WAVELET-TRANSFORMATSIYA HH QUYI-TASMASINING KOEFFITSIENTLAR STATISTIKASI ASOSIDA TASVIRDAGI SHOVQIN DARAJASINI ETALONSIZ ANIQLASH MEZONI

Sultanov Djamshid Baxodirovich[1], Qodirov Raximjon Rasuljon o'g'li[2]

[1]Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU, texnika fanlari doktori, dotsent.
Email: sdjamshid@gmail.com
[2]Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU, tayanch doktorant.
Email: Rahimjonqodirov1997uzbek@gmail.com

K E Y W O R D S

raqamli tasvirga ishlov berish, shovqinni bartaraf etish, etalonsiz baholash, wavelet-transformatsiya, MAD baholovchisi, shovqin darajasi, Haar wavelet

A B S T R A C T

Maqolada raqamli tasvirdagi additiv shovqin darajasini etalon tasvirsiz baholash masalasi ko'rib chiqiladi. Mavjud shovqinni bartaraf etish usullarining aksariyati (BM3D, wavelet-chegaralash, FFDNet kabi) samarali ishlashi uchun shovqin darajasi parametri σ ni oldindan bilishni talab qiladi, biroq real sharoitlarda etalon tasvir mavjud emas. Ushbu ishda vaqt-chastota (wavelet) tahliliga asoslangan, bir bosqichli Haar diskret wavelet transformatsiyasining yuqori-chastotali HH quyi-tasmasi koeffitsientlari medianasiga tayanuvchi klassik Donoho-Johnstone MAD (Median Absolute Deviation - medianadan mutlaq og'ish) baholovchisi qo'llaniladi va uning amaliy aniqligi standart test-tasvirlarda tajribaviy tekshiriladi. Sakkizta xilma-xil standart test-tasvirda (Cameraman, Coins, Moon, Page, Checkerboard, Astronaut, Brick, Grass), beshta shovqin darajasida (σ = 10, 15, 25, 30, 50), har birida 20 mustaqil realizatsiya bo'yicha o'tkazilgan tajriba shuni ko'rsatadiki, baholash xatoligi shovqin darajasi oshgani sayin monoton kamayadi (σ = 10 da o'rtacha 15,3%, σ = 50 da 1,3%) va tasvir tarkibidagi tekstura zichligiga kuchli bog'liq (toza tasvirning bazaviy HH-MAD darajasi bilan xatolik o'rtasida Pirson korrelyatsiyasi r = 0,97). Aniqlangan bog'liqlik mezonning ishonchlilik chegaralarini belgilaydi va uni tasvir turini aniqlovchi qo'shimcha mezonlar bilan boyitish zarurligini asoslaydi.

1. Kirish

Raqamli tasvirlarni yig'ish, uzatish va saqlash jarayonlarida ular deyarli har doim shovqin ta'siriga uchraydi: sensorning fotonli shovqini, elektron qurilmalarning issiqlik shovqini, uzatish kanalidagi impuls buzilishlar va ultratovush yoki radar tizimlaridagi ko'paytiruvchi shovqin shular jumlasidandir. O'zbekiston Respublikasining "Sun'iy intellekt texnologiyalarini 2030-yilga qadar rivojlantirish strategiyasi"da (PQ-358-son, 14.10.2024) tibbiy tasvirlashda kompyuter tomografiyasi va uch o'lchamli tasvirlarni tahlil qilish orqali kasalliklarni erta aniqlash tizimini yo'lga qo'yish alohida vazifa sifatida belgilangan, bu esa tasvirga dastlabki ishlov berish, xususan shovqinni bartaraf etish bosqichining sifatiga qo'yiladigan talablarni yanada oshiradi.

Shovqinni bartaraf etishning deyarli barcha klassik va zamonaviy usullari ya'ni wavelet-chegaralash, BM3D transformatsion-domen filtrlash, FFDNet kabi chuqur konvolyutsion tarmoqlar — kirish parametri sifatida σ shovqin darajasini talab qiladi: BM3D algoritmida bu qiymat blok-moslashtirish bosqichining chegaraviy parametrlarini, FFDNet arxitekturasida esa tarmoqqa uzatiladigan alohida shovqin-darajasi xaritasini belgilaydi. Amaliyotda esa shovqinsiz etalon tasvir odatda mavjud emas, shuning uchun σ ni faqat kuzatilgan shovqinli tasvirning o'zidan ya'ni **etalonsiz** tarzda baholash zarurati tug'iladi.

(cc) BY *dtai.uz*

Etalonsiz shovqin darajasini baholashning nazariy asosi Donoho va Johnstone tomonidan 1994-yilda taklif etilgan. Unda signal wavelet-transformatsiyasining yuqori-chastotali quyi-tasmasida shovqin koeffitsientlari deyarli barcha koeffitsientlarda ustunlik qiladi, tasvir tarkibiga oid koeffitsientlar esa son jihatdan kam, ammo amplituda jihatidan katta bo'ladi.

Mazkur maqola doktorantining "Tasvirdagi shovqinlarni bartaraf etishning matematik va dasturiy ta'minoti" mavzusidagi dissertatsiya tadqiqotining bir qismi bo'lib, tadqiqotning umumiy maqsadi shovqinni etalonsiz baholash mezonlari asosida uni bartaraf etish usulini avtomatik tanlashning matematik ta'minotini ishlab chiqishdan iborat. Ushbu maqsadga erishish uchun ishlab chiqilayotgan etalonsiz statistik ko'rsatkichlar majmuasining birinchi va asosiy komponenti ya'ni shovqin **darajasini** aniqlovchi mezon (keyingi o'rinlarda M1) hisoblanadi.

Mavjud Donoho-Johnstone baholovchisining nazariy asoslari yaxshi o'rganilgan bo'lsa-da, uning tasvir tarkibiga real bog'liqligini standart test-tasvirlar to'plamida miqdoriy tarzda ko'rsatuvchi tizimli tajribalar yetarli emas. Shu sababli ushbu maqolaning ilmiy izlanishlari quyidagilardan iborat:

1. Shovqin darajasini etalonsiz baholash mezoni (M1) dissertatsiyaning umumiy etalonsiz ko'rsatkichlar vektori tarkibidagi o'rni va roli asoslab berilgan;
2. mezonning amaliy bir bosqichli Haar diskret wavelet transformatsiyasi asosida amalga oshirilishi tavsiflangan va uning to'g'riligi energiya saqlanishi orqali tekshirilgan;
3. mezonning real aniqligi sakkizta xilma-xil standart test-tasvirda, beshta shovqin darajasida, statistik jihatdan barqaror ya'ni har biri 20 mustaqil realizatsiyali tajriba orqali baholangan;
4. baholash xatoligi bilan tasvir tarkibidagi tabiiy yuqori-chastotali energiya o'rtasidagi miqdoriy bog'liqlik aniqlangan, bu esa mezonning qo'llanilish chegaralarini belgilaydi va uni keyingi tur aniqlovchi mezonlar bilan to'ldirish zaruratini asoslaydi.

2. Mavzuga oid adabiyotlar tahlili

Etalonsiz shovqin darajasini baholash muammosi tasvirga ishlov berish sohasida uzoq tarixga ega bo'lib, uning zamonaviy statistik asosi Donoho va Johnstone tomonidan qo'yilgan [1]. Mualliflar wavelet-koeffitsientlarni chegaralash orqali signalni moslashuvchan tiklash usulini taklif qilib, erishiladigan xatolikning ideal xatolikdan atigi logarifmik ko'paytuvchi bilan farqlanishini isbotladilar. Ushbu ishning amaliy natijalaridan biri bu shovqin darajasini transformatsiyaning eng yuqori-chastotali (HH) quyi-tasmasidagi koeffitsientlar medianasi orqali baholovchi formula keyinchalik esa butun sohada standart vosita sifatida qabul qilindi va mazkur maqoladagi M1 mezonining bevosita nazariy negizini tashkil etadi.

Donoho-Johnstone yondashuvini rivojlantirish yo'nalishida amalga oshirilgan ishlardan biri sifatida DWT-koeffitsientlari asosidagi shovqin baholash usuli e'tirofga loyiqdir [2]. Unda HH quyi-tasmasi statistikasi Sobel chekka-aniqlash operatori va polinomial regressiya bilan boyitilib, mualliflar $\sigma = 50–100$ oralig'i yuqori shovqin darajalari uchun 1–2% chegarasidagi xatolikka erishganliklarini bildiradilar. Ushbu natija shuni ko'rsatadiki, korreksiyasiz baholovchisi ustiga qo'shimcha regressiya bosqichi qo'shish orqali aniqlikni sezilarli oshirish mumkin.

Wavelet-transformatsiyasi turini tanlash masalasida amaliyotda turli mualliflar har xil yondashuv qo'llaydi. Xususan, MWCNN arxitekturasida [3] an'anaviy pooling operatsiyasi o'rniga aynan Haar wavelet transformatsiyasi va o'zining teskarisi bilan birga qo'llanilgan. Mualliflar buni poolingdan farqli o'laroq DWT qaytariluvchi bo'lganligi sababli DWT/IWT juftligining ma'lumot yo'qotmasligi bilan izohlaydilar. Bu holat Haar waveletning hisoblash sodda va samaradorligi bilan bir qatorda amaliy tasvirga ishlov berish vazifalarida ham keng qo'llanilishini tasdiqlaydi, shu sababli mazkur tadqiqotda ham xuddi shu wavelet oilasi tanlab olindi.

Etalonsiz shovqin darajasi baholovchisining amaliy ahamiyati shundaki, u ko'plab zamonaviy shovqinni bartaraf etish algoritmlarining kirish parametri hisoblanadi. Klassik transformatsion-domen usuli BM3D [4] o'zining blok-moslashtirish + kollaborativ filtrlash ko'rinishda

(cc) BY

ikki bosqichli jarayonida σ qiymatiga bevosita bog'liq chegaraviy parametrlardan foydalanadi va yigirma yildan ortiq vaqt davomida sohaning "oltin standart" bazaviy usuli bo'lib kelmoqda. Zamonaviy chuqur o'rganish arxitekturalaridan FFDNet [5] esa σ qiymatini alohida shovqin-darajasi xaritasi ko'rinishida tarmoqning kirishiga uzatadi, bu esa bitta tarmoqning turli shovqin darajalarida ishlashini ta'minlaydi. Ikkala holatda ham σ ning noto'g'ri baholanishi yakuniy denoising sifatining pasayishiga olib keladi va bu esa etalonsiz baholash mezonining aniqligini mustaqil tadqiq qilish zaruriyatini asoslaydi.

Umumlashtiruvchi tasnif ishlarida [6] additiv Gauss, impuls, Puasson, ko'paytiruvchi kabi shovqin turlari va ularga mos filtrlash usullari tizimli tarzda ko'rib chiqilgan, biroq bunday tasniflarda shovqin darajasini baholash odatda tayyor deb qabul qilinadi. Etalonsiz tasvir sifatini BRISQUE [7] kabi umumiy baholash mezonlari esa tabiiy tasvir statistikasi modeliga asoslanib, filtrlashdan keyingi yaxshilanishni nazorat qilish uchun ishlatiladi, biroq ular bevosita shovqin darajasini emas, balki tasvirning umumiy tabiiyligi darajasini baholaydi.

Shunday qilib, adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki:

1. Donoho-Johnstone medianadan mutlaq og'ish baholovchisi nazariy jihatdan puxta asoslangan va keng qo'llaniladigan usul hisoblanadi;
2. uning aniqligini Sobel/regressiya kabi qo'shimcha bosqichlar bilan oshirish mumkinligi haqida alohida natijalar mavjud;
3. biroq baholovchining tekstura darajasi turlicha bo'lgan turli tarkibli standart test-tasvirlardagi xatti-harakatini tizimli, miqdoriy tarzda tavsiflovchi tadqiqotlar yetarli emas. Aynan shu bo'shliqni to'ldirish mazkur maqolaning vazifasi hisoblanadi.

3. Tadqiqot metodologiyasi

3.1. Shovqinning matematik modeli

Kuzatilgan (shovqinli) tasvir y quyidagi additiv model orqali ifodalanadi (1):

$$y(i,j) = x(i,j) + n(i,j), \qquad n(i,j) \sim \mathcal{N}(0,\sigma^2) \quad (1)$$

bu yerda x — noma'lum toza tasvir, n — nol o'rtacha qiymatli, σ² dispersiyali oq Gauss shovqini. Masala qo'yilishi: x va σ ikkalasi ham noma'lum bo'lgan sharoitda, faqat y asosida σ ning baholovchisi $\hat{\sigma}$ ni qurish.

3.2. Bir bosqichli 2D Haar diskret wavelet transformatsiyasi

Haar waveletining past-chastotali va yuqori-chastotali filtrlari mos ravishda quyidagicha aniqlanadi (2):

$$h = \frac{1}{\sqrt{2}}[1,\ 1], \qquad g = \frac{1}{\sqrt{2}}[1,\ -1] \quad (2)$$

Ikki o'lchamli (2D) DWT separabel sxema bo'yicha amalga oshiriladi: avval tasvirning har bir satri h va g filtrlari bilan filtrlanib 2 marta kamaytiriladi (natijada L va H oraliq massivlar hosil bo'ladi), so'ngra har bir ustun bo'yicha xuddi shu jarayon takrorlanadi. Natijada to'rtta quyi-tasma hosil bo'ladi (3):

$$LL = h_{col}\big(h_{row}(y)\big), \quad LH = g_{col}\big(h_{row}(y)\big), \quad (3)$$

$$HL = h_{col}\big(g_{row}(y)\big), \quad HH = g_{col}\big(g_{row}(y)\big)$$

Bu yerda LL — tasvirning approksimatsiya qismi, LH va HL — mos ravishda gorizontal va vertikal chekkalar, HH — diagonal yuqori-chastotali komponent. Chegara shartlari uchun "oyna aksi" (reflect/symmetric) usuli qo'llanilgan, bu chekka effektlarining sun'iy ravishda yuqori-chastotali energiyani oshirib yuborishining oldini oladi.

Amalga oshirishning to'g'riligi energiya saqlanishi tengligi orqali tekshirildi: tasodifiy 64×64 massivda elementlar kvadratlari yig'indisi sifatidagi kirish energiyasi va to'rtta quyi-tasma energiyalarining yig'indisi orasidagi nisbiy farq $2{,}16\times10^{-16}$ darajasida bo'lib, bu Haar filtrlarining ortogonalligini va dastur kodining to'g'ri ishlashini tasdiqlaydi.

3.3. M1 mezoni: medianadan mutlaq og'ish baholovchisi

(cc) BY

HH quyi-tasmasi asosan shovqin komponentidan iborat bo'lib, unda tasvir tarkibiga oid koeffitsientlar kam sonli, ammo katta amplitudali chetga og'uvchilar sifatida namoyon bo'ladi. Median statistikasining bunday chetga og'uvchilarga nisbatan barqarorligidan foydalanib, shovqin darajasi quyidagi Donoho-Johnstone MAD baholovchisi orqali aniqlanadi (4):

$$\hat{\sigma} = \frac{median(|HH|)}{0{,}6745} \qquad (4)$$

Bu yerda 0,6745 konstantasi — standart normal taqsimotning MAD (median-mutlaq-og'ishi) bilan standart og'ishi orasidagi nisbat bo'lib, u $\hat{\sigma}$ ni Gauss shovqini uchun asimptotik nosurbiy (unbiased) baholovchiga aylantiradi.

3.4. Tajriba xolati

Mezonning amaliy aniqligini baholash uchun scikit-image kutubxonasidagi sakkizta standart test-tasvir tanlab olindi: Cameraman, Coins, Moon, Page, Checkerboard, Astronaut, Brick va Grass. Tanlov mezoni sifatida silliq Moon, keskin sinov chegarali sun'iy Checkerboard, portret Astronaut va Cameraman hamda zich teksturali Brick va Grass kabi tarkibiy xilma xil tasvirlar olingan.

Har bir tasvirga dissertatsiya tadqiqotining "Shovqin turlari" jadvalida ko'rsatilgan σ = 10, 15, 25, 30, 50 ko'rinishdagi besh xil darajadagi additiv oq Gauss shovqini qo'shildi. Har bir tasvir va σ juftligi uchun 20 ta mustaqil shovqin realizatsiyasi generatsiya qilinib, har birida $\hat{\sigma}$ hisoblandi; natijalarning o'rtacha qiymati va standart og'ishi qayd etildi. Jami 8 × 5 × 20 = 800 ta mustaqil baholash amalga oshirildi. Aniqlik ko'rsatkichi sifatida nisbiy xato foizi ishlatildi (5):

$$\delta(\%) = \frac{\hat{\sigma}-\sigma}{\sigma} \times 100\% \qquad (5)$$

4. Tajribaviy tadqiqotlar va natijalar

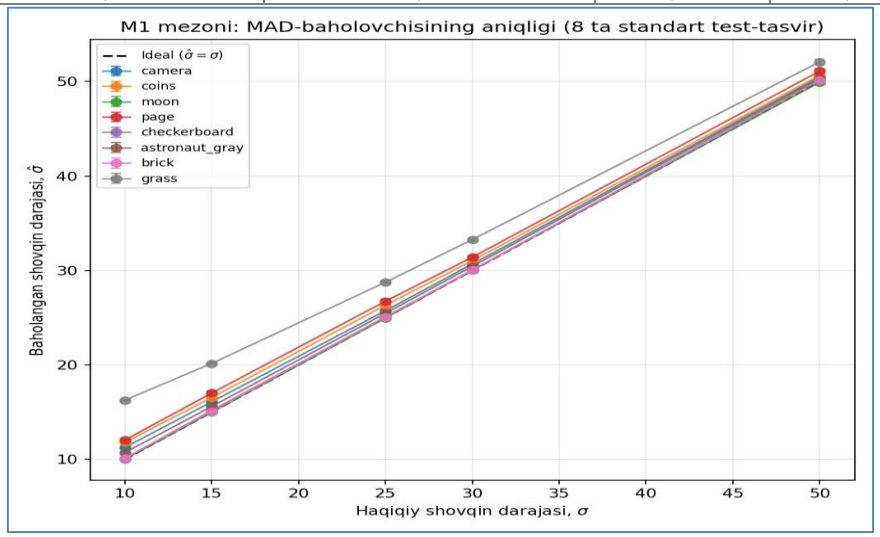
4.1. Shovqin darajasi bo'yicha agregatlangan aniqlik

1-jadvalda barcha sakkizta test-tasvir bo'yicha o'rtacha natijalar keltirilgan. Ko'rinib turibdiki, baholash xatoligi shovqin darajasi oshgani sayin izchil kamayadi.

1-jadval.

M1 mezonining shovqin darajasi bo'yicha agregatlangan aniqligi (8 tasvir × 20 mustaqil realizatsiya)

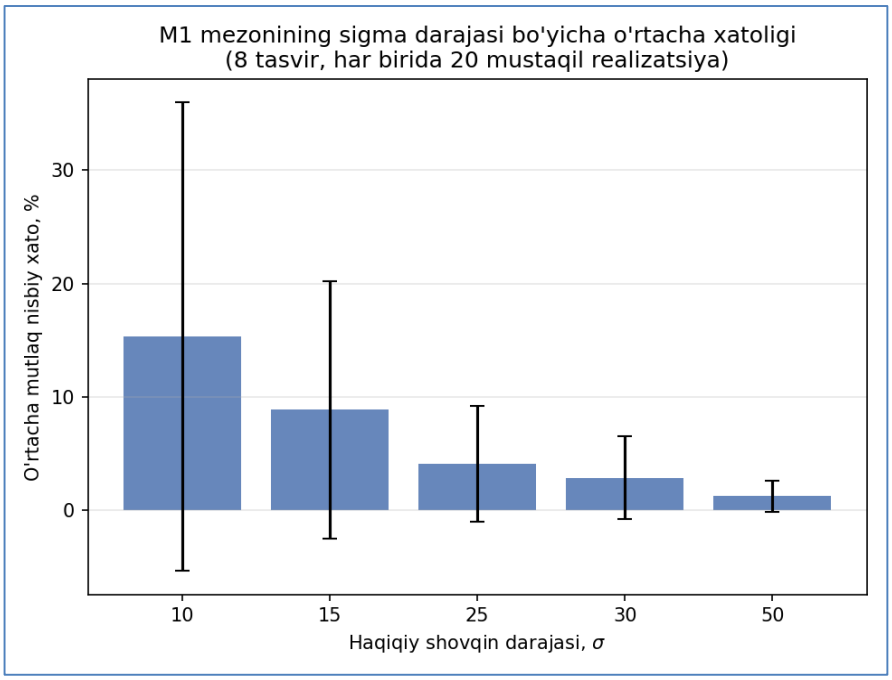
σ (haqiqiy)	$\hat{\sigma}$ (o'rtacha baholangan)	O'rtacha mutlaq nisbiy xato, %	Std, %	Min xato, %	Maks xato, %
10	11,53	15,33	20,67	0,07	62,61
15	16,33	8,88	11,36	0,02	34,34
25	26,01	4,08	5,09	0,19	14,98
30	30,86	2,87	3,65	0,07	10,89
50	50,61	1,26	1,39	0,16	4,15



1-rasm. Baholangan shovqin darajasining haqiqiy qiymatga bog'liqligi, 8 test-tasvir bo'yicha

(cc) BY *dtai.uz*

1-rasmda har bir tasvir uchun $\hat{\sigma}$ chizig'i keltirilgan; qora punktir chiziq ideal $\hat{\sigma} = \sigma$ holatni ifodalaydi. Barcha tasvirlar uchun chiziqlar yuqoridan ideal chiziqqa yaqinlashadi, ammo Grass tasviri sezilarli darajada yuqorida joylashgan. Bu tizimli musbat siljish (bias) mavjudligini ko'rsatadi.



2-rasm. Sigma darajasi bo'yicha o'rtacha mutlaq nisbiy xato

4.2. Tasvir tarkibiga bog'liq farqlar

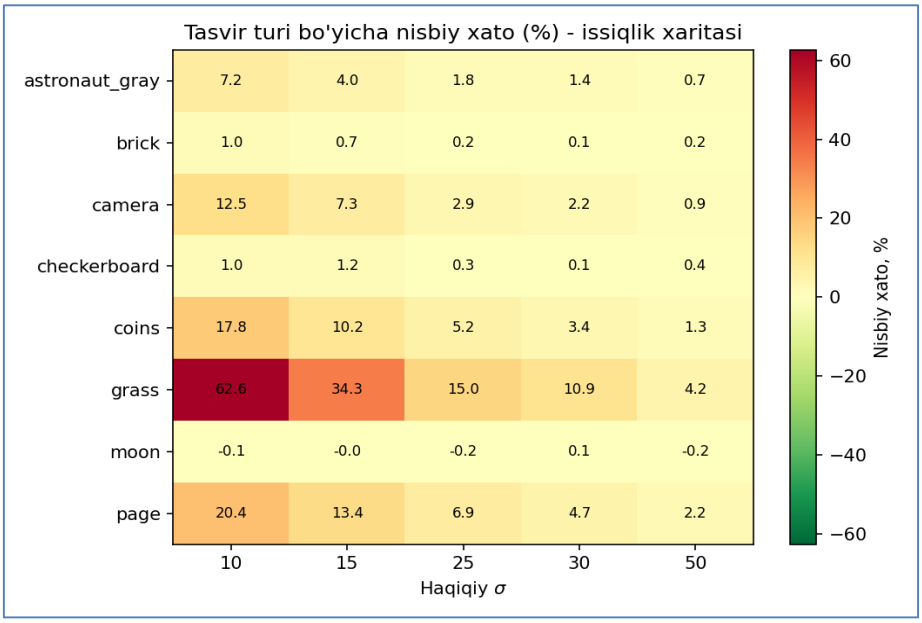
Agregatlangan natijalar tasvirlar orasidagi katta tafovutni yashiradi. 2-jadvalda har bir tasvir uchun $\sigma = 10$ holatdagi eng past va $\sigma = 50$ holatdagi eng yuqori shovqin darajalaridagi natijalar. Shuningdek toza shovqinsiz tasvirning o'zidan hisoblangan bazaviy HH-MAD darajasi keltirilgan. Bu tasvir tarkibining o'z yuqori-chastotali energiyasi ya'ni $\sigma = 0$ bo'lganda formula bera oladigan soxta shovqin darajasi.

2-jadval.

Tasvir turi bo'yicha baholash aniqligi va tarkibiy bazaviy daraja

Tasvir	Bazaviy HH-MAD (σ=0)	Xato, % (σ=10)	Xato, % (σ=50)
Moon	0,00	−0,07	−0,16
Checkerboard	0,00	1,00	0,39
Brick	0,74	1,01	0,25
Camera	1,48	12,55	0,95
Page	1,48	20,40	2,20
Astronaut	1,59	7,16	0,67
Coins	2,22	17,82	1,29
Grass	11,86	62,61	4,15

(cc) BY



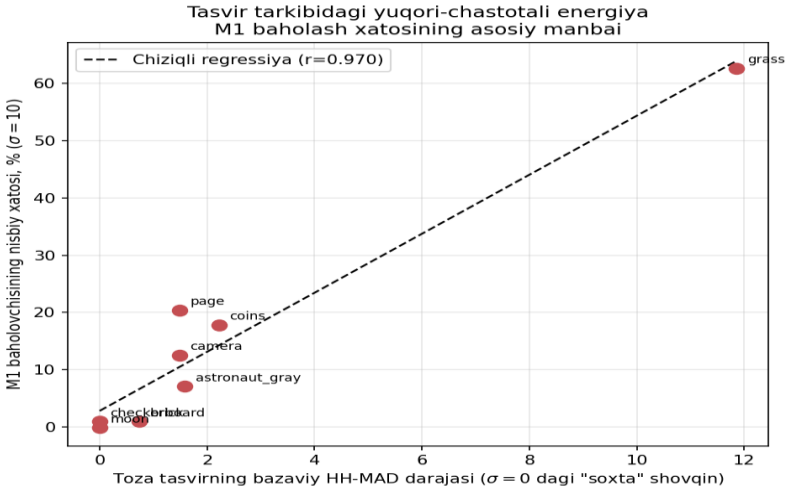
3-rasm. Tasvir turi bo'yicha nisbiy xato (%) — issiqlik xaritasi

Jadval va 3-rasmdan ko'rinadiki, natijalar tasvir tarkibiga qarab uch guruhga ajraladi:

- ***Deyarli baholash*** (Moon, Checkerboard, Brick): xato barcha σ darajalarida 1,5% dan oshmaydi. Moon tasvirlarda juda silliq bo'lgani uchun uning HH-tasmasi deyarli faqat shovqindan iborat. Checkerboard esa yuqori kontrastli bo'lishiga qaramay, keskin chekkalar tasvir yuzasining kichik qismini tashkil etadi ya'ni median statistikasi ularni chetga chiquvchi sifatida e'tiborsiz qoldiradi, bu aynan MAD baholovchisining robastlik xususiyatini nazariy jihatdan tasdiqlaydi.
- ***O'rtacha siljigan baholash:*** Camera, Page, Astronaut, Coins tasvirlarining past σ darajalarida 7–20% oralig'ida xato kuzatiladi, biroq σ = 50 da 1–2% ga tushadi.
- ***Kuchli siljigan baholash:*** Grass tasvirlari zich, deyarli barcha piksellarda takrorlanuvchi tekstura HH-tasmani sezilarli darajada shovqinlaydi, natijada σ = 10 da xato 62,6% ga yetadi.

4.3. Xatolik manbaining miqdoriy tasdig'i

Ushbu tendensiyani miqdoriy tasdiqlash uchun har bir tasvirning bazaviy σ = 0 dagi "soxta shovqin" HH-MAD darajasi bilan σ = 10 dagi baholash xatoligi orasidagi bog'liqlik tekshirildi.



4-rasm. Tasvir tarkibidagi bazaviy yuqori-chastotali energiya va baholash xatosi orasidagi bog'liqlik

(cc) BY *dtai.uz*

Chiziqli regressiyada xato (%) ≈ 5,15 × bazaviy_daraja + 2,84 bo'lib, Pirson korrelyatsiya koeffitsienti r = 0,970 ni tashkil etdi. Bu bazaviy HH-MAD darajasi bilan baholash xatoligi orasida deyarli chiziqli, statistik jihatdan kuchli bog'liqlik mavjudligini ko'rsatadi.

4.4. Hisoblash murakkabligi

Optimallashtirilmagan, GPU yoki maxsus tezlashtirishsiz, bitta protsessor yadrosida ishlaydigan sof NumPy kodida bir bosqichli DWT + median hisoblashli baholash amali uchun o'rtacha vaqt 512×512 o'lchamdagi tasvirlarda 8–10 ms, 200×200 o'lchamdagi Checkerboard tasvirida esa 2,2 ms ni tashkil etdi. Bu ko'rsatkich mezonning real vaqt yaqinidagi qo'llanilishlar uchun yetarlicha tezkor ekanligini ko'rsatadi.

5. Natijalar muhokamasi

Olingan natijalar M1 mezonining ikki xil rejimda ishlashini ko'rsatadi. $\sigma \geq 30$ holatlardagi yuqori shovqin darajalarida baholovchi barcha sinovdan o'tgan tasvir turlarida barqaror va yuqori aniqlikka, xatolik esa 1–3% teng bo'ladi. Chunki shovqin energiyasi tasvirning o'z yuqori-chastotali tarkibidan ustunlik qila boshlaydi va HH quyi-tasmasi haqiqatan ham deyarli faqat shovqin taxminiga yaqinlashadi. Bu natija shuni ko'rsatadiki, [2] ishida qo'shimcha Sobel va regressiya korreksiyasi bilan uchun $\sigma = 50–100$ qiymatidagi e'lon qilingan 1–2% xato oralig'iga hech qanday qo'shimcha korreksiyasiz, MAD baholovchisi orqali ham deyarli erishish mumkin. Bu esa yuqori shovqin rejimida oddiy MAD baholovchisining o'zi amaliy jihatdan yetarli bo'lishi mumkinligidan dalolat beradi.

$\sigma \leq 15$ qiymatlaridagi past shovqin darajalarida esa mezonning ishonchliligi tasvir tarkibiga qattiq bog'liq bo'lib qoladi. r = 0,97 qiymatdagi aniqlangan kuchli korrelyatsiya shuni ko'rsatadiki, xatolikning asosiy manbai bu shovqinning o'zi emas, balki tasvirning tabiiy yuqori-chastotali tarkibi ya'ni chekkalar zichligi yoki tekstura bo'lishi mumkin. Bu xulosa nazariy jihatdan kutilgan natija hisoblanadi: MAD baholovchisi median statistikasining tasodifiy chetga chiquvchilarga nisbatan barqarorligiga tayanadi, biroq bu taxmin faqat tasvir tarkibidan kelib chiquvchi yuqori-chastotali koeffitsientlar HH tasmasining ozchiligini tashkil etganda o'rinli bo'ladi. Grass kabi zich teksturali tasvirda bu shart buziladi ya'ni tasvir tarkibidan kelib chiqadigan koeffitsientlar endi kam emas, balki tasmaning sezilarli qismini tashkil etadi, natijada median qiymati yuqoriga siljiydi.

Ushbu xulosaning amaliy ahamiyati ikki yo'nalishda namoyon bo'ladi. Birinchidan, past shovqin darajalarida ($\sigma \leq 15$) M1 mezonining xom ko'rinishidan foydalanish tavsiya etilmaydi. Bunday holatlarda yoki qo'shimcha [2] dagi kabi chekka xaritasiga asoslangan vaznlash korreksiya qo'llanilishi, yoki mezon tasvir tarkibini alohida baholaydigan qo'shimcha ko'rsatkich bilan birga ishlatilishi zarur. Ikkinchidan, aynan shu xulosa dissertatsiya tadqiqotining umumiy etalonsiz ko'rsatkichlar vektorini M1 bilan cheklamaslik zaruratini asoslaydi: tasvir tarkibining tabiiy yuqori-chastotali energiyasini shovqindan ajratish uchun qo'shimcha statistik ko'rsatkichlar, xususan, lokal dispersiya–lokal o'rtacha bog'liqligiga asoslangan mezon talab etiladi.

Tadqiqotning cheklovlari. Birinchidan, tajriba faqat additiv oq Gauss shovqini uchun o'tkazildi. Puasson, ko'paytiruvchi va impuls shovqin turlarida mezonning xatti-harakati alohida tekshirishni talab qiladi. Ikkinchidan, tanlangan sakkizta test-tasvir tasvirlarning barcha mumkin bo'lgan tarkibiy xilma-xilligini qamrab olmaydi. Kengroq tasvirlar bazasida (masalan, BSD68 yoki Set12) tasdiqlash zarur. Uchinchidan, faqat bir bosqichli Haar dekompozitsiyasi qo'llanildi. Ko'p bosqichli dekompozitsiya yoki boshqa wavelet oilalari natijalarga qanday ta'sir qilishi alohida tadqiqot mavzusidir.

6. Xulosa

Maqolada raqamli tasvirdagi additiv shovqin darajasini Donoho-Johnstone MAD baholovchisi asosida etalonsiz aniqlash mezoni (M1) ko'rib chiqildi va uning amaliy aniqligi sakkizta standart test-tasvirda, beshta shovqin darajasida, statistik jihatdan barqaror tajriba orqali baholandi. Quyidagi asosiy xulosalarga kelindi:

1. M1 mezoni $\sigma \geq 30$ bo'lgandagi yuqori shovqin darajalarida barqaror va yuqori aniqlikka erishadi. Bunda o'rtacha xatolik 1–

(cc) BY dtai.uz

3% ni tashkil etadi. Bu uni ushbu rejimda qo'shimcha korreksiyasiz qo'llash mumkinligini ko'rsatadi.

2. $\sigma \leq 15$ bo'lgandagi past shovqin darajalarida mezonning aniqligi tasvir tarkibiga kuchli bog'liq (Pirson korrelyatsiyasi r = 0,97) bo'lib, zich teksturali tasvirlarda xato 60% dan oshishi mumkin.
3. Aniqlangan bog'liqlik nazariy jihatdan MAD baholovchisining median statistikasiga asoslangan robastlik taxminidan kelib chiqadi va uning qo'llanilish chegaralarini aniq belgilaydi.
4. Amalga oshirilgan bir bosqichli Haar DWT algoritmi hisoblash jihatidan samarali ya'ni 512×512 tasvirda ~8–10 ms bo'lib, real vaqt yaqinidagi qo'llanilishlar uchun yaroqlidir.

Olingan xulosalar dissertatsiya tadqiqotining navbatdagi bosqichi uchun bevosita asos yaratadi: shovqin turini (additiv, fotonli, ko'paytiruvchi) ajratuvchi mezonni ishlab chiqishda tasvir tarkibining tabiiy yuqori-chastotali energiyasini shovqin energiyasidan ajratish masalasi markaziy o'rin tutadi. Bu masala lokal dispersiya–lokal o'rtacha bog'liqligiga asoslangan keyingi mezon (M2) doirasida yechiladi. Kelgusi tadqiqotlarda M1 mezonini boshqa Puasson, speckle, impuls kabi shovqin turlari va kengroq BSD68, Set12 kabi tasvirlar bazasida tekshirish, shuningdek past shovqin rejimidagi aniqlikni oshirish uchun chekka xaritasiga asoslangan korreksiya mexanizmlarini qo'llash rejalashtirilgan.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Mamatov N.S., Erejepov K.K., Narzullayev I.S., Jalelova M.M. Yuz tasvirlarini segmentlashning an'anaviy va mashinali o'qitish usullari // Raqamli texnologiyalarning nazariy va amaliy masalalari xalqaro jurnali. — 2024. — T. 7, №1. — B. 24–30.
2. Muhamediyeva D.T., Mamatov N.S., Ametova G. Using quantum computing for image processing and inversion // AIP Conference Proceedings. — 2025. — Vol. 3377, Art. 060010.
3. Narzullayev H. Tasvirlarga raqamli ishlov berish // Talqin va tadqiqotlar. — 2023. — T. 1, №25.
4. Norboyeva N. Tasvirlarni intellektuallashtirishda filtrlash jarayoni va baholash algoritmlari // Green Economy and Development. — 2024. — T. 2, №11.
5. Donoho D.L., Johnstone I.M. Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage // Biometrika. — 1994.
6. Pimpalkhute V.A., Page R., Kothari A., Bhurchandi K.M., Kamble V.M. Digital Image Noise Estimation Using DWT Coefficients // IEEE Transactions on Image Processing. — 2021. — Vol. 30. — P. 1962–1972.
7. Liu P., Zhang H., Zhang K., Lin L., Zuo W. Multi-level Wavelet-CNN for Image Restoration // arXiv:1805.07071. — 2018.
8. Dabov K., Foi A., Katkovnik V., Egiazarian K. Image Denoising by Sparse 3-D Transform-Domain Collaborative Filtering // IEEE Transactions on Image Processing. — 2007.
9. Zhang K., Zuo W., Zhang L. FFDNet: Toward a Fast and Flexible Solution for CNN-Based Image Denoising // IEEE Transactions on Image Processing. — 2018.
10. Bharati S., Khan T.Z., Podder P. A Comparative Analysis of Image Denoising Problem: Noise Models, Denoising Filters and Applications // Cognitive Internet of Medical Things for Smart Healthcare (Studies in Systems, Decision and Control, vol. 311). — Springer, Cham, 2021. — P. 49–66.
11. Mittal A., Moorthy A.K., Bovik A.C. No-Reference Image Quality Assessment in the Spatial Domain (BRISQUE) // IEEE Transactions on Image Processing. — 2012.

(cc) BY *dtai.uz*