

ENDOSKOPIK TASVIRLARDA SHOVQINLARNING KELIB CHIQISHI, ULARNI KAMAYTIRISH METODLARI

Hasanov Avazbek Olimovich, Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, "Kompyuter tarmoqlari" kafedrasida magistranti, avazbekxasanov200@gmail.com
Sabitova Nazokat Qobuljon qizi, Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, "Kompyuter tarmoqlari" kafedrasida assistenti, n.sabitova@tuit.uz
Kuchkorov Temurbek Ataxonovich, Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, DSc, dotsent, t.kuchkorov@tuit.uz

Annotatsiya: Ushbu tadqiqot endoskopik tasvirlardagi shovqinlarning kelib chiqish manbalari, ularning tasnifi va shovqinlarni kamaytirish usullarini qiyosiy tahlil qilishga bag'ishlangan. Zamonaviy tibbiy diagnostika amaliyotida endoskopik tasvirlar sifati bemorning ahvolini to'g'ri baholash va davolash samaradorligini ta'minlashda hal qiluvchi ahamiyat kasb etadi. Shu bois endoskopik tasvirlardagi shovqinlarni aniqlash, tasnif etish va ularni bartaraf etishga yo'naltirilgan algoritmik hamda apparat yondashuvlarini ilmiy jihatdan tahlil qilish dolzarb masala hisoblanadi.

Ishda past yorug'lik sharoiti, sensor texnologiyasining cheklovlari, tasvirni qayta ishlash jarayonlari hamda elektromagnit aralashuv kabi asosiy shovqin manbalari ilmiy asosda ko'rib chiqilgan. Ushbu omillar natijasida yuzaga keladigan signal-shovqin nisbatining pasayishi, kvantizatsiya xatolari va artefaktlar diagnostik jarayonga ko'rsatadigan salbiy ta'sir ham batafsil yoritilgan.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, SA-UNet arxitekturasida ob'ektiv metrikalar bo'yicha eng yuqori ko'rsatkichlarga erishgan (PSNR = 27,81 dB, SSIM = 0,895), TXI-1 texnologiyasi esa klinik amaliyotda shilliq qavat neoplazmlarini vizualizatsiya qilishda an'anaviy WLI rejimiga nisbatan sezilarli ustunlik ko'rsatgan. Video oqimlarda yaroqsiz kadrlarni tiklash tizimlari esa yaroqsiz kadrlarning 68,7 foizini tahlilga yaroqli holatga qaytarishga muvaffaq bo'lgan. Apparat va dasturiy yondashuvlarni birgalikda qo'llashga asoslangan ko'p bosqichli integratsiyalashgan tizimdan foydalanish endoskopik diagnostika aniqligini oshirishning istiqbolli yo'nalishi sifatida belgilab berilgan.

Kalit so'zlar: Endoskopik tasvirlar, shovqinsizlantirish, SA-UNet, tasvir dekompozitsiyasi, TXI texnologiyasi, PSNR, SSIM, tibbiy tasvir sifati, chuqur o'rganish, video oqim qayta ishlash.

Endoskopik tasvirlarda shovqinlar turli manbalardan kelib chiqadi va ularning turli xil turlari mavjud. Ushbu shovqinlar diagnostika aniqligiga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin, shuning uchun ularni tushunish va kamaytirish muhim hisoblanadi. Shovqinlar asosan sensor va elektron texnologiyadan, past yorug'lik sharoitidan, hamda tasvirni qayta ishlash jarayonlaridan kelib chiqadi [8, 9].

Jadval-1. Endoskopiya jarayonida tasvirlarda uchraydigan shovqin turlari

№	Shovqin nomi	Shovqin nomi	Tavsifi	Kelib chiqishi	Endoskopiya xususiyatlari
1	Gauss shovqini	Gaussian Noise	Piksel yorug'lik qiymatlarini tasodifiy o'zgartiruvchi, normal taqsimotga	Elektron interferensiya, issiqlik tebranishlari, sensor shovqini	Har qanday endoskopik tasvirda, ayniqsa past yorug'likda

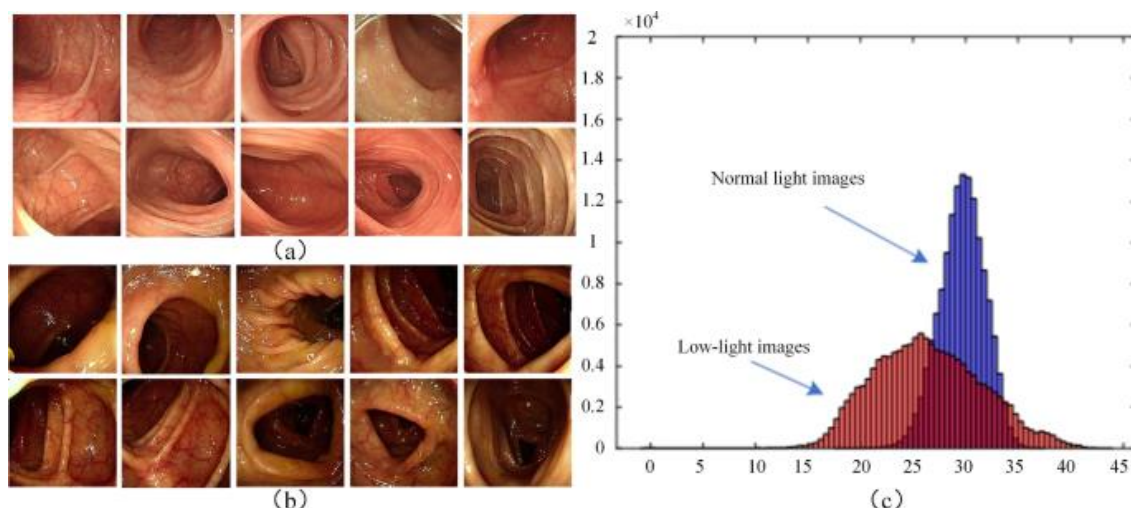
			mos statistik shovqin		
2	Tuz va murch shovqini	Salt & Pepper Noise (Impulse Noise)	Tasvirga tasodifiy oq va qora nuqtalar qo'shilishi	Uzatish xatolari, sensor nosozligi, xotira xatolari	Video uzatishda, kabel uzilishlarida kuchayadi
3	Dog' shovqini	Speckle Noise	Donador, ko'paytiruvchi shovqin	Yorug'lik interferensiyasi	OCT va ultratovush endoskopiya keng tarqalgan
4	Puasson shovqini	Poisson Noise (Quantum Noise)	Fotonlar sonining statistik o'zgarishlariga bog'liq shovqin	Kvant effektlar, kam foton sharoiti	Past yorug'likda, X-ray va PET endoskopiya
5	Doimiy naqsh shovqini	Fixed-Pattern Noise (FPN)	Piksel sezgirligidagi doimiy farqlar	Sensor cheklovlari	Kichik sensorlarda kuchli
6	Davriy chiziqlar shovqini	Periodic Banding Noise	Takrorlanuvchi chiziqlar	Analog signal uzatish	Single-use endoskoplarda ko'proq
7	Aralash Puasson-Gauss shovqini	Mixed Poisson-Gaussian Noise	Ikki xil shovqinning kombinatsiyasi	Yuqori kontrastli tasvirlash	Kichik sensor va past dinamik diapazonda
8	Asal uyi shovqini	Honeycomb Noise	Heksagonal naqshli shovqin	Fiber-optik tuzilma	Fiber-optik endoskoplarga xos
9	Impuls shovqini	Impulse Noise	Qisqa vaqtli, yuqori amplitudali signal o'zgarishi	Qisqa ekspozitsiya, kogerent nurlanish	CARS endoskopiya
10	Vertikal/gor izontal chiziqlar	Stripes Noise	Yuqori chastotali chiziqlar	Sensor va kuchaytirgichlar	Fotoakustik endoskopiya
11	Oq rangli shovqin	White Noise	Tasodifiy, bir tekis spektrga ega shovqin	Issiqlik va tasodifiy jarayonlar	Barcha sensorlarda mavjud
12	Yaltiroqlik (Halation)	Halation	Yorug'lik sochilib ketish effekti	Ortiqcha yorug'lik	Yorug'lik manbai yaqinida
13	Kvantlash xatolari	Quantisation Errors	Analog → raqamli o'tishda xatolik	Past yorug'lik, past SNR	Past sifatli tasvirlarda
14	Issiqlik shovqini	Thermal Noise	Sensor qizishi natijasidagi shovqin	Harorat oshishi	Uzoq ishlashda kuchayadi
15	Reyley shovqini	Rayleigh Noise	Statistik shovqin turi	Radar tizimlari	Endoskopiya kam uchraydi

16	Gamma shovqini	Gamma Noise	Lazerga bog'liq shovqin	Lazer nurlanishi	Lazer endoskopiya
----	----------------	-------------	-------------------------	------------------	-------------------

Birinchi manba sifatida past yorug'lik sharoiti va kameraning cheklavlari endoskopik tasvirlarda shovqin paydo bo'lishining asosiy sabablaridan biridir. Endoskoplar ko'pincha tor joylarda yoki zich to'qimalarda ishlaydi, bu esa signal-shovqin nisbati (SNR)ni kamaytiradi. Past yorug'likli hududlarda kvantizatsiya xatolari, ya'ni kameraning analog-raqamli konvertori signaldagi kichik farqlarni yetarlicha aniqlay olmasligi natijasida shovqinlar paydo bo'ladi [1, 4].

Ikkinchi manba sensorida ishlatiladigan elektron texnologiya bilan bog'liq. Endoskop sensorlarining o'lchami kichik bo'lgani uchun foton yig'ish maydoni cheklangan va bu signalni kuchaytirishga majbur qiladi. Kuchaytirish (gain) darajasi oshirilganda esa qo'shimcha shovqinlar yuzaga keladi. Shuningdek, sensor piksellararo farqlar, analog sxema xatolari va elektron interferensiya ham shovqin manbalaridan hisoblanadi [8, 2].

Shovqinlarning uchinchi manbai - tasvirni qayta ishlash jarayonlari. Endoskopik tasvirlar odatda yoritish va kontrastni yaxshilash maqsadida algoritmlar orqali qayta ishlanadi. Agar qayta ishlash noto'g'ri amalga oshirilsa, past yorug'likdagi hududlardagi shovqin kuchayadi. Shu bilan birga, rangni va teksturani yaxshilash jarayonlarida artefaktlar ham paydo bo'lishi mumkin [3, 6, 7].



1-rasm. Kam yorug'lik shovqini (Low-Light Noise)

To'rtinchi manba elektromagnit aralashuv (EMI) bilan bog'liq. Fotoakustik endoskopiya va ilg'or optik tizimlarda elektromagnit interferensiya tasvirda "streak" ko'rinishidagi naqshlar hosil qiladi. Ushbu turdagi shovqinlarni kamaytirish uchun chuqur o'rganishga asoslangan U-Net va boshqa neyron tarmoqlar qo'llanadi [1, 5].

Endoskopik tasvirlarda shovqinlarning murakkab tabiati va ularning fazoviy notekis taqsimlanishi tasvir sifatini keskin pasaytiradi hamda diagnostik jarayonlarda xatolarga olib kelishi mumkin. Shu sababli endoskopik tasvirlarni sifatini oshirish, xususan, shovqinsizlantirish algoritmlarini ishlab chiqish zamonaviy tibbiy tasvirlar analizida muhim masalalardan biridir.

Endoskopik tasvirlarni qayta ishlash bo'yicha olib borilgan zamonaviy tadqiqotlar diagnostik aniqlikni oshirish uchun tasvirdagi shovqinlarni bartaraf etish, ranglarni muvozanatlashtirish, kontrastni optimallashtirish va strukturaviy detallarni saqlab qolish masalalariga qaratilgan. Keltirilgan manbalarda taklif etilgan algoritmlar o'zaro metodik yondashuvi, ko'rsatkichlar bo'yicha natijalari va klinik qo'llanish samaradorligi bilan farqlanadi. Quyida shu ilmiy manbalardan olingan aniq sonli natijalar bir nechta jadvallar yordamida

solishtiriladi, tahlil qilinadi va kelgusida takomillashtirilishi mumkin bo'lgan jihatlar ilmiy asosda yoritiladi.

Jadval-2. Endoskopik tasvirlarda shovqin tozalash filtrlari

№	Filtr nomi	Filtr nomi	Qo' llanadigan shovqin turlari	Asosiy xususiyatlari	Tezligi	PSNR (o' rtacha)	Endoskopiya uchun foydaliylik
1	Gauss filtri	Gaussian Filter	Gauss, oq shovqin (AWGN)	Vaznli o' rtacha asosida ishlaydi, chetlarni yumshatadi	Tez	28.18 (Gauss), 26.51 (AWGN)	O' rtacha – chetlar yo' qoladi
2	Median filtri	Median Filter	Tuz-murch, impuls, speckle	Median qiymatni tanlaydi, statistik mustahkam	O' rta cha	28.79 (Gauss), 27.49 (AWGN), 28.81 (Speckle)	Yaxshi – impuls shovqinlar uchun
3	Bilateral filtri	Bilateral Filter	Gauss, Reyley	Makoniyl + intensivlik o' xshashligini hisobga oladi	O' rta cha	28.37 (Gauss), 26.51 (AWGN), 28.64 (Speckle)	Yaxshi – chetlarni saqlaydi
4	Veyvlet filtrlash	Wavelet Filtering	Gauss, Puasson, speckle	Chastota sohasida shovqinni kamaytiradi	Tez	27.21 (Gauss), 25.46 (AWGN), 27.50 (Speckle)	Yaxshi – ko' p darajali tahlil
5	Viner filtri	Wiener Filter	Gauss, oq shovqin	Optimal filtr, signal/shovqin statistikasi asosida	Tez	30.57 (Gauss), 27.80 (AWGN), 28.71 (Speckle)	Yaxshi – statistik ma' lumot bo' lsa
6	NLM (mahalliy bo' lmagan o' rtacha)	Non-Local Means (NLM)	Gauss, tuz-murch, speckle	Uzoq piksel o' xshashligini ishlatadi	Sekin	30.57 (Gauss), 28.20 (AWGN), 28.71 (Speckle)	Ajoyib – tafsilot saqlaydi
7	BM3D filtrlash	Block-Matching and 3D	Gauss, tuz-	3D blok guruhlash va	Sekin	33.35 (Gauss), 30.20	Ajoyib – eng

		Filtering (BM3D)	murch, Puasson	transformatsiya		(AWGN), 30.02 (Speckle)	samarali klassik usul
8	Adaptiv median filtri	Adaptive Median Filter	Impuls (yuqori zichlik)	Oyna o'Ichami avtomatik moslashadi	Tez	Median'dan yaxshiroq	Juda yaxshi – real vaqt tizimlari
9	KNN filtri	K-Nearest Neighbor (KNN)	Gauss, tuz-murch	Eng yaqin qo'shnilar asosida	O'rta cha	NLM ga yaqin	Yaxshi – adaptiv
10	TV minimallashtirish	Total Variation (TV)	Gauss, tuz-murch	Global optimallashtirish, teksturani silliqilaydi	O'rta cha	17.19 (Gauss), 26.60 (S&P)	O'rtacha – tekstura yo'qoladi
11	Anizotropik diffuziya	Anisotropic Diffusion	Gauss, tuz-murch	Gradientga asoslangan filtr	Tez	17.16 (Gauss), 22.37 (S&P)	Yaxshi – chegara saqlaydi
12	Chuqur o'rganish (RED-CNN)	Deep Learning (RED-CNN)	Barcha shovqinlar	CNN asosida murakkab naqshlarni o'rganadi	Sekin (treni ng)	47.65 (Gauss), 33.17 (AWGN), 36.61 (Speckle)	Ajoyib – katta dataset bilan
13	Dual-Path Learning	Dual-Path Learning (DPL)	Gauss, AWGN, speckle	Shovqin + kontekstni parallel o'rganadi	Sekin	49.32 (Gauss), 33.10 (AWGN), 36.73 (Speckle)	Ajoyib – eng zamonaviy
14	1D CNN (fotoakustik)	Aline-CNN / Aline-UNet	Sistem, fon shovqini	1D CNN, real vaqtga moslashgan	Tez (real vaqt)	UNet-2D dan yaxshiroq	Ajoyib – real vaqt tizimlari
15	Adaptiv veyvlet filtrlash	Adaptive Wavelet Denoising	Gauss, Puasson	Ko'p darajali adaptiv kesish	O'rta cha	SG filtdan yaxshiroq	Yaxshi – bio signal
16	Guidlangan filtrlash	Guided Filtering	Gauss, chegara saqlash	Yo'l ko'rsatuvchi tasvir bilan ishlaydi	Tez	Ba'zan BM3D dan yaxshiroq	Yaxshi – chegara saqlash
17	PCA asosida filtrlash	Principal Component Analysis	Gauss, FPN	Piksel guruhlash orqali shovqin baholaydi	O'rta cha	BM3D ga yaqin	O'rtacha – baholash uchun

18	SVD asosida filtrlash	Singular Value Decomposition	Fon, sistem shovqini	Matritsani parchalash orqali	Sekinson	Wavelet'dan yaxshiroq	Yaxshi – fon shovqini uchun
----	-----------------------	------------------------------	----------------------	------------------------------	----------	-----------------------	-----------------------------

Tadqiqotlar ko'rsatadiki, image decomposition asosidagi yondashuvlar tasvirdagi yorqinlik komponenti bilan detal komponentini alohida boshqarish imkonini berib, diagnostik konturlarni nisbatan tabiiy ko'rinishda qayta tiklashga yordam beradi [3]. Shu bilan birga, chuqur o'rganishga asoslangan arxitekturalar, xususan spatial attention UNet, shovqinli hududlarga selektiv e'tibor qaratib, mazmunli strukturalar yaxshiroq ajratilishini ta'minlaydi [4]. Video oqimlarda sifatni avtomatik baholashga yo'naltirilgan modellar esa yaroqsiz kadrlarni tiklash orqali klinik foydalanish imkoniyatini kengaytiradi [5]. Shu jarayonni to'ldirish maqsadida apparat darajasidagi kuchaytirish texnologiyalari — masalan, Texture and Color Enhancement Imaging (TXI) — shilliq qavat yuzalarining ko'rinishini yaxshilash orqali bevosita klinik diagnostikaga ijobiy ta'sir ko'rsatadi [7].

3-jadval. Algoritmning PSNR va SSIM bo'yicha solishtirma natijalari

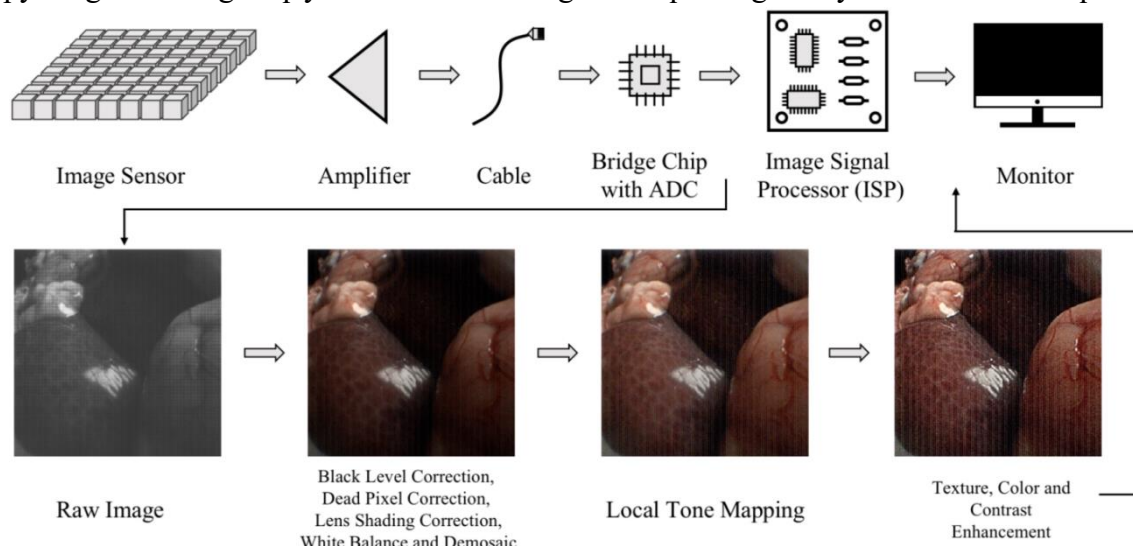
Usul	PSNR (dB)	SSIM
Image decomposition asosidagi metod	24.97	0.842
Spatial attention UNet (SA-UNet)	27.81	0.895
An'anaviy CNN denoising	25.34	0.861
CBDNet	26.12	0.872

Spatial attention UNet arxitekturasida PSNR va SSIM ko'rsatkichlari bo'yicha eng yuqori natijalarga erishgan (3-jadval). Bu model shovqinli hududlarda fazoviy e'tibor mexanizmi yordamida mazmunli signallarni ajratib, tuzilma yaxlitligini saqlab qoladi [4]. Image decomposition yondashuvi esa qatlamlar bo'yicha boshqaruv imkonini berib, tabiiy ko'rinishni tiklashga xizmat qiladi, biroq obyektiv metrikalar bo'yicha chuqur o'rganish usullaridan pastroq natija qayd etgan [3].

Tasvir rejimi / Endoskop turi	O'rtacha ko'rinish balli (1–4)
WLI — yangi avlod endoskop	2.79
TXI-1 — yangi avlod endoskop	3.23
TXI-2 — yangi avlod endoskop	3.11
WLI — an'anaviy endoskop	2.64
TXI-1 — an'anaviy endoskop	3.04
TXI-2 — an'anaviy endoskop	2.96

4-jadval. TXI va WLI rejimlarining klinik ko‘rinish ballari (yangi va an’anaviy endoskoplar)

Klinika sharoitida TXI texnologiyasi, ayniqsa TXI-1 rejimi, oshqozon neoplazmlarining ko‘rinishini yaxshilashda WLI ga nisbatan sezilarli ustunlikka ega ekanligi tasdiqlangan (4-jadval). Barcha holatlarda yangi avlod endoskoplarida o‘rtacha ball an’anaviy qurilmalarga qaraganda yuqoriroq bo‘lgan. Bu apparat darajasidagi vizual kuchaytirish algoritmlari kompyuterga asoslangan qayta ishlash bilan birgalikda qo‘llanganda yanada samaraliroq bo‘lishi



mumkinligini ko‘rsatadi [7].

2-rasm. Kvantlash xatolari TXI texnologiyasi orqali yaxshilash

Taqdim etilgan video sifatini baholash va tiklash tizimi oqimdagi yaroqsiz kadrlarning 68.7 % ini tahlil uchun yaroqli shaklga qaytarishga muvaffaq bo‘lgan. Bu natija video oqimli endoskopiya uchun avtomatlashtirilgan pre-filtrlash va restoratsiya modullarining dolzarbligini ko‘rsatadi [5].

Ushbu ilmiy ishlardan olingan faktlar shuni anglatadiki, endoskopik tasvirlar sifatini oshirish uchun ko‘p bosqichli integratsiyalangan yondashuvni qo‘llash samaraliroq hisoblanadi. Image decomposition yondashuvi yorqinlik va teksturani alohida boshqarish imkonini beradi va ko‘rinishdagi keskinlikni tabiiy tarzda tiklaydi. Spatial attention UNet arxitekturasida shovqinlarni olib tashlashda ob‘ektiv ko‘rsatkichlar bo‘yicha eng yuqori natijalarga ega bo‘lib, diagnostik konturlarni saqlashda ayniqsa samarali. TXI kabi apparat darajasidagi ko‘rinish-kuchaytirish texnologiyalari esa klinik amaliyotlarda ishonchli ustunlik ko‘rsatagan, video oqimlar uchun esa yaroqsiz kadrlarni tiklash algoritmlari tahlilni yanada barqaror qiladi.

Xulosa

Ushbu tadqiqot endoskopik tasvirlardagi shovqinlar ko‘p omilli tabiatga ega ekanligini va ularni bartaraf etish uchun yagona usulning yetarli emasligini ko‘rsatdi. Past yorug‘lik sharoitidan, sensor cheklovlaridan, algoritmik qayta ishlash xatolaridan hamda elektromagnit interferensiyadan kelib chiquvchi shovqinlar diagnostik aniqlikka salbiy ta‘sir ko‘rsatib, klinik xatolar ehtimolini oshiradi.

Tahlil qilingan usullar orasida fazoviy e‘tibor mexanizmiga asoslangan SA-UNet arxitekturasida PSNR (27,81 dB) va SSIM (0,895) ko‘rsatkichlari bo‘yicha eng yuqori ob‘ektiv natijalarni qayd etdi. Ushbu arxitektura shovqinli hududlarga selektiv e‘tibor qaratib, mazmunli strukturalarni saqlab qolish imkonini beradi. Tasvir dekompozitsiyasiga asoslangan yondashuv esa yorqinlik va tekstura komponentlarini mustaqil boshqarish orqali vizual naturallikni tiklashga

xizmat qiladi, garchi u ob'ektiv ko'rsatkichlar bo'yicha chuqur o'rganish usullaridan biroz orqada qolsa-da. TXI-1 texnologiyasi klinik baholashda an'anaviy WLI rejimiga nisbatan sezilarli ustunlik ko'rsatdi va neoplazmlarni aniqlashda yangi avlod endoskoplari bilan birga qo'llanilganda eng yuqori natijaga erishildi. Video oqimlarda yaroqsiz kadrlarning 68,7 foizini tahlilga yaroqli holga keltirish imkonini beruvchi avtomatlashtirilgan tiklash tizimlari esa klinik foydalanish barqarorligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Jaspers, T. J. M., Boers, T. G. W., Kusters, C. H. J., Jong, M. R., Jukema, J. B., de Groof, A. J., Bergman, J. J., de With, P. H. N., & van der Sommen, F. (2024). Robustness evaluation of deep neural networks for endoscopic image analysis: Insights and strategies. *Medical Image Analysis*, 94, 103157.
2. Bolhasani, H., Jafarali Jassbi, S., & Sharifi, A. (2023). DLA-E: A deep learning accelerator for endoscopic images classification. *Journal of Big Data*, 10, 76.
3. Tan, W., Xu, C., Lei, F., Fang, Q., An, Z., Wang, D., Han, J., Qian, K., & Feng, B. (2022). An endoscope image enhancement algorithm based on image decomposition. *Electronics*, 11(12), Article 1909.
4. Zhang, B., Li, M., Zhou, C., Yang, Q., Wang, L., & Yuan, B. (2022). Endoscopic image denoising algorithm based on spatial attention UNet. *Journal of Physics: Conference Series*, 2400(1), 012026.
5. Ali, S., Zhou, F., Bailey, A., Braden, B., East, J. E., Lu, X., & Rittscher, J. (2021). A deep learning framework for quality assessment and restoration in video endoscopy. *Medical Image Analysis*, 68, 101900.
6. Park, J. Y. (2025). Enhanced endoscopy in upper gastrointestinal disease: Focusing on texture and color enhancement imaging and red dichromatic imaging. *Clinical Endoscopy*, 58, 163–180.
7. Futakuchi, T., Dobashi, A., Horiuchi, H., Furuhashi, H., Matsui, H., Hara, Y., Kobayashi, M., Ono, S., Tamai, N., Gomisawa, K., Yamauchi, T., Suka, M., & Sumiyama, K. (2023). Texture and color enhancement imaging improves the visibility of gastric neoplasms: Clinical trial with image catalogue assessment using conventional and newly developed endoscopes. *BMC Gastroenterology*, 23, 389.
8. Ali, S., Dmitrieva, M., Ghatwary, N., Bano, S., Polat, G., Temizel, A., Krenzer, A., Hekalo, A., Guo, Y. B., Matuszewski, B., Gridach, M., Voiculescu, I., Yoganand, V., Chavan, A., Raj, A., Nguyen, N. T., Tran, D. Q., Huynh, L. D., Boutry, N., Rezvy, S., Chen, H., Cho, Y. H., Subramanian, A., Balasubramanian, V., Gao, X. W., Hu, H., Liao, Y., Stoyanov, D., Daul, C., Realdone, S., Cannizzaro, R., Lamarque, D., Tran-Nguyen, T., Bailey, A., Braden, B., East, J. E., & Rittscher, J. (2021). Deep learning for detection and segmentation of artefact and disease instances in gastrointestinal endoscopy. *Medical Image Analysis*, 70, 102002.
9. Nie, Z., Xu, M., Wang, Z., Lu, X., & Song, W. (2024). A review of application of deep learning in endoscopic image processing. *Journal of Imaging*, 10, 275.