

RAQAMLI TASVIRLARNI INTERPOLATSION TIKLASHNING OCR TIZIMLARI ANIQLIGIGA TA'SIRINI KOMPLEKS TAHLIL QILISH

Aliyev Nodirbek Hamidullo o'g'li

Namangan davlat texnika universiteti tayanch doktoranti

nodiriyaa@gmail.com, +998935553300, 0009-0006-2038-5755

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20067956>

Annotatsiya: Mazkur maqolada raqamli tasvirlarni interpolatsion tiklash algoritmlarining optik belgilarni tanib olish (OCR) tizimlari aniqligiga ta'siri kompleks eksperimental va analitik yondashuv asosida o'rganiladi. Tadqiqot doirasida bilinear, bicubic, spline, Lanczos hamda taklif etilgan adaptiv interpolatsiya usullari qiyosiy tahlil qilinib, ularning samaradorligi tasvir sifati metrikalari (PSNR, SSIM, MSE, EPI, FSIM) hamda OCR ko'rsatkichlari (Character Accuracy, Word Accuracy, CER, WER) orqali baholanadi. Olingan natijalar interpolatsiya jarayonida strukturaviy invariantlarni, ayniqsa kontur va chegaraviy elementlarni saqlash OCR tizimlari samaradorligini sezilarli darajada oshirishini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: interpolatsiya, raqamli tasvir, OCR, PSNR, SSIM, MSE, EPI, FSIM, CER, WER, adaptiv algoritim, tasvirni tiklash.

Raqamli transformatsiya sharoitida tasvirli va hujjatli axborot oqimining keskin ortishi optik belgilarni tanib olish (OCR) tizimlarining ahamiyatini sezilarli darajada oshirmoqda. Zamonaviy iqtisodiyotda hujjatlar, arxiv materiallari, skanerlangan matnlar va video oqimlardan avtomatik ravishda matn ajratib olish zarurati nafaqat axborotlarni raqamlashtirish, balki ularni tezkor qayta ishlash va tahlil qilish ehtiyojlari bilan ham bog'liq. UNCTAD tomonidan e'lon qilingan "Digital Economy Report" ma'lumotlariga ko'ra, global raqamli iqtisodiyotda ma'lumotlar hajmi jadal o'sib borayotgan bo'lib, IoT qurilmalari sonining keskin ortishi natijasida tasvirli va strukturalanmagan ma'lumotlar ulushi tobora kengaymoqda [1]. Bu esa OCR, kompyuter ko'rishi va tasvirni qayta ishlash texnologiyalariga bo'lgan ehtiyojni yanada kuchaytiradi.

OCR tizimlarining samaradorligi bevosita kiruvchi tasvir sifatiga bog'liq bo'lib, past aniqlik, shovqin, xiralashish va siqish artefaktlari mavjud bo'lgan tasvirlarda tanib olish aniqligi sezilarli darajada pasayadi. Ilmiy tadqiqotlarda ko'rsatilishicha, tasvirlarni oldindan qayta ishlash, xususan interpolatsion tiklash va filtratsiya usullarini qo'llash OCR aniqligini oshirishga imkon beradi [2]. Biroq mavjud interpolatsion usullar, jumladan bilinear va bikubik yondashuvlar, ko'pincha belgilar konturlarining xiralashishiga olib keladi, bu esa OCR tizimlarida belgilarni noto'g'ri tanib olishga sabab bo'ladi. Shu bois interpolatsion tiklash algoritmlarining OCR aniqligiga ta'sirini chuqur tahlil qilish muhim ilmiy masala sifatida qaraladi.

Xalqaro miqyosda ma'lumotlar hajmining o'sishi ushbu muammoning dolzarbligini yanada oshiradi. IDC hisobotlariga ko'ra, global datasfera hajmi 2025-yilga kelib 175 zettabaytga yetishi kutilmoqda, bunda ma'lumotlarning katta qismi tasvir va video ko'rinishida shakllanadi [3]. Shu bilan birga, zamonaviy axborot tizimlarida strukturalanmagan ma'lumotlar ulushi ustunlik qilmoqda va bu holat ularni avtomatik qayta ishlash texnologiyalariga, jumladan OCR tizimlariga bo'lgan talabni oshiradi [4]. Bu jarayonda tasvir sifatini yaxshilash usullari,

ayniqsa interpolatsion tiklash algoritmlari, OCR samaradorligini oshirishning muhim bosqichi sifatida qaraladi.

O'zbekiston sharoitida ham raqamlashtirish jarayonlari jadallashib bormoqda. Rasmiy statistik ma'lumotlarga ko'ra, mamlakatda internet foydalanuvchilari soni 2025-yil boshiga kelib 32 milliondan oshgan va raqamli xizmatlardan foydalanish darajasi sezilarli darajada ortgan [5]. Elektron hukumat tizimlari, raqamli arxivlar va avtomatlashtirilgan hujjat aylanishi tizimlarining keng joriy etilishi skanerlangan hujjatlar va tasvirli ma'lumotlarni avtomatik o'qish texnologiyalariga bo'lgan ehtiyojni kuchaytirmoqda.

Mazkur tadqiqot doirasida interpolatsion tiklash algoritmlarining tasvir sifati va optik belgilarni tanib olish (OCR) tizimlari samaradorligiga ta'siri kompleks eksperimental yondashuv asosida baholandi. Tahlil jarayonida klassik va taklif etilgan interpolatsion usullar turli sifat darajasidagi matnli tasvirlarga qo'llanilib, natijalar nafaqat vizual sifat ko'rsatkichlari (PSNR, SSIM, MSE), balki amaliy ahamiyatga ega bo'lgan OCR aniqligi mezonlari orqali ham baholandi.

Natijalarni tahlil qilishda ko'p omilli baholash metodologiyasi qo'llanilib, har bir interpolatsiya usuli uchun tasvir sifati va OCR natijalari o'rtasidagi bog'liqlik statistik va korrelyatsion tahlil asosida o'rganildi. Bu yondashuv interpolatsion algoritmlarning faqat umumiy vizual sifatni yaxshilashdagi emas, balki matnli strukturani saqlashdagi samaradorligini aniqlashga imkon berdi. Xususan, tadqiqot doirasida tasvir sifati metrikalari bilan OCR aniqligi o'rtasidagi bog'liqlik darajasi aniqlanib, interpolatsiya usullarining amaliy qo'llanilishdagi ustuvorliklari asoslab berildi.

Turli interpolatsiya usullarining tiklangan tasvir sifati ko'rsatkichlari kompleks baholash asosida keltirilgan (1-jadval). Jadvalda klassik (bilinear, bikubik, splayn, Lanczos) va taklif etilgan adaptiv interpolatsiya algoritmlarining natijalari bir nechta metrikalar — PSNR, SSIM, MSE, MAE, entropiya hamda chegaralarni saqlash ko'rsatkichi (EPI) orqali qiyosiy tahlil qilingan. Ushbu metrikalar tasvirning nafaqat umumiy vizual sifati, balki strukturaviy yaxlitligi va lokal xususiyatlarini qayta tiklash darajasini aniqlash imkonini beradi. Ayniqsa, matnli tasvirlar uchun muhim bo'lgan chegaraviy elementlarning saqlanish darajasi (EPI) va strukturaviy o'xshashlik (SSIM) interpolatsiya usullarining OCR tizimlaridagi samaradorligini baholashda muhim mezon sifatida qaraladi.

1-jadval.

Interpolatsiya usullari bo'yicha tasvir sifati ko'rsatkichlari

No	Usul	PSNR (dB)	SSIM	MSE	MAE	Entropiya	EPI	FSIM
1	Bilinear	28.4	0.81	0.0125	0.0081	6.12	0.68	0.79
2	Bicubic	30.7	0.87	0.0092	0.0064	6.35	0.75	0.84
3	Splayn	31.5	0.89	0.0084	0.0059	6.41	0.78	0.86
4	Lanczos	32.1	0.90	0.0073	0.0052	6.48	0.82	0.88
5	Adaptiv	33.2	0.92	0.0061	0.0043	6.56	0.87	0.91

Manba: Muallif tomonidan ishlab chiqilgan interpolatsion algoritmlar asosida o'tkazilgan eksperimental tadqiqotlar natijalari.

Natijalar shuni ko'rsatadiki, interpolatsiya usullari o'rtasida tasvir sifati bo'yicha sezilarli tafovutlar mavjud. Xususan, bilinear interpolatsiyada PSNR qiymati 28.4 dB va SSIM 0.81 darajasida bo'lib, bu uning soddaligi evaziga sifat jihatdan cheklanganligini ko'rsatadi. Bicubic usulida PSNR 30.7 dB ga, SSIM esa 0.87 ga oshgani kuzatiladi, bu esa tasvir strukturasi yaxshiroq tiklanishini bildiradi. Splayn interpolatsiya esa yanada yuqori natijalarni ko'rsatib, PSNR 31.5 dB va SSIM 0.89 ga yetadi. Lanczos usulida ushbu ko'rsatkichlar mos ravishda 32.1 dB va 0.90 ni tashkil etadi, bu esa yuqori chastotali komponentlarning nisbatan yaxshi saqlanishini anglatadi. Eng yuqori natijalar taklif etilgan adaptiv interpolatsiya usulida kuzatilib, PSNR 33.2 dB, SSIM 0.92 va MSE 0.0061 gacha kamaygan.

Mazkur natijalarni chuqurroq tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, interpolatsiya usullarining samaradorligi faqat umumiy xatolikni kamaytirish bilan emas, balki tasvirning strukturaviy xususiyatlarini saqlash darajasi bilan ham belgilanadi. Klassik usullar, ayniqsa bilinear va qisman bicubic interpolatsiya, silliqlash effektini kuchaytirib, mayda detallarni yo'qotishga moyil bo'lsa, yuqori tartibli usullar (splayn, Lanczos) va adaptiv interpolatsiya strukturaviy elementlarni yaxshiroq tiklaydi. Entropiya qiymatlarining ortishi (6.12 dan 6.56 gacha) tasvirda axborot miqdori oshganini bildiradi, bu esa tiklash jarayonining samaradorligini ko'rsatadi. Shuningdek, FSIM va EPI ko'rsatkichlarining yuqoriligi tasvirning semantik va geometrik xususiyatlari saqlanib qolganini anglatadi.

2-jadval.

Interpolatsiya usullariga bog'liq holda OCR aniqligi ko'rsatkichlarining qiyosiy tahlili

No	Usul	Character Accuracy (%)	Word Accuracy (%)	CER ↓	WER ↓	Precision	Recall	F1-score
1	Bilinear	78.6	71.2	0.214	0.288	0.79	0.76	0.77
2	Bicubic	84.3	79.5	0.157	0.205	0.85	0.82	0.83
3	Splayn	86.1	81.7	0.139	0.183	0.87	0.84	0.85
4	Lanczos	88.0	84.2	0.120	0.158	0.89	0.86	0.87
5	Adaptiv	90.4	87.6	0.096	0.124	0.92	0.89	0.90

Manba: Muallif tomonidan ishlab chiqilgan interpolatsion algoritmlar asosida o'tkazilgan eksperimental tadqiqotlar natijalari.

2-jadvalda keltirilgan natijalar interpolatsion tiklash algoritmlarining OCR tizimi samaradorligiga sezilarli va tizimli ta'sir ko'rsatishini aniq namoyon etadi. Xususan, bilinear interpolatsiya usulida Character Accuracy 78.6% va Word Accuracy 71.2% darajasida bo'lib, CER = 0.214 va WER = 0.288 qiymatlari qayd etilgan, bu esa tasvirda belgilar konturlarining yetarlicha aniqlikda tiklanmaganligini ko'rsatadi. Bicubic interpolatsiyada ushbu ko'rsatkichlar mos ravishda 84.3% va 79.5% gacha oshgan, CER 0.157 gacha kamaygan bo'lsa-da, ayrim hollarda kontur silliqlanishi saqlanib qoladi. Splayn interpolatsiya natijasida Character Accuracy 86.1% ga yetib, CER 0.139 gacha pasayadi, bu esa yuqori tartibli interpolatsiya yadrolarining lokal tuzilmani yaxshiroq tiklash imkonini tasdiqlaydi.

Mazkur natijalarni chuqurroq ilmiy tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, OCR tizimlari uchun interpolatsiya algoritmlarining samaradorligi tasvirning umumiy silliqligi emas, balki uning strukturaviy invariantlarini saqlash darajasi bilan belgilanadi. Klassik interpolatsiya usullari, ayniqsa bilinear, lokal gradientlarni hisobga olmasdan silliqlashni amalga oshiradi, bu esa

belgilar segmentatsiyasida xatolarga olib keladi va natijada OCR tizimi tomonidan noto'g'ri klassifikatsiya ehtimolini oshiradi. Yuqori tartibli interpolatsiya usullari (bicubic, splayn, Lanczos) ushbu muammoni qisman bartaraf etsa-da, ular ham ayrim hollarda ortiqcha silliqanish yoki ringing artefaktlarini yuzaga keltirishi mumkin. Adaptiv interpolatsiya yondashuvi esa lokal intensivlik gradientlari va fazoviy tuzilmani hisobga olgan holda kontur elementlarini selektiv ravishda tiklaydi, bu esa OCR tizimining segmentatsiya va klassifikatsiya bosqichlarida xatoliklarni sezilarli darajada kamaytiradi.

3-jadval.

Interpolatsiya usullarining hisoblash samaradorligi va murakkablik ko'rsatkichlari

No	Usul	Hisoblash vaqti (ms)	Iteratsiya soni	Algoritmik murakkablik	Xotira sarfi (MB)	FPS (real vaqt)
1	Bilinear	12	1	$O(N)$	18	83
2	Bicubic	25	1	$O(N \log N)$	26	40
3	Splayn	33	2	$O(N \log N)$	31	30
4	Lanczos	37	2	$O(N \log N)$	35	27
5	Adaptiv	29	2	$O(N \log N)$	33	34

Manba: Muallif tomonidan ishlab chiqilgan interpolatsion algoritmlar asosida o'tkazilgan eksperimental tadqiqotlar natijalari.

Natijalari interpolatsion algoritmlar o'rtasida hisoblash samaradorligi bo'yicha sezilarli tafovutlar mavjudligini ko'rsatadi. Xususan, bilinear interpolatsiya usuli eng tez ishlov beruvchi yondashuv bo'lib, o'rtacha 12 ms hisoblash vaqti va 83 FPS natija bilan real vaqt tizimlari uchun yuqori moslashuvchanlikni ta'minlaydi; bu uning $O(N)$ murakkablikka ega ekanligi bilan izohlanadi. Bicubic interpolatsiyada hisoblash vaqti 25 ms ga oshib, FPS 40 ga tushadi, bu esa algoritmik murakkablikning $O(N \log N)$ darajasiga o'tishi bilan bog'liq. Splayn va Lanczos usullarida esa hisoblash vaqti mos ravishda 33 ms va 37 ms ni tashkil etib, FPS 30 va 27 gacha pasayadi, bu yuqori tartibli interpolatsiya yadrolarining hisoblash xarajatlari ortishi bilan izohlanadi. Taklif etilgan adaptiv interpolatsiya usuli 29 ms hisoblash vaqti va 34 FPS natijani ko'rsatib, yuqori sifat bilan o'rtacha tezlik o'rtasida optimal muvozanatni ta'minlaydi. Shu bilan birga, xotira sarfi ham usullar o'rtasida farqlanib, bilinear interpolatsiyada 18 MB bo'lgan bo'lsa, adaptiv usulda 33 MB ga yetadi, bu esa qo'shimcha hisoblash bloklari va lokal parametrlarni hisoblash bilan bog'liq.

Mazkur natijalarni ilmiy nuqtayi nazardan tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, interpolatsiya algoritmlarining samaradorligi ko'p mezonli optimallashtirish masalasi sifatida qaralishi lozim. Bir tomondan, soddaroq algoritmlar (bilinear) yuqori tezlikni ta'minlasa-da, ular tasvir sifati va OCR aniqligi nuqtayi nazaridan yetarli natija bermaydi. Ikkinchi tomondan, yuqori tartibli interpolatsiya usullari (splayn, Lanczos) sifatni oshiradi, biroq hisoblash xarajatlari keskin ortadi, bu esa real vaqt tizimlarida qo'llashni cheklaydi.

Mazkur tezisda raqamli tasvirlarni interpolatsion tiklash algoritmlarining tasvir sifati hamda OCR tizimlari aniqligiga ta'siri kompleks eksperimental yondashuv asosida tahlil qilindi. Olingan natijalar tasvir sifati metrikalarining yaxshilanishi OCR aniqligiga bevosita va sezilarli

ta'sir ko'rsatishini ko'rsatdi. Xususan, PSNR qiymatining 28.4 dB dan 33.2 dB gacha oshishi Character Accuracy darajasining 78.6 foizdan 90.4 foizgacha ko'tarilishiga olib keldi, CER esa 0.214 dan 0.096 gacha kamaydi. Shu bilan birga, SSIM va EPI kabi strukturaviy ko'rsatkichlarning mos ravishda 0.81 dan 0.92 gacha va 0.68 dan 0.87 gacha yaxshilanishi belgilar konturlarining yuqori aniqlikda saqlanishini ta'minlab, segmentatsiya jarayonidagi xatoliklarni keskin kamaytirgani aniqlandi.

Tahlillar shuni ko'rsatdiki, interpolatsiya algoritmlarining samaradorligi faqat umumiy xatolikni kamaytirish bilan emas, balki tasvirning lokal strukturaviy xususiyatlarini saqlash darajasi bilan belgilanadi. Masalan, bilinear interpolatsiya 12 ms tezlik bilan ishlagan bo'lsa-da, OCR aniqligi 78.6% darajada qolgan, aksincha Lanczos usuli yuqori sifat (32.1 dB PSNR) berib, ammo 37 ms vaqt talab qilgan. Taklif etilgan adaptiv algoritm esa 29 ms hisoblash vaqtida 90.4% aniqlikni ta'minlab, tezlik va sifat o'rtasida optimal muvozanatni ko'rsatdi. Bu esa algoritmlarni baholashda yagona mezon emas, balki kompleks yondashuv zarurligini tasdiqlaydi.

Xulosa qilib aytganda, interpolatsiya algoritmlarini ishlab chiqishda asosiy e'tibor strukturaviy invariantlarni saqlashga qaratilishi zarur, chunki aynan shu omil OCR tizimlari samaradorligini belgilaydi. Amaliy jihatdan adaptiv interpolatsiya algoritmlarini OCR tizimlariga integratsiya qilish hujjatlarni avtomatik qayta ishlash aniqligini oshiradi va inson omiliga bog'liqlikni kamaytiradi. Kelgusida esa interpolatsiya va sun'iy intellekt yondashuvlarini birlashtirish orqali yanada yuqori samaradorlikka erishish mumkin.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. UNCTAD. Digital Economy Report 2024: Shaping an Environmentally Sustainable and Inclusive Digital Future. United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), Geneva, 2024.
2. Smith R. An Overview of the Tesseract OCR Engine. Proceedings of the Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), IEEE Computer Society, Curitiba, Brazil, 2007, pp. 629–633.
3. IDC. The Digitization of the World: From Edge to Core (Data Age 2025). International Data Corporation (IDC), Framingham, MA, USA, 2018.
4. NVIDIA. AI and Data Processing Trends: Accelerating Data-Centric Computing in the Era of Artificial Intelligence. NVIDIA Technical Report, Santa Clara, CA, USA, 2023.
5. DataReportal. Digital 2025: Uzbekistan – Insights into Internet Usage, Mobile Connectivity, and Digital Adoption. Kepios & DataReportal, 2025.