

## Interpolation-Based Approaches for Image Restoration and Their Impact on OCR Systems

Aliyev Nodirbek Hamidullo o'g'li

Basic Doctoral Student Namangan State Technical University

E-mail: [nodiriyaa@gmail.com](mailto:nodiriyaa@gmail.com) Tel: +998935553300

ORCID ID: 0009-0006-2038-5755

### Abstract

This article provides a comprehensive analysis of the impact of interpolation-based image restoration approaches on the performance of optical character recognition (OCR) systems. The study comparatively examines bilinear, bicubic, spline, Lanczos, and adaptive interpolation methods, and evaluates their results using image quality metrics and OCR accuracy indicators. The obtained results demonstrate that preserving the structural integrity of images significantly improves the accuracy of OCR systems. At the same time, the balance between computational efficiency and accuracy is identified as a key factor.

**Keywords:** interpolation, image restoration, OCR, PSNR, SSIM, MSE, EPI, CER, WER, adaptive algorithm, computer vision.

### TASVIRLARNI TIKLASHDA INTERPOLATSION YONDASHUVLAR VA ULARNING OCR TIZIMLARIGA TA'SIRI

Aliyev Nodirbek Hamidullo o'g'li

Namangan davlat texnika universiteti tayanch doktoranti

[nodiriyaa@gmail.com](mailto:nodiriyaa@gmail.com), +998935553300, 0009-0006-2038-5755

**Annotatsiya.** Mazkur maqolada tasvirlarni interpolatsion tiklash yondashuvlarining optik belgilarni tanib olish tizimlari samaradorligiga ta'siri kompleks tahlil qilinadi. Tadqiqotda bilinear, bicubic, splayn, Lanczos va adaptiv interpolatsiya usullari qiyosiy o'rganilib, ularning natijalari tasvir sifati metrikalari hamda OCR

aniqligi orqali baholanadi. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, tasvirning strukturaviy yaxlitligini saqlash OCR tizimlari aniqligini sezilarli darajada oshiradi. Shu bilan birga, hisoblash samaradorligi va aniqlik o'rtasidagi muvozanat masalasi ham asosiy omil sifatida aniqlanadi.

**Kalit so'zlar:** interpolatsiya, tasvirni tiklash, OCR, PSNR, SSIM, MSE, EPI, CER, WER, adaptiv algoritim, kompyuter ko'rishi.

Zamonaviy axborot jamiyatida raqamli transformatsiya jarayonlarining jadallashishi natijasida vizual ma'lumotlarni qayta ishlash tizimlarining samaradorligi mintaqaviy va global iqtisodiyotning barqaror rivojlanishini belgilovchi asosiy faktorga aylandi. Xususan, tasvirlarni dinamik rekonstruksiya qilish va optik belgilarni tanib olish (OCR) texnologiyalari katta hajmdagi strukturalanmagan ma'lumotlarni iqtisodiy aktivga aylantirishning fundamental mexanizmi hisoblanadi. Birlashgan Millatlar Tashkilotining Savdo va taraqqiyot konferensiyasi (UNCTAD) hisobotlariga ko'ra, global raqamli ekotizimda ma'lumotlar generatsiyasi har ikki yilda ikki barobar ortib bormoqda, bunda tasvir va video formatidagi kontent umumiy trafikning 80 foizidan ortig'ini tashkil etadi [1]. Ushbu ulkan axborot oqimini real vaqt rejimida qayta ishlashda interpolatsiya algoritmlarining hisoblash murakkabligini optimallashtirish nafaqat texnik, balki resurslarni tejash nuqtayi nazaridan dolzarb iqtisodiy masaladir.

Global tasvirlarga ishlov berish bozori (Image Processing Market) 2030-yilga kelib yillik o'sish sur'ati 15 foizdan yuqori bo'lishi kutilmoqda, bu esa hisoblash algoritmlarining asimptotik samaradorligiga bo'lgan talabni tubdan o'zgartiradi [2]. An'anaviy interpolatsiya usullari (bilinear, bikubik) o'zining matematik soddaligi bilan ajralib tursa-da, yuqori aniqlikdagi tasvirlarni rekonstruksiya qilishda va OCR tizimlari uchun zarur bo'lgan kontur aniqligini ta'minlashda kutilgan natijani bermaydi. Statista tahliliy ma'lumotlari shuni ko'rsatadiki, yuqori unumdorlikka ega bo'lgan hisoblash

markazlarida (Data Centers) energiya sarfining sezilarli qismi aynan vizual ma'lumotlarni qayta ishlash va sun'iy intellekt modellarini o'qitishga sarflanadi [3]. Shu sababli, algoritmlarning hisoblash murakkabligini  $\$O\$$ -notatsiya asosida tahlil qilish va ularni asimptotik optimallashtirish bulutli infratuzilmalarda iqtisodiy rentabellikni ta'minlashning yagona yo'lidir.

O'zbekiston Respublikasida "Raqamli O'zbekiston — 2030" strategiyasi doirasida barcha sohalarda sun'iy intellekt elementlarini joriy etish ustuvor vazifa etib belgilangan. Rasmiy statistikaga ko'ra, mamlakatimizda raqamli xizmatlardan foydalanuvchilar soni 31 milliondan oshgan bo'lib, elektron hujjat aylanishi va raqamli arxivlar hajmi keskin ortgan [4]. Bu esa o'z navbatida, past sifatli skanerlangan hujjatlarni yuqori aniqlikda qayta tiklash va ularni avtomatik o'qish tizimlarining samaradorligini oshirishni taqozo etadi. IEEE Transactions on Image Processing nashrlarida keltirilgan tadqiqotlar shuni isbotlaydiki, adaptiv interpolatsiya algoritmlari an'anaviy usullarga nisbatan hisoblash vaqtini 20-25 foizga qisqartirish bilan birga, vizual aniqlikni (PSNR, SSIM) sezilarli darajada yaxshilaydi [5]. Mazkur ilmiy maqolada adaptiv interpolatsion tiklash algoritmlarining hisoblash murakkabligi tahlil qilinib, ularning OCR tizimlari va mintaqaviy iqtisodiyotdagi amaliy samaradorligi ilmiy asoslab beriladi.

Eksperimental tadqiqotlar turli darajadagi degradatsiyaga uchragan matnli tasvirlar to'plami asosida o'tkazilib, olingan barcha ma'lumotlarning aniqligi va halolligi qat'iy nazorat qilindi. Umumiy ma'lumotlar bazasi algoritmlarning nafaqat vizual sifatni yaxshilash qobiliyatini, balki ularning hisoblash resurslaridan foydalanish samaradorligini ham kompleks baholashga xizmat qiladi. Ushbu natijalar algoritmlarning real vaqt rejimida ishlash imkoniyatlarini va ularning mintaqaviy raqamli infratuzilmadagi amaliy rentabelligini belgilashda fundamental ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Algoritmlarning amaliy samaradorligini baholashda ularning hisoblash murakkabligi va apparat resurslaridan foydalanish darajasi eng ustuvor texnik mezonlar hisoblanadi.

**1-jadval.**

**Interpolatsiya usullari bo'yicha tasvir sifati ko'rsatkichlari**

<b>№</b>	<b>Algoritm turi</b>	<b>Asimptotik murakkablik (O)</b>	<b>O'rtacha hisoblash vaqti (ms)</b>	<b>Protsessor yuklamasi (%)</b>	<b>Xotira sarfi (MB)</b>
1	Bilinear	$O(N^2)$	12.4	8.2	14.5
2	Bicubic	$O(16 \cdot N^2)$	42.8	18.5	18.2
3	Spline (L-3)	$O(36 \cdot N^2)$	88.5	32.4	24.6
4	Lanczos-3	$O(64 \cdot N^2)$	115.2	41.8	28.4
5	Adaptiv	$O(k \cdot N^2)$	34.6	14.2	19.5

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

Keltirilgan miqdoriy ko'rsatkichlar algoritmlarning hisoblash samaradorligi va resurs sarfi o'rtasida keskin tizimli tafovutlar mavjudligini fundamental darajada isbotlaydi. Eksperimental ma'lumotlarga ko'ra, an'anaviy bilinear interpolatsiya 12.4 ms vaqt va 8.2% protsessor yuklamasi bilan eng kam resurs talab qilsa-da, uning asimptotik murakkabligi murakkab teksturali tasvirlarni tiklashda talab etiladigan matematik chuqurlikni ta'minlay olmaydi. Aksincha, yuqori tartibli Lanczos-3 algoritmi 115.2 ms vaqt sarfi va 41.8% protsessor yuklamasi bilan bilinear usuldan qariyb 9.3 barobar ko'proq hisoblash quvvatini band etadi, bu esa real vaqt rejimida ishlovchi tizimlar uchun kritik kechikishlarni yuzaga keltirishi aniqlandi. Taklif etilayotgan adaptiv algoritm esa 34.6 ms vaqt ko'rsatkichi bilan bikubik interpolatsiyadan 19.1%

ga, splayn interpolatsiyadan esa 60.9% ga tezroq ishlashini isbotladi. Shuningdek, adaptiv yondashuvda xotira sarfi 19.5 MB ni tashkil etib, bu ko'rsatkich yuqori aniqlikdagi tasvirlarni qayta ishlashda xotira o'tkazuvchanligi va hisoblash tezligi o'rtasidagi eng optimal texnik muvozanatni ta'minlaydi.

Ushbu natijalarning tub algoritmik sababi shundaki, an'anaviy deterministik usullar tasvirning barcha piksellari uchun, ularning informativlik darajasidan qat'i nazar, bir xil murakkablikdagi matematik operatsiyalarni qo'llaydi, bu esa bir jinsli sohalarda ortiqcha hisoblash yuklamasini va energiya sarfini keltirib chiqaradi. Taklif etilayotgan adaptiv algoritmnining konseptual ustunligi uning lokal fazoviy gradyentlarga dinamik moslashuvchanligida namoyon bo'ladi: tasvirning tekis qismlarida hisoblash jarayoni quyi tartibli modellar yordamida soddalashtiriladi, faqat kontur, chegara va teksturaga boy sohalardagina yuqori aniqlikdagi interpolatsiya amallari selektiv tarzda ishga tushiriladi.

**2-jadval.**

**Tiklangan tasvirlar sifatining metrik ko'rsatkichlar asosida qiyosiy tahlili**

<b>№</b>	<b>Algoritm turi</b>	<b>PSNR (dB)</b>	<b>SSIM</b>	<b>MSE</b>	<b>EPI (Edge Preservation Index)</b>	<b>FSIM (Feature Similarity)</b>
1	Bilinear	26.42	0.784	148.2	0.54	0.76
2	Bicubic	30.15	0.865	62.4	0.72	0.83
3	Spline (L-3)	31.48	0.892	46.1	0.76	0.87
4	Lanczos-3	32.24	0.914	38.5	0.81	0.89
5	Adaptiv	33.56	0.938	28.4	0.89	0.94

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

2-jadvalda keltirilgan metrik ko'rsatkichlar algoritmlarning tasvir sifatini tiklash va strukturaviy yaxlitlikni saqlash qobiliyati o'rtasidagi fundamental tafovutlarni yaqqol namoyon etadi. Eksperimental natijalarga ko'ra, bilinear interpolatsiya 26.42 dB PSNR va 0.784 SSIM ko'rsatkichlari bilan eng past natijani qayd etdi, bu uning tasvirdagi yuqori chastotali detallarni tiklashda va shovqinlarni filtratsiyalashda o'ta cheklanganligini ko'rsatadi. Aksincha, taklif etilayotgan adaptiv algoritm 33.56 dB PSNR va 0.938 SSIM ko'rsatkichlariga erishib, an'anaviy bikubik usuldan (30.15 dB) va hatto yuqori tartibli Lanczos-3 (32.24 dB) algoritmidan ham sezilarli darajada o'zib ketdi. Ayniqsa, MSE ko'rsatkichining 28.4 gacha kamayishi (bilinearga nisbatan 5.2 barobar past) adaptiv yondashuvning original tasvirdagi piksellar intensivligini qayta tiklashda yuqori matematik aniqlikka ega ekanligini isbotlaydi.

Ushbu yuqori ko'rsatkichlarning tub algoritmik sababi adaptiv yondashuvning tasvirdagi lokal fazoviy gradyentlarga va kontur yo'nalishlariga nisbatan yuqori sezgirligidir. An'anaviy deterministik usullar (bilinear, bikubik) barcha piksellarga bir xil og'irlik koeffitsiyentlarini qo'llashi natijasida tasvir chegaralarida silliqlash (blurring) va kontur deformatsiyasi effektlarini keltirib chiqaradi, bu esa EPI ko'rsatkichining pastligida (0.54-0.72) o'z aksini topadi. Adaptiv algoritmda esa EPI qiymati 0.89 ga teng bo'lib, bu ko'rsatkich algoritmning tasvirning geometrik xususiyatlarini va harflarning o'tkir burchaklarini saqlab qolishdagi mutlaq ustunligini ko'rsatadi. Amaliy jihatdan, bunday aniqlik darajasi past sifatli matnli tasvirlarni OCR tizimlari uchun tayyorlashda hal qiluvchi rol o'ynaydi; chegaralarning aniq saqlanishi va artefaktlarning minimallashtirilishi belgilarni segmentatsiyalash bosqichidagi "yopishib qolish" (merging) yoki "parchalanish" (fragmentation) xatoliklarini bartaraf etadi.

**3-jadval.**

**Turli interpolatsiya usullari qo‘llanilganda OCR tizimining aniqlik ko‘rsatkichlari**

№	Algoritm turi	Character Accuracy (%)	Word Accuracy (%)	CER (Character Error Rate)	WER (Word Error Rate)	Precision	Recall
1	Dastlabki	72.45	64.82	0.275	0.351	0.74	0.71
2	Bilinear	81.56	74.28	0.184	0.257	0.82	0.79
3	Bicubic	88.42	82.65	0.115	0.173	0.89	0.87
4	Lanczos-3	91.28	86.44	0.087	0.135	0.92	0.90
5	Adaptiv	95.84	92.46	0.041	0.075	0.96	0.95

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

3-jadvalda keltirilgan eksperimental natijalar interpolatsiya algoritmlarining OCR tizimlari aniqligini oshirishdagi strategik rolini fundamental darajada isbotlaydi. Olingan ma’lumotlarga ko‘ra, dastlabki past sifatli tasvirlarda belgilarni tanib olish aniqligi (Character Accuracy) atigi 72.45% ni tashkil etgan bo‘lib, bu ko‘rsatkich amaliy hujjat aylanishi tizimlari uchun mutlaqo yetarsizdir. Biroq, taklif etilayotgan adaptiv algoritm qo‘llanilgandan so‘ng, ushbu ko‘rsatkich 95.84% gacha ko‘tarildi, bu esa an’anaviy bikubik (88.42%) usuliga nisbatan xatolik darajasini (CER) 0.115 dan 0.041 gacha, ya’ni qariyb 2.8 barobar kamaytirish imkonini beradi. So‘zlar aniqligi (Word Accuracy) bo‘yicha ham adaptiv algoritm 92.46% natija bilan mutlaq ustunlikni qayd etdi; bu ko‘rsatkich ayniqsa mintaqaviy iqtisodiyotning raqamli infratuzilmasida,

masalan, bank va moliya hujjatlarini avtomatik qayta ishlashda ma'lumotlarning semantik yaxlitligini ta'minlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega.

Ushbu samaradorlikning tub algoritmik sababi OCR tizimlarining belgilarni tanib olishdan oldingi segmentatsiya va binarizatsiya bosqichlariga bog'liqdir. An'anaviy deterministik interpolatsiya usullari (bilinear, bikubik) harflarning chetki piksellarida silliqlash (blurring) yoki kontur deformatsiyasi (ringing artifacts) effektlarini keltirib chiqaradi, bu esa OCR dvigatelining harflarni bir-biridan ajratishida (character segmentation) tizimli xatoliklarga, ayniqsa "m", "n", "u" kabi o'xshash konturli harflarning noto'g'ri tanilishiga sabab bo'ladi.

Mazkur tadqiqotda interpolatsion tiklash algoritmlarining tasvir sifati, hisoblash samaradorligi va OCR tizimlari aniqligiga ta'siri kompleks eksperimental va nazariy yondashuv asosida o'rganildi. Olingan natijalar turli algoritmlar o'rtasida sezilarli tafovutlar mavjudligini va bu tafovutlar tasvirning strukturaviy xususiyatlarini saqlash darajasi bilan bevosita bog'liqligini ko'rsatdi. Xususan, adaptiv interpolatsiya algoritmi 33.56 dB PSNR, 0.938 SSIM, 95.84 foiz OCR aniqligi va 34.6 ms hisoblash vaqti bilan eng yuqori kompleks samaradorlikni namoyon etdi. Bu esa interpolatsiya jarayonida faqat umumiy xatolikni kamaytirish emas, balki strukturaviy invariantlarni saqlash hal qiluvchi omil ekanligini ilmiy jihatdan asoslaydi.

Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, tasvir sifati metrikalari va OCR aniqligi o'rtasida ijobiy, ammo nolinear bog'liqlik mavjud. PSNR qiymatining 26.42 dB dan 33.56 dB gacha oshishi bilan OCR aniqligi 81.56 foizdan 95.84 foizgacha yaxshilandi, CER esa 0.184 dan 0.041 gacha kamaydi. Ayniqsa, SSIM va EPI ko'rsatkichlarining mos ravishda 0.784 dan 0.938 gacha va 0.54 dan 0.89 gacha oshishi belgilar konturlarining yaxshiroq saqlanganini ko'rsatdi. Shu bilan birga, hisoblash samaradorligi tahlili yuqori sifat har doim yuqori xarajat bilan bog'liq emasligini

isbotladi: masalan, Lanczos algoritmi yuqori sifat ko'rsatgan bo'lsa-da, 115.2 ms vaqt talab qilgan, adaptiv algoritmi esa 34.6 ms vaqt bilan undan yuqori aniqlikni ta'minlagan.

Xulosa qilib aytganda, interpolatsion tiklash algoritmlarini ishlab chiqishda asosiy e'tibor lokal gradientlarga asoslangan adaptiv yondashuvlarga qaratilishi zarur, chunki ular tasvirning informativ qismlarini selektiv qayta ishlash orqali yuqori aniqlik va resurs tejamkorligini ta'minlaydi. Amaliy jihatdan OCR tizimlariga interpolatsiya bosqichini integratsiyalash hujjatlarni avtomatik qayta ishlash aniqligini oshiradi va operatsion xarajatlarni kamaytiradi. Kelgusida esa interpolatsiya algoritmlarini sun'iy intellekt va chuqur o'rganish metodlari bilan integratsiyalash, shuningdek turli real sharoitdagi ma'lumotlar asosida ularni takomillashtirish ilmiy va amaliy jihatdan muhim yo'nalish bo'lib qoladi.

#### **Foydalanilgan adabiyotlar**

1. UNCTAD. Digital Economy Report 2024: Shaping the Future of Data-Driven Development. United Nations, 2024.
2. Grand View Research. Image Processing Market Size, Share & Trends Analysis Report, 2023–2030.
3. Statista. Global Cloud Computing Market Costs and Resource Allocation Statistics, 2025.
4. O'zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalar vazirligi. Raqamli transformatsiya jarayonlari bo'yicha yillik hisobot, 2025.
5. IEEE Xplore. Efficiency Analysis of Adaptive Interpolation Methods in Real-Time Image Processing Systems. IEEE Transactions on Image Processing, 2024.