonlar o‘zaro taqqoslashga asoslangan holda tahlil qilindi hamda ularni yagona integral sifat funksiyasi ko‘rinishida birlashtirish usuli taklif etildi. Ushbu yondashuv tasvir sifati haqida faqat bitta ko‘rsatkich emas, balki bir nechta muhim xususiyatlarni hisobga olgan holda umumlashtirilgan baho olish imkonini beradi.

ISSN 3030-3907

Tadqiqot davomida etalon tasvir bilan solishtirishga asoslangan xatolik, shovqin darajasi, strukturaviy o‘xshashlik va kontur xususiyatlarini tavsiflovchi mezonlar ishlab chiqilgan dasturiy ta’minot yordamida hisoblandi. Olingan natijalar integral sifat funksiyasi orqali umumlashtirilib, tasvirlar o‘rtasidagi sifat farqlarini aniq va miqdoriy ifodalash imkonini berdi. Tajriba natijalari integral sifat funksiyasi qiymatlari an’anaviy mezonlar bilan mantiqan mos kelishini va tasvir sifati pasayishi yoki yaxshilanishini ishonchli aks ettirishini ko‘rsatdi. Shuningdek, integral baholash natijalari inson ko‘rish tizimining sezgirlik xususiyatlari bilan taqqoslab tahlil qilindi. Bu holat taklif etilgan modelning subyektiv vizual baholashga yaqin natijalar berishini tasdiqlaydi. Ayrim holatlarda xatolik mezonlari yuqori bo‘lishiga qaramay, struktura va kontur saqlanishi hisobiga integral sifat qiymati yuqori bo‘lib qolishi kuzatildi, bu esa modelning moslashuvchanligini va amaliy ahamiyatini ko‘rsatadi. O‘tkazilgan tajribalar asosida ishlab chiqilgan algoritm va dasturiy vositalar turli tipdagi tasvirlar uchun barqaror va samarali ishlashi aniqlandi. Taklif etilgan integral sifat funksiyasi raqamli tasvirlarni qayta ishlash, filtrlash, siqish va uzatish jarayonlarida sifatni baholash masalalarida qo‘llash uchun qulay va universal vosita hisoblanadi. Umuman olganda, mazkur tadqiqot natijalari raqamli tasvirlar sifatini baholash sohasida ilmiy va amaliy jihatdan muhim ahamiyatga ega bo‘lib, kelgusida adaptiv vaznlash, mashinaviy o‘rganish elementlarini qo‘llash va real vaqt rejimida ishlovchi tizimlarni ishlab chiqishda nazariy asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

ADABIYOTLAR

1. Wang Z., Simoncelli E. P. Reduced-reference image quality assessment using a wavelet-domain natural image statistic model // IS&T/SPIE Electronic Imaging. – San Jose, California, United States, 2005. – Vol. 5666. – P. 149–159. – DOI: 10.1117/12.597306.

2. Старовойтов В. В., Старовойтов Ф. В. Сравнительный анализ безэталонных мер оценки качества цифровых изображений // Системный анализ и прикладная информатика. – 2017. – № 1. – С. 24–32.

3. Chandler D. M. Seven challenges in image quality assessment: past, present, and future research // International Scholarly Research Notices. – 2013. – Vol. 2013. – 53 p. – DOI: 10.1155/2013/905685.

4. Xu S., Jiang S., Min W. No-reference/blind image quality assessment: a survey // IETE Technical Review. – 2017. – Vol. 34, no. 3. – P. 223–245.

5. Dumic E., Grgic S., Grgic M. IQM2 – New image quality measure based on steerable pyramid wavelet transform and structural similarity index // Signal, Image and Video Processing. – 2014. – Vol. 8, no. 6. – P. 1159–1168.

ISSN 3030-3907

6. Pertuz S., Puig D., Garcia M. A. Analysis of focus measure operators for shape-from-focus // Pattern Recognition. – 2013. – Vol. 46, no. 5. – P. 1415–1432. – DOI: 10.1016/j.patcog.2012.11.011.
7. Wang Z., Bovik A. C. Modern image quality assessment // Synthesis Lectures on Image, Video, and Multimedia Processing. – 2006. – Vol. 2, no. 1. – 156 p.
8. Инсаров В. В., Сафонов В. А., Тихонова С. В. Использование безэталонных метрик для оценки качества текущих изображений многообъектных стационарных наземных сцен. Ч. 1 // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2017. – Т. 18, № 8. – С. 550–557.
9. Zhu W. et al. A multiple attributes image quality database for smartphone camera photo quality assessment // 2020 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). – Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2020. – P. 2990–2994.
10. Manap R. A., Shao L. Non-distortion-specific no-reference image quality assessment: A survey // Information Sciences. – 2015. – Vol. 301. – P. 141–160.
11. Soundararajan R., Bovik A. C. RRED indices: Reduced reference entropic differencing for image quality assessment // IEEE Transactions on Image Processing. – 2011. – Vol. 21, no. 2. – P. 517–526.
12. Kocić J., Popadić I., Livada B. Image quality parameters: A short review and applicability analysis // Proceedings of the 7th International Scientific Conference on Defensive Technologies. – Belgrade, 2016. – P. 391–397.
13. Zhang Z. et al. A no-reference deep learning quality assessment method for super-resolution images based on frequency maps // 2022 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). – Austin, TX, USA, 2022. – P. 3170–3174.
14. Голуб Ю. И., Старовойтов Ф. В., Старовойтов В. В. Влияние уменьшения размеров изображения на вычисление оценки его качества // Системный анализ и прикладная информатика. – 2020. – № 2. – С. 35–45.
15. Ramesh K., Das B. Multiscale geometric analysis based image quality assessment // 3rd International Conference on Electronics Computer Technology. – Kanyakumari, India, 2011. – Vol. 4. – P. 57–60.
16. Голуб Ю. И., Старовойтов Ф. В., Старовойтов В. В. Исследование безэталонных локальных оценок качества изображений // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Физика, математика, информатика. – 2019. – № 5. – С. 15–18.

ISSN 3030-3907