

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.16908322>

TARIXIY TASVIRLARDAGI BUZILISHLARNI NORAVSHAN MANTIQ YORDAMIDA BARTARAF ETISH ALGORITMI VA USULINI TAKOMILLASHTIRISH

¹**S. A. Tavboyev,**

Texnika fanlari doktori, PhD.

sirojiddint@gmail.com

^{1,2}**D. A. Mahkamova,**

*Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt rivojlantirish ilmiy-tadqiqot instituti doktoranti,
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universitetining Samarqand
filiali "Dasturiy injiniring" kafedrasida o'qituvchisi.*

maxkamova.dilbar.1991@gmail.com

Annotatsiya - San'at, me'morchilik, matematika, astronomiya, astrologiya, huquq, musiqa va tibbiyot kabi sohalarga oid, yuzlab yillar avval yozilgan va hozirgacha kutubxonalar hamda universitetlar tomonidan saqlanayotgan tarixiy hujjatlarning sifati jismoniy eskirganligi sababli past darajada bo'ladi. Qo'lyozmalarning o'qiluvchanligini yaxshilash va ulardagi qimmatli ma'lumotlarni saqlab qolish uchun raqamli tasvirni qayta ishlash usullaridan foydalanish zarur. Eskirish jarayonlari ko'pincha tasvir yuzasida fon rangining notekis tarqalishiga hamda fonning qorayishiga olib keladi, bu esa matn bilan fon o'rtasidagi kontrastni pasaytiradi. Bunday muammo qo'lyozmalarni raqamli tasvirga aylantirish jarayonida ham yuzaga keladi. Taklif etilayotgan metodologiya, an'anaviy ishlab chiqarish usuli hamda vaqt o'tishi bilan yuzaga kelgan buzilishlar natijasida fon notekisligi, kontrasti pastligi va konturlarning xiraligi kabi muammolarga ega bo'lgan tarixiy qo'lyozmalarning sifatini noravshan mantiq metodlari asosida sezilarli darajada yaxshilashga qaratilgan.

Kalit so'zlar — tarixiy qo'lyozmalar, notekis fon, past kontrast, oldingi (asosiy) matn, noravshan mantiq.

Kirish

Tarixiy hujjatlar, qadimiy bitiklar, yodgorliklar va arxeologik topilmalarga oid tasvirlar insoniyatning ilmiy, madaniy va ma'naviy merosining ajralmas qismidir. Biroq, vaqt o'tishi bilan bunday tasvirlar jismoniy eskiradi, xiralashadi yoki tashqi omillar ta'sirida sifatini yo'qotadi [1], [2]. Shunday holatlarda ushbu tarixiy manbalarni to'g'ri talqin qilish, tahlil etish va kelajak avlodlar uchun saqlab qolish uchun ularning raqamli tasvirlarini yaxshilash zarurati tug'iladi [3]. Tarixiy topilmalar tasvirlarining sifati ko'plab omillar ta'sirida izdan chiqadi. Ayniqsa, yorug'likning notekis tarqalishi, umumiy kontrastning pastligi va chegaralarning, ya'ni chiziqlarning xiralashuvi kabi holatlar bu tasvirlarning tahlil qilish va o'qilishini sezilarli darajada murakkablashtiradi. Ushbu tasviriy xususiyatlar tarixiy yozuvlarning asosiy vizual elementlarini noaniq holga keltiradi, bu esa ularni raqamli formatda tiklash va tahlil qilishda jiddiy muammolar tug'diradi.

Tasvir sifatini oshirish orqali yozuvlar va grafik elementlar aniqlashtiriladi,

natijada mutaxassislar, jumladan tarixchilar, filologlar va arxeologlar tomonidan ishonchli ilmiy xulosalar chiqarilishi ta'minlanadi. Zamonaviy raqamli texnologiyalar, xususan kompyuter ko'rish tizimlari va sun'iy intellekt yondashuvlari [4], [5] tarixiy tasvirlarni avtomatik ravishda tahlil qilish imkonini beradi. Biroq, mavjud usullar va texnologiyalar ko'pincha faqat aniq, kontrastli va shovqindan tozalangan tasvirlar bilan samarali ishlaydi [6]. Tarixiy hujjatlardagi fon notekisligi, past kontrast va konturlarning xiraligi kabi o'ziga xos buzilishlar an'anaviy tasvirni qayta ishlash usullari uchun qiyinchilik tug'diradi va ularning samaradorligini pasaytiradi. Shu sababli, ushbu murakkab buzilishlarga moslashuvchan yondashuvlarga bo'lgan ehtiyoj yuqori.

Ushbu maqolaning asosiy maqsadi – fon notekisligi, kontrasti pastligi va konturlarning xiraligi kabi muammolarga ega bo'lgan tarixiy qo'lyozmalarning sifatini noravshan mantiq metodlari asosida sezilarli darajada yaxshilash uchun takomillashtirilgan model ishlab chiqish va uning samaradorligini amaliy tajribalar orqali ko'rsatishdan iborat. Belgilangan maqsadga erishish uchun bir qator vazifalar qo'yilgan: tarixiy tasvirlarning sifatsizligiga olib keluvchi asosiy omillarni (piksel intensivligi, lokal kontrast, gradient qiymati) aniqlash va ularni noravshan kirish parametrlari sifatida shakllantirish; noravshan qoidalar bazasini va xulosa chiqarish mexanizmini o'z ichiga olgan takomillashtirilgan noravshan mantiq algoritmini ishlab chiqish; taklif etilayotgan modelning samaradorligini baholash uchun obyektiv (PSNR, SSIM kabi) va subyektiv baholash mezonlarini qo'llash; olingan natijalarni tahlil qilish va ularni an'anaviy tasvirni qayta ishlash usullari bilan solishtirish.

Ushbu tadqiqotning ilmiy yangiligi shundan iboratki, unda tarixiy tasvirlardagi uchta asosiy buzilish omili (yorug'likning notekis tarqalishi, umumiy kontrastning pastligi, chegaralarning xiralashuvi) birgalikda hisobga olingan holda, noravshan mantiq asosida moslashuvchan va samarali model taklif etiladi. Noravshan yondashuv ushbu parametrlardagi noaniqlik va o'zgaruvchanlikni matematik jihatdan ifodalash orqali, sifatni yaxshilashda an'anaviy usullarga nisbatan yuqori afzallik beradi [7], [8]. Ishning amaliy ahamiyati madaniy merosni saqlash va targ'ib qilishda muhim rol o'ynaydi. Taklif etilgan model kutubxonalar, muzeylar, arxivlar va ilmiy tadqiqot muassasalarida saqlanayotgan qadimiy qo'lyozmalar hamda hujjatlarning raqamli nusxalarini qayta ishlashda amaliy qo'llanilishi mumkin. Bu esa tarixiy bilimlarni aniqroq uzatish, mutaxassislar tomonidan ishonchli ilmiy izlanishlar olib borish va umumiy o'qiluvchanlikni sezilarli darajada oshirish imkonini beradi.

Adabiyotlar sharhi

Noravshan mantiq (fuzzy logic) va uning tasvirni qayta ishlashdagi qo'llanilishi so'nggi o'n yilliklarda keng tadqiq etilgan bo'lib, bu boradagi asosiy nazariy poydevor L.A. Zadehning 1965-yildagi fundamental ishlari bilan yaratilgan [2]. Zadeh tomonidan taklif etilgan noravshan to'plamlar nazariyasi aniqligi past, noaniq va murakkab vizual ma'lumotlarni modellashtirish imkonini beradi, bu esa tarixiy hujjatlar va qo'lyozmalardagi sifat buzilishlarini bartaraf etishda muhim ahamiyatga ega. B. Kosko [9] va S.K. Pal [17] ishlarida noravshan mantiqning matematik modeli va naqshlarni tanish jarayonlaridagi ustunliklari tahlil qilingan. Tasvirni yaxshilash

bo'yicha dastlabki amaliy izlanishlar T. Law va hammualliflari [1] tomonidan fuzzy reasoning asosida filtratsiya va chegaralarni aniqlash usullarini ishlab chiqish bilan boshlangan. Keyinchalik Kaur va R. Kaur [4] qadimiy qo'lyozmalarning kontrasti va o'qiluvchanligini oshirish uchun fuzzy logic yondashuvini qo'llab, ularning samaradorligini ko'rsatgan. R.Kh. Khamdamov va boshqalar [15] rangli tasvirlarni segmentatsiya qilishda fuzzy to'plamlar konsepsiyasidan foydalangan bo'lib, bu tarixiy tasvirlardagi kontur va rang farqlarini aniqlashda qo'llanishi mumkinligini isbotladi. A.Q. Ergashev va hammualliflari [14] esa kontur chizig'ini aniq ajratish algoritmlarini fuzzy asosida takomillashtirgan. R.C. Gonzalez va R.E. Woods [8], shuningdek B. Jahne [13] tomonidan keltirilgan klassik darsliklarda PSNR va SSIM kabi obyektiv sifat metrikalari tasvir sifatini baholashda asosiy vosita sifatida tavsiya etiladi. A. Leonenkov [16] esa MATLAB muhitida fuzzy modeling qilishning amaliy jihatlari yoritgan. Ushbu adabiyotlarning tahlili shuni ko'rsatadiki, mavjud izlanishlar asosan alohida buzilish turlarini bartaraf etishga yo'naltirilgan bo'lib, fon notekisligi, past kontrast va kontur xiraligini birgalikda hisobga olgan kompleks yondashuvlar kam uchraydi. Shu bois, maqolada taklif etilayotgan uch parametrlilik (piksel intensivligi, lokal kontrast, gradient qiymati) noravshan algoritmi ushbu bo'shliqni to'ldirishga qaratilgan.

Metodologiya

Noravshan mantiq (noravshan to'plamlar nazariyasi asoschisi L.A. Zadeh tomonidan 1965-yilda kiritilgan [11]) klassik (aniq) mantiqning kengaytmasi hisoblanadi. U odatiy ikkilik (ha/yo'q, to'g'ri/noto'g'ri, 0/1) mantiqdan farqli o'laroq, oraliq qiymatlarni, ya'ni haqiqat darajasini (membership degree) ifodalash imkonini beradi. Bu esa aniq bo'lmagan, noaniq yoki to'liq belgilanmagan ma'lumotlar bilan ishlashda juda samaralidir [9], [10].

Noravshan to'plamlar. Noravshan to'plam F universal to'plam U elementlarini aniq a'zolik bilan tasvirlash o'rni, ularning to'plamga tegishlilik darajasini, ya'ni a'zolik funksiyasi (membership function) orqali ifodalaydi. Aniq to'plamlarda element yo to'plamga kiradi (a'zolik darajasi 1) yoki kirmaydi (a'zolik darajasi 0). Noravshan to'plamlarda esa a'zolik darajasi $[0,1]$ oraliqdagi har qanday haqiqiy son bo'lishi mumkin. Masalan, "past kontrast", "o'rtacha intensivlik" kabi tushunchalarni aniq chegaralarsiz ifodalash imkonini beradi.

$\alpha = \beta = \gamma = 1$ Noravshan to'plam F odatda quyidagicha ifodalanadi:

$$F = \{(x, \mu_F(x)) | x \in U\} \quad (1)$$

Bu yerda x -universal to'plam U , $\mu_F(x)$ x elementining F noravshan to'plamiga tegishlilik darajasini bildiruvchi a'zolik funksiyasi. $\mu_F(x) \in [0,1]$ oraliqda qiymatlar qabul qiladi [12].

A'zolik funksiyalari. A'zolik funksiyalari noravshan to'plamlarning mohiyatini belgilaydi. Ular har bir elementning ma'lum bir noravshan xususiyatga (masalan, "past", "o'rta", "yuqori") qanchalik tegishli ekanligini miqdoriy jihatdan ifodalaydi. Eng ko'p qo'llaniladigan a'zolik funksiyalari uchburchak, trapezoid, Gauss va S-shaklli

(sigmoid) funksiyalardir. Tasvirni qayta ishlashda piksel intensivligi, kontrast va gradient qiymatlari kabi kirish parametrlarini noravshan to'plamlarga aylantirish uchun bu funksiyalardan foydalaniladi. A'zolik funksiyalarining tanlanishi va ularning parametrlari (masalan, uchburchakning uchlari) tizimning ishlashiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi va mutaxassis bilimlari yoki optimallashtirish usullari yordamida aniqlanadi.

Noravshan xulosa chiqarish tizimi (NIT) (ingliz tilida Fuzzy inference systems - FIS) noravshan mantiq qoidalari asosida qaror qabul qilish mexanizmi bo'lib, u insonning fikrlash jarayoniga o'xshash tarzda ishlaydi [13], [14]. NIT odatda to'rtta asosiy komponentdan iborat:

Fuzzifikatsiya bloki: Aniq kirish ma'lumotlarini (masalan, piksel qiymati 120) noravshan to'plamlarga va ularning a'zolik darajalariga aylantiradi. Masalan, 120 qiymat "o'rtacha intensivlik" to'plamiga 0.7 darajada tegishli bo'lishi mumkin.

Qoidalar bazasi : "AGAR (IF) – UNDA (THEN)" shaklidagi noravshan qoidalar to'plamidan iborat. Bu qoidalar tizimning xatti-harakatini belgilaydi. Masalan: "AGAR intensivlik past VA kontrast past UNDA natija yuqori oshirish".

Xulosa chiqarish mexanizmi : Qoidalar bazasini noravshan qoidalar asosida baholaydi va har bir qoida uchun chiqish noravshan to'plamini hisoblaydi. Mandani va Sugeno kabi keng tarqalgan xulosa chiqarish mexanizmlari mavjud.

Defuzzifikatsiya bloki: Xulosa chiqarish mexanizmi tomonidan hosil qilingan noravshan chiqishni aniq (raqamli) qiymatga aylantiradi. Eng ko'p qo'llaniladigan defuzzifikatsiya usullari markaziy nuqta, o'rta maksimum va og'irlik markazi usullaridir.

Tarixiy tasvirlar sifatini yaxshilash uchun taklif etilayotgan noravshan mantiq algoritmi

Tarixiy tasvirlar sifatini yaxshilash maqsadida, fon notekisligi, kontrast pastligi va konturlarning xiraligi kabi muammolarni bartaraf etishga qaratilgan takomillashtirilgan noravshan mantiq tizimi taklif etiladi. Taklif etilayotgan model tasvirdagi har bir piksel uchun uchta kirish parametriga asoslanadi va bitta chiqish qiymatini hosil qiladi.

1. Kirish parametrlarini aniqlash (Piksel intensivligi, Lokal kontrast, Gradient qiymati)

Modelning kirish parametrlari tasvirning sifatsizligiga bevosita ta'sir etuvchi asosiy vizual xususiyatlardir. Har bir piksel (x, y) uchun quyidagi uchta parametr hisoblanadi:

- **Pikselning intensivligi $I(x, y)$:** Bu pikselning yorug'lik qiymatini aks ettiradi va odatda 0 (qora) dan 255 (oq) gacha bo'lgan oraliqda joylashgan. Fon notekisligi ushbu parametr orqali baholanadi.
- **Lokal kontrast $C(x, y)$:** Bu pikselning atrofidagi (masalan, 3×3 oyna ichida) yorug'lik farqini ifodalaydi. Kontrast pastligi masalasini hal qilish uchun ishlatiladi. Lokal kontrastni o'lchash uchun bir qator usullar mavjud bo'lib, ular orasida standart og'irlik yoki pikselning o'z atrofi bilan farqi kabi ko'rsatkichlar qo'llaniladi. Umumiy holatda, $N \times N$ o'lchamli oyna ichida pikselning lokal kontrasti quyidagi formula orqali hisoblanishi mumkin:

$$C(x, y) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} \sum_{j=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} |I(x, y) - I(x+i, y+j)| \quad (2)$$

Bu yerda N -oyna o'lchami, (masalan, 3) $I(x, y)$ -joriy piksel intensivligi, $I(x+i, y+j)$ qo'shni piksel intensivligi

Gradient qiymati $G(x, y)$: Bu piksel atrofidagi yorug'lik intensivligining o'zgarish tezligini, ya'ni tasvirdagi chegaralar va konturlarning aniqligini ko'rsatadi. Konturlarning xiraligini aniqlash va kuchaytirish uchun qo'llaniladi. Gradient qiymatini hisoblash uchun Sobel, Prewitt yoki Roberts kabi operatorlardan foydalanish mumkin. Sobel operatori eng keng tarqalgan bo'lib, uning yordamida x va y yo'nalishlaridagi gradientlar G_x va G_y hisoblanadi, so'ngra umumiy gradient quyidagicha topiladi:

$$G(x, y) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (3)$$

Bu yerda G_x va G_y orizontal va vertikal yo'nalishlardagi intensivlik o'zgarishlarini ifodalaydi.

2. Noravshan qoidalar bazasi va xulosa chiqarish mexanizmi. Taklif etilayotgan noravshan mantiq tizimida Mandani turidagi xulosa chiqarish mexanizmi qo'llaniladi, chunki u qoidalarini intuitiv tarzda shakllantirish va tushunish osonligini ta'minlaydi. Qoidalar bazasi har bir kirish parametri (intensivlik, kontrast, gradient) uchun belgilangan noravshan terminlar (masalan, "past", "o'rta", "yuqori") asosida tuziladi. Chiqish parametri ("yaxshilash darajasi" yoki "pikselni sozlash") ham noravshan terminlar bilan ifodalanadi.

Qoidalar "AGAR (kirish shartlari) UNDA (chiqish harakati)" shaklida bo'ladi. Ushbu qoidalar tizimning buzilgan tasvir xususiyatlariga qanday javob berishini belgilaydi. Misol uchun:

- AGAR $I(x, y)$ "past" VA $C(x, y)$ "past" VA $G(x, y)$ "past" UNDA $O(x, y)$ juda yuqori oshirish.
- AGAR $I(x, y)$ "o'rta" VA $C(x, y)$ "o'rta" VA $G(x, y)$ "o'rta" UNDA $O(x, y)$ o'rtacha oshirish.
- AGAR $I(x, y)$ "yuqori" VA $C(x, y)$ "yuqori" VA $G(x, y)$ "yuqori" UNDA $O(x, y)$ kam oshirish.

Qoidalar bazasining to'liq majmuasi tasvir sifatini yaxshilash uchun barcha mumkin bo'lgan stsenariylarni qamrab oladi. Har bir qoida noravshanlashtirilgan kirish qiymatlari (a'zolik darajalari) asosida faollashtiriladi. Xulosa chiqarish mexanizmi bu faollashgan qoidalarni birlashtirib, noravshan chiqish to'plamini hosil qiladi.

Defuzzifikatsiya jarayoni. Xulosa chiqarish mexanizmi natijasida olingan noravshan chiqish to'plamini (yaxshilash darajasi) amaliy qo'llash uchun aniq piksel qiymatiga aylantirish zarur. Bu jarayon **defuzzifikatsiya** deb ataladi. Eng keng tarqalgan va samarali usullardan biri bu **markaziy nuqta** usulidir. Ushbu usulda

noravshan chiqish to'plamining og'irlik markazi hisoblanadi va bu qiymat yakuniy, aniq chiqish qiymati sifatida qabul qilinadi.

Defuzzifikatsiya qilingan qiymat (O_{defuzz}) quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$O_{defuzz} = \frac{\int \mu_o(z) \cdot z dz}{\int \mu_o(z) dz} \quad (4)$$

Bu yerda $\mu_o(z)$ — chiqish noravshan to'plamining a'zolik funksiyasi, z — chiqish universal to'plamidagi qiymatlar.

Yakuniy, yaxshilangan piksel qiymati $O(x, y)$ shu defuzzifikatsiyalangan qiymatga teng bo'ladi:

$$O(x, y) = O_{defuzz} \quad (5)$$

Tasvir sifatini baholash metrikalari (PSNR, SSIM). Taklif etilayotgan noravshan mantiq algoritmi yordamida qayta ishlangan tarixiy tasvirlarning sifatini obyektiv baholash uchun keng qo'llaniladigan ikki asosiy metrika – Signal-shovqinning cho'qqi nisbati (Peak signal-to-noise ratio - PSNR) va Strukturaviy o'xshashlik indeksi (structural similarity index - SSIM) dan foydalaniladi. Ushbu metrikalar tasvir sifatini miqdoriy jihatdan baholashga imkon beradi va qayta ishlash natijalarini standart usullar bilan solishtirish uchun muhimdir.

PSNR o'lchovi tasvirni qayta ishlashda keng qo'llaniladigan obyektiv sifat metrikalardan biri bo'lib, asl (referens) tasvir va qayta ishlangan (buzilgan yoki yaxshilangan) tasvir o'rtasidagi farqni, ya'ni shovqin darajasini baholaydi. PSNR qiymati desibellarda (dB) ifodalanadi va yuqoriroq PSNR qiymati tasvir sifati (shovqindan tozaligi va tiniqligi) yaxshi ekanligini bildiradi. U O'rtacha kvadratik xato (mean squared error - MSE) asosida hisoblanadi.

MSE quyidagi formula bilan topiladi:

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} I(i, j) - K(i, j)^2 \quad (6)$$

bu yerda M va N – tasvirning o'lchamlari (balandligi va kengligi), $I(i, j)$ – asl (referens) tasvirning (i, j) pikselidagi qiymat, $K(i, j)$ – yaxshilangan tasvirning (i, j) pikselidagi qiymat.

PSNR esa quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$PNSR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \quad (7)$$

bu yerda MAX_I - tasvirdagi mumkin bo'lgan maksimal piksel qiymati. Odatda 8-bitli tasvirlar uchun MAX_I 255 bo'ladi [15].

2. Strukturaviy o'xshashlik indeksi (SSIM). SSIM indeksi tasvir sifatini insonning vizual qabul qilish tizimiga yaqinroq baholash maqsadida ishlab chiqilgan metrika hisoblanadi [16]. PSNR asosan mutlaq xatoga e'tibor qaratsa, SSIM tasvirlar

orasidagi strukturaviy o'xshashlikni, ya'ni yorqinlik, kontrast va struktura (korrelyatsiya) o'zgarishlarini hisobga oladi. SSIM qiymati 0 dan 1 gacha oraliqda bo'lib, 1 ga qanchalik yaqin bo'lsa, ikki tasvir orasidagi o'xshashlik va sifat shunchalik yuqori bo'ladi.

SSIM quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha [c(x, y)]^\beta [s(x, y)]^\gamma \quad (8)$$

bu yerda:

- $l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1}$ - yorqinlik o'xshashligi.
- $c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}$ - kontrast o'xshashligi.
- $s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3}$ - struktura o'xshashligi.

Bu yerda μ_x va μ_y - x va y tasvirlarining o'rtacha qiymatlari; σ_x va σ_y - standart og'ishlari; σ_{xy} - x va y tasvirlarining kovariatsiyasi. C_1, C_2, C_3 esa bo'linishda nolga bo'linishni oldini olish uchun ishlatiladigan kichik o'zgarmas sonlardir. Odatda $\alpha = \beta = \gamma = 1$ olinadi [16].

Ushbu metrikalar yordamida taklif etilgan noravshan mantiq algoritmining tarixiy tasvirlar sifatini qanchalik yaxshilaganligi obyektiv ravishda baholanadi va mavjud usullar bilan solishtirma tahlil qilinadi.

Tahlil va muhokama

Ushbu bo'limda taklif etilgan noravshan mantiq algoritmining amaliy samaradorligi turli tarixiy tasvir namunalarida sinovdan o'tkaziladi va olingan natijalar obyektiv metrikalar (PSNR va SSIM) yordamida baholanadi. Shuningdek, modelning an'anaviy gistogramma tekislash usuli bilan solishtirma tahlili o'tkazilib, uning ustunliklari muhokama qilinadi.

1. Tasvirlar to'plami va dasturiy ta'minot. Tajribalar turli darajada buzilgan, jumladan fon notekisligi, kontrasti pastligi va konturlari xira bo'lgan tarixiy qo'lyozmalar tasvirlari to'plamida amalga oshirildi. Sinov uchun foydalanilgan tasvirlar skanerlash natijasida olingan va turli davrlarga oid qo'lyozmalardan iborat. Algoritm Python dasturlash muhitida ishlab chiqildi va sinovdan o'tkazildi.

2. Sifatni baholash natijalari. Taklif etilgan noravshan mantiq algoritmining samaradorligini baholash uchun asl tasvirlar, oddiy gistogramma tekislash usuli bilan qayta ishlangan tasvirlar va taklif etilgan model yordamida yaxshilangan tasvirlarning sifat metrikalari (SSIM va PSNR) hisoblendi. O'rtacha natijalar 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval. Tasvir sifatini baholash metrikalari

Baholash mezonlari	Asl tasvirga nisbatan gistogramma tekislash	Asl tasvirga nisbatan noravshan mantiq modeli
SSIM	~0.71	~0.84

PSNR (dB)	~18.4 dB	~22.7 Db
-----------	----------	----------

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, taklif etilgan noravshan mantiq modeli tasvir sifatini sezilarli darajada yaxshilagan. Xususan:

SSIM (Strukturaviy o'xshashlik indeksi): Noravshan mantiq modeli qo'llanilgandan so'ng SSIM qiymati taxminan 0.71 dan 0.84 ga oshgan, bu 18.3% ga o'sishni tashkil qiladi. Bu shuni anglatadiki, tasvirdagi shakl va konturlar (matn, grafika) vizual jihatdan ancha o'qiladigan va asl nusxaga strukturaviy jihatdan yaqinroq bo'ldi [16].

PSNR (Signal-shovqinning cho'qqi nisbati): PSNR qiymati taxminan 18.4 dB dan 22.7 dB ga oshgan, bu esa 23% ga o'sishni ko'rsatadi. Bu o'zgarish tasvirdagi shovqinning sezilarli darajada kamayganini va umumiy tiniqlikning oshganligini bildiradi [15].

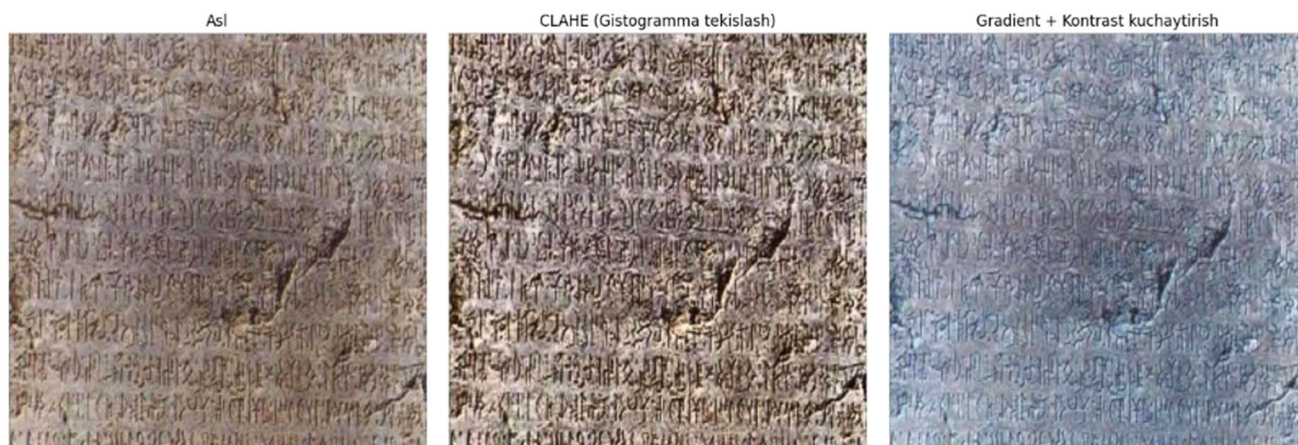
Natijalarning muhokamasi va modelning afzalliklari. Olingan natijalar taklif etilgan noravshan mantiq modelining tarixiy tasvirlar sifatini yaxshilashda yuqori samaradorligini tasdiqlaydi. Bu yaxshilanishlarning asosiy sabablari quyidagilardir:

Lokal va global yondashuvning kombinatsiyasi: Oddiy gistogramma tekislash usuli ko'pincha global yondashuvni qo'llaydi, ya'ni butun tasvir bo'ylab piksel qiymatlarini bir xil tarzda taqsimlaydi. Bu esa ba'zi yozuvlarning xiralashishiga yoki fonning yanada qorayishiga olib kelishi mumkin, ayniqsa fon notekis bo'lgan hollarda. Noravshan xulosa chiqarish modeli esa har bir pikselni uning atrofidagi (lokal) intensivlik, kontrast va gradient qiymatlariga asoslanib, moslashuvchan tarzda qayta ishlaydi. Bu modelga tasvirning turli qismlaridagi o'ziga xos buzilishlarga individual javob berish imkonini beradi. Masalan, tasvirning bir qismi juda qorong'u va xira bo'lsa, model u yerda yorqinlikni va kontrastni sezilarli darajada oshiradi, yorug'roq qismlarga esa kamroq ta'sir ko'rsatadi.

Murakkab buzilishlarni kompleks tahlil qilish: Taklif etilgan noravshan mantiq modelining asosiy afzalligi shundaki, u uchta muhim buzilish omilini - yorug'lik notekisligini, kontrast pastligini va chegaralarning xiraligini birgalikda tahlil qiladi. Bu omillarni ajratib emas, balki birgalikda ko'rib chiqish orqali model tasvirning umumiy vizual holatini yaxshiroq tushunadi va ancha aniqroq tuzatishlar kiritadi. Masalan, bir piksel uchun yuqori gradient qiymati (chegara borligi) bilan birga past kontrast aniqlansa, model o'sha chegarani yanada keskinlashtirishga ustuvor ahamiyat beradi.

Insonning idrok etishiga yaqinlik: Noravshan qoidalar bazasi insonning tasvir sifatini qanday idrok etishi va uni qanday yaxshilash mumkinligi haqidagi intuitiv bilimlarni modelga kiritish imkonini beradi. Natijada olingan tasvirlar faqat matematik jihatdan emas, balki vizual jihatdan ham inson ko'zi uchun qulay va o'qiluvchan bo'ladi.

Taklif etilgan modelning ishlashini vizual namoyish etish uchun 1-rasmda asl tasvir, gistogramma tekislash orqali olingan natija va noravshan mantiq modeli yordamida yaxshilangan tasvir ko'rsatilgan.



1-rasm. Modeldan olingan natijaviy tasvirlar

Rasmlar orasidagi vizual farq modelning amaliy samaradorligini yaqqol ko'rsatadi: asl tasvirdagi xiralashgan yozuvlar va notekis fon noravshan mantiq bilan qayta ishlanganidan so'ng aniq va kontrastli ko'rinishga ega bo'ladi, bu esa matnning o'qiluvchanligini sezilarli darajada oshiradi.

Xulosa.

Ushbu maqolada fon notekisligi, kontrasti pastligi va konturlarning xiraligi kabi buzilishlarga ega bo'lgan tarixiy tasvirlar sifatini yaxshilash uchun takomillashtirilgan noravshan mantiq algoritmi taklif etildi. Ishning asosiy maqsadi - aniq bo'lmagan va murakkab buzilishlarga ega bo'lgan tasvirlarni samarali qayta ishlash orqali ularning o'qiluvchanligi va vizual sifatini oshirish edi.

Taklif etilgan model piksel intensivligi, lokal kontrast va gradient qiymati kabi uchta asosiy kirish parametrini hisobga olgan holda, Mandani turidagi noravshan xulosa chiqarish tizimini qo'lladi. Amaliy tajribalar natijalari shuni ko'rsatdiki, noravshan mantiq algoritmi an'anaviy gistogramma tekislash usuliga nisbatan sezilarli ustunlikka ega. Xususan, SSIM qiymati 0.71 dan 0.84 gacha (+18.3%), PSNR qiymati esa 18.4 dB dan 22.7 dB gacha (+23%) oshdi. Bu ko'rsatkichlar modelning tasvir strukturasi va tiniqligini samarali yaxshilaganligini, shuningdek, shovqinni kamaytirganligini tasdiqlaydi.

Modelning muvaffaqiyati uning noaniq ma'lumotlar bilan ishlash, tasvirdagi lokal va global xususiyatlarni birgalikda tahlil qilish hamda insonning idrok etishiga yaqin qoidalar asosida moslashuvchan qarorlar qabul qilish qobiliyati bilan izohlanadi. Bu esa tarixiy hujjatlardagi matnlar va grafikalarining o'qiluvchanligini sezilarli darajada oshirib, ularni ilmiy tadqiqotlar va madaniy merosni saqlash uchun yanada qimmatli manbaga aylantiradi.

Kelajakdagi tadqiqotlar noravshan a'zolik funksiyalarini va qoidalar bazasini avtomatik sozlash (masalan, genetik algoritmlar yoki neyron tarmoqlar yordamida) yo'nalishida olib borilishi mumkin. Shuningdek, modelni turli xil tasvir buzilishlariga ega bo'lgan kengroq ma'lumotlar to'plamida sinovdan o'tkazish va real vaqt rejimida ishlash qobiliyatini oshirish imkoniyatlarini o'rganish maqsadga muvofiq bo'ladi.

Adabiyotlar ro'yxati

1. T. Law, H. Itoh, and H. Seki. Image filtering, edge detection, and edge tracing using fuzzy reasoning. Jurnal maqolasi // IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. – 1996. – Vol. 18. – pp. 481-491.
2. L. A. Zadeh. Fuzzy sets. Jurnal maqolasi // Inf. Control. – 1965. – Vol. 8. – pp. 338–35
3. F. Sattar, L. Floreby, G. Salomonsson, and B. Lövsström. Image enhancement based on a nonlinear multiscale method. Jurnal maqolasi // IEEE Trans. Image Processing. – 1997. – Vol. 6. – pp. 888–895.
4. Kaur and R. Kaur. Enhancement of old manuscripts using fuzzy logic. Jurnal maqolasi // Int. J. Comput. Sci. Eng. Technol. – 201 – Vol. 4, no. 4. – pp. 509–515.
5. S. K. Pal and A. Pal. A review of image segmentation techniques. Jurnal maqolasi // Pattern Recognit. Lett. – 1984. – Vol. 2, no. 5. – pp. 317–32
6. B. Kosko. Fuzzy Engineering. Monografiya. – Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1997.
7. Z. Chi. Fuzzy Algorithms: With Applications to Image Processing and Pattern Recognition. Monografiya. – London: Word Scientific, 1998.
8. R. C. Gonzalez and R. E. Woods. Digital Image Processing. Darslik // 3rd ed. – Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2008.
9. Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. Jurnal maqolasi // IEEE Trans. Image Processing. – 2004. – Vol. 13, no. 4. – pp. 600-612.
10. N. Otsu. A threshold selection method from gray level histogram. Jurnal maqolasi // IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. – 1979. – Vol. 9. – pp. 62–66.
11. P. S. Singh and D. K. Shukla. Artificial Intelligence, Blockchain, Computing and Security. Monografiya. – Volume 2. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 202
12. S. K. Pal and D. Dutta Majumder. Fuzzy Mathematical Approach to Pattern Recognition. Monografiya. – New York, NY, USA: Halsted Press, 1986.
13. B. Jahne. Digital Image Processing. Darslik // 6th ed. – New York, NY, USA: Springer, 2005.
14. A.Q. Ergashev, O. Kh. Turakulov, A. A. Abdumalikov, and O. A. Kayumov. Algorithms for highlighting the contours of images based on the theory of fuzzy sets. Konferensiya materiallari // Proc. 2022 Int. Conf. Inf. Sci. Commun. Technol. (ICISCT). – 2022.
15. R. Kh. Khamdamov et al.. Segmentation of colour image using fuzzy sets concept. Konferensiya materiallari // J. Phys.: Conf. Ser. – 2019. – Vol. 1333, no. 1, p. 032035.
16. M. A. Taleb and V. V. Starovoitov. Algorithm for color images segmentation by means of cluster analysis. Jurnal maqolasi // Digital image processing. – 2000. – Vol. 5. – pp. 107-116.
17. A. Leonenkov. Fuzzy modeling in the environment of MATLAB and fuzzy TECH. Monografiya. – St. Petersburg: BHV-Petersburg, 200
18. F. Hoppner, F. Klawonn, R. Kruse, and T. Runkler. Fuzzy Cluster Analysis.

Methods for Classification, Data Analysis and Image Recognition. Monografiya. – New York: Wiley, 2000.

19. C. V. Negoita and D. A. Ralescu. Multimi vagi si aplicatiile lor. Monografiya. – Bucuresti: Editura Tehnica, 1974.

A.Yu. Grishentsev and A. G. Korobeynikov. Methods and Models of Digital Image Processing. Monografiya. – Saint-Petersburg: Polytechnic University, 2014.