FRAKTAL GEOMETRIYA VA SUN’IY INTELLEKT ASOSIDA MATO NAQSHLARINI GENERATSIYALASH MODELLARI VA ALGORITMLARI

Shoniyozova Yulduz Qahramon qizi

Axborot texnologiyalari va menejment universiteti
E-mail: shoniyozovayulduz@gmail.com

KEYWORDS

fraktal geometriya, sun’iy intellekt, mato naqshlari, to‘qimachilik sanoati, generativ modellar, L-tizimlar, rekursiv algoritmlar, IFS, R-funksiya usuli (RFM), neyron tarmoqlar, kompyuter grafikasi, avtomatlashtirilgan dizayn, jakkard to‘quv, fraktal o‘lchov, raqamli bosma

ABSTRACT

Mazkur maqolada to‘qimachilik va yengil sanoat korxonalari uchun gazlama, gilam hamda liboslar dizaynida takrorlanuvchi va murakkab naqsh kompozitsiyalarini avtomatlashtirilgan tarzda loyihalash masalasi tadqiq qilingan. Tadqiqot doirasida fraktal geometriya tamoyillari — L-tizimlar (Lindenmayer tizimlari), takrorlanuvchi funksiyalar tizimi (IFS) hamda R-funksiyalar usuli (RFM) yordamida ikki o‘lchovli (2D) milliy va zamonaviy mato naqshlarining matematik modellari va rekursiv algoritmlari ishlab chiqilgan. Shu bilan birga, fraktal parametrlarni avtomatik tanlash, ranglar garmoniyasini shakllantirish va gazlama yuzasiga teksturaviy moslashtirish jarayonlarida sun’iy intellekt (SI) modellari, xususan, generativ neyron tarmoqlar (GAN, VAE) hamda chuqur o‘rganishga asoslangan estetik optimallashtirish mexanizmlari integratsiya qilindi. Ishlab chiqilgan matematik va algoritmik ta’minot asosida yaratilgan «Fraktal dizayn» dasturiy majmuasi mato naqshlarini avtomatik generatsiyalash, ularning fraktal o‘lchamlarini (FO‘) aniqlash hamda elektron jakkard dastgohlari va raqamli to‘qimachilik printerlari uchun vektorli va rastrli formatlarda eksport qilish imkonini beradi. Eksperimental natijalar taklif etilgan gibrid model va algoritmlar yordamida dizayn yaratish vaqtini 3-4 baravarga qisqartirish, gazlama kompozitsiyalarining rang-barangligi va estetik jozibadorligini sezilarli darajada oshirish hamda ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish mumkinligini ko‘rsatdi.

Kirish. Jahonda fraktallar nazariyasining matematik jihatlarini tadqiq etish, tabiiy jarayonlar va murakkab tuzilmalarni kompyuter grafikasi yordamida tavsiflash hamda ularni amaliy sohalarga joriy qilish zamonaviy axborot texnologiyalarining eng faol rivojlanayotgan yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Ayniqsa, o‘z-o‘ziga o‘xshashlik va kasr o‘lchamlik (Hausdorff o‘lchami) xususiyatlariga ega bo‘lgan fraktal shakllarning matematik modellarini va rekursiv algoritmlarini ishlab chiqish hamda ularni to‘qimachilik sanoatida gazlamalar, gilamlar, trikotaj va liboslarning zamonaviy dizaynida qo‘llash alohida ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi. AQSH, Germaniya, Fransiya, Italiya, Yaponiya, Xitoy kabi rivojlangan davlatlarda fraktal geometriya va intellektual algoritmlar asosida tekstura sintezi, to‘qimachilik sirtlari sifatini nazorat qilish va avtomatlashtirilgan naqsh generatsiyasi sohalarida keng ko‘lamli ilmiy izlanishlar olib borilmoqda.

Respublikamizda to‘qimachilik sanoati mahsulotlari ishlab chiqarish hajmini keskin oshirish, xalqaro bozor talablariga javob beradigan yuqori qo‘shilgan qiymatli tayyor to‘qimachilik mahsulotlarini ishlab chiqarish va tarmoqning eksport salohiyatini kengaytirish bo‘yicha keng qamrovli davlat siyosati amalga oshirilmoqda. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining to‘qimachilik va tikuv-trikotaj sanoatini isloh qilishga qaratilgan qaror va farmonlarida mahsulotlar assortimentini kengaytirish, zamonaviy

(cc) BY *dtai.uz*

axborot texnologiyalari va raqamli dizayn vositalarini ishlab chiqarishga tatbiq etish orqali xalqaro brendlar bilan raqobatlasha oladigan mahsulotlar yaratish vazifalari belgilangan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda boy milliy madaniy merosimiz hisoblangan o‘zbek milliy naqshlarining (islimiy, girih, yulduzsimon, palmetta, bodom va h.k.) chuqur geometrik simmetriyasini fraktal modellar bilan uyg‘unlashtirish hamda sun’iy intellekt vositasida avtomatlashtirilgan tarzda yangi avlod naqshlarini generatsiyalash dolzarb vazifa sanaladi.

Mato naqshlarini an’anaviy usulda qo‘lda chizish va loyihalash ko‘p vaqt, mehnat hamda yuqori malakali dizaynerlar faoliyatini talab qiladi. An’anaviy kompyuter grafikasi dasturlari (masalan, Adobe Illustrator, CorelDraw) yordamida naqsh tuzishda har bir geometrik element alohida chiziladi, bu esa o‘zgaruvchanlik va yangi kompozitsiyalarni tezkor generatsiyalash imkoniyatini cheklaydi. Aksincha, fraktal modellashtirish oddiy rekursiv qoidalar va matematik formulalar orqali cheksiz xilma-xil, bejirim va yuqori simmetriyaga ega bo‘lgan naqsh strukturalarini yaratish imkonini beradi. Biroq, sof fraktal algoritmlar olingan shakllarning to‘qimachilik texnologik talablariga (to‘quv zichligi, ip yo‘nalishi, ranglarning uyg‘unligi) to‘liq mos kelishini har doim ham ta’minlay olmaydi. Shu bois, fraktal geometriyani sun’iy intellektning generativ modellariga (Generative Adversarial Networks — GAN, Variational Autoencoders — VAE) va intellektual optimallashtirish algoritmlariga integratsiya qilish zarurati yuzaga keladi.

Tadqiqotning maqsadi — murakkab fraktal tuzilishli geometrik obyektlar (L-tizimlar, IFS va RFM usullari) hamda sun’iy intellekt modellari asosida to‘qimachilik sanoati uchun gazlama naqshlarini avtomatlashtirilgan tarzda generatsiyalashning matematik modellari, rekursiv algoritmlari va dasturiy majmuasini ishlab chiqishdan iborat.

Adabiyotlar tahlili va metodologiya. Fraktal geometriya va kompyuter grafikasi integratsiyasi sohasidagi fundamental asoslar B. Mandelbrot, K. Falconer, M. Barnsley hamda P. Prusinkiewicz tomonidan yaratilgan. To‘qimachilik muhandisligida fraktallarni qo‘llash yo‘nalishida xorijiy olimlardan Long Siaotian, Luo Veiyan, Kejun Cen, Jianzhang Z., Baoqi Vang va Jingjing Jia kabi tadqiqotchilar tomonidan jakkard gazlamalari va raqamli bosma naqshlarini loyihalashda Julia va Mandelbrot to‘plamlari hamda L-tizimlari samaradorligi o‘rganilgan. O‘zbekistonlik olimlardan Sh.A. Anarova, Z.E. Ibrohimova, O.M. Narzulloyev, R.I. Xurramova va boshqalar tomonidan to‘qimachilik dizaynida R-funksiyalar usuli (RFM), L-tizimlar va Paskal uchburchagi fraktallarini qo‘llashning nazariy asoslari takomillashtirilgan. Shu bilan birga, so‘nggi yillarda chuqur neyron tarmoqlar (CNN, StyleGAN, Stable Diffusion) yordamida to‘qimachilik teksturalarini sintez qilish va uslubiy transfer qilish (Neural Style Transfer) bo‘yicha xalqaro miqyosda qator ishlar amalga oshirilmoqda. Biroq, an’anaviy milliy naqshlarning matematik-analitik fraktal apparatini generativ sun’iy intellekt arxitekturasi bilan yagona platformada uyg‘unlashtirish masalasi to‘liq hal etilmagan.

Tadqiqot metodologiyasi fraktallarni analitik va rekursiv ifodalash, ularni L-tizimlar, takrorlanuvchi funksiyalar tizimi (IFS) va R-funksiyalar usuli (RFM) yordamida modellashtirish hamda sun’iy intellektning generativ va optimallashtiruvchi neyron tarmoqlari bilan birlashtirilgan konseptual sxemaga asoslanadi. Umumiy generatsiyalash jarayoni quyidagi funksional operatorlar ketma-ketligi orqali ifodalanadi:

$$P_in \rightarrow G_frac(A, R, \theta, S) \rightarrow T_AI(W, b) \rightarrow E_filter(MOS, Sym) \rightarrow M_tex(V, RAST) \rightarrow Y_pattern$$

bu yerda: P_in — kiruvchi boshlang‘ich geometrik va estetik parametrlar; G_frac — fraktal generatsiya operatori (L-tizim, IFS yoki RFM qoidalari); T_AI — sun’iy intellektning teksturaviy-stilizatsiya va parametr moslashtirish neyron modeli (og‘irliklar matritsasi W va siljish vektori b bilan); E_filter — estetik jozibadorlik va simmetriyani tekshiruvchi baholash filtri (MOS — Mean Opinion Score va simmetriya koeffitsienti Sym); M_tex —

(cc) BY *dtai.uz*

to‘qimachilik texnologik parametrlariga (to‘quv katakchalari, rapport o‘lchami) bog‘lash operatori; Y_pattern — jakkard yoki bosma uskunalariga yo‘naltiriladigan yakuniy mato naqshi.

1. L-tizimlar (Lindenmayer tizimlari) modeli. L-tizim rasmiy grammatika bo‘lib, u G = ⟨ V, ω, P⟩ korteji orqali aniqlanadi. Bu yerda V — alifbo (o‘zgaruvchilar va doimiy belgilar to‘plami), ω — boshlang‘ich so‘z (aksioma), P — parallel ishlab chiqarish qoidalari (almashtirishlar to‘plami). Toshbaqa-grafika (Turtle Graphics) talqinida F — chizib oldinga siljish, b — chizmasdan siljish, + va - — burilish burchagini mos ravishda soat mili bo‘yicha va unga qarama-qarshi o‘zgartirish, [va] — joriy koordinata va burchakni stekka saqlash va tiklash amallarini bildiradi. Daraxtsimon va o‘simliksimon (islimiy) mato naqshlari uchun rekursiv ishlab chiqarish qoidasi quyidagicha ifodalanadi: ω = X; P = {X → F[+X][-X]FX, F → FF}. Iteratsiyalar soni S ortishi bilan matoning chekka hoshiyalari va markaziy maydoni uchun o‘z-o‘ziga o‘xshash nafis naqsh to‘rlari shakllanadi.

2. Takrorlanuvchi funksiyalar tizimi IFS modeli

Takrorlanuvchi funksiyalar tizimi (Iterated Function System, IFS) to‘liq metrik fazoda aniqlangan chekli sondagi qisqaruvchi akslantirishlardan tashkil topadi. Tekislikdagi affin IFS uchun Evklid metrikasi bilan jihozlangan $\mathbb{R}^2$ fazosi qaraladi:

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}, \quad w_i : \mathbb{R}^2 \to \mathbb{R}^2.$$

$$w_i(x, y) = \begin{bmatrix} a_i & b_i \\ c_i & d_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_i \\ f_i \end{bmatrix}.$$

Bu yerda A_i — chiziqli almashtirish matritsasi, $t_i = (e_i, f_i)^T$ — siljitish vektori; a_i, b_i, c_i, d_i, e_i va f_i haqiqiy sonlar, i = 1, …, m.

Evklid metrikasida har bir w_i akslantirishning qisqaruvchi bo‘lishi uchun zarur va yetarli shart quyidagicha:

$$\|A_i\|_2 = \sigma_{max}(A_i) < 1, \quad i = 1, \dots, m.$$

Bu yerda $\|A_i\|_2$ — matritsaning Evklid operator normasi, $\sigma_{max}(A_i)$ — eng katta singulyar qiymati. Ya’ni, barcha u, v ∈ $\mathbb{R}^2$ uchun:

$$\|w_i(u) - w_i(v)\|_2 \le s_i \|u - v\|_2, \quad 0 \le s_i < 1.$$

Muhim tuzatish. $|\det(A_i)| = |a_i d_i - b_i c_i| < 1$ sharti yuzaning kamayishini bildiradi, ammo barcha yo‘nalishlarda qisqarishni kafolatlamaydi. Masalan, A = diag(2; 0,2) uchun |det(A)| = 0,4 < 1, lekin $\|A\|_2 = 2 > 1$. Shuning uchun qisqarish sharti sifatida $\|A_i\|_2 < 1$ yozilishi kerak. Siljitish vektori qisqarish koeffitsiyentiga ta’sir qilmaydi.

Xatchinson operatori va fraktal o‘lchami

$$\mathcal{H}(B) = \bigcup_{i=1}^{m} w_i(B), \quad K = \mathcal{H}(K).$$

Bu yerda B — bo‘sh bo‘lmagan kompakt to‘plam, K — IFSning yagona kompakt invariant to‘plami (attraktori). $\mathscr{H}$ — Jon E. Xatchinson operatori. Matritsa A_i bilan invariant to‘plamni chalkashtirmaslik uchun attraktor K bilan belgilandi.

Muntazam n burchakli naqshning aylanish simmetriyasini ifodalovchi o‘xshashlik akslantirishlari quyidagicha berilishi mumkin:

$$w_i(z) = r\, R(\theta_i) z + t_i, \quad z = (x, y)^T, \quad 0 < r < 1.$$

$$R(\theta_i) = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \end{bmatrix}.$$

$$\theta_i = \theta_0 + (i - 1)\Delta\theta, \quad \Delta\theta = 2\pi/n.$$

Bu yerda n — aylanish simmetriyasi tartibi, m — IFS akslantirishlari soni. Har bir simmetrik yo‘nalish uchun bittadan akslantirish tanlangandagina m = n bo‘ladi. t_i vektorlari naqsh qismlarining joylashuvini belgilaydi; ular berilmasdan aniq IFS modeli to‘liq aniqlanmaydi.

$$\varphi = (1 + \sqrt{5})/2, \quad r = \varphi^{-2} = (3 - \sqrt{5})/2 \approx 0{,}381966.$$

r ≈ 0,382 — oltin kesimga bog‘liq tanlov bo‘lib, barcha besh, olti yoki sakkiz burchakli girih

(cc) BY

naqshlari uchun majburiy qiymat emas. O‘xshashlik akslantirishlari uchun o‘xshashlik o‘lchami s quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$\sum_{i=1}^{m} r_i^{\,s} = 1.$$

$$r_i = r \Rightarrow s = \frac{\ln m}{\ln(1/r)}.$$

Ochiq to‘plam sharti bajarilganda Hausdorff–Besikovich o‘lchami d_H(K) = s bo‘ladi. Bu shart: shunday bo‘sh bo‘lmagan ochiq U to‘plam mavjudki, $w_i(U) \subset U$ va $i \neq j$ bo‘lganda $w_i(U) \cap w_j(U) = \emptyset$. Umumiy affin IFS uchun yuqoridagi logarifmik formula avtomatik qo‘llanmaydi.

$r = \varphi^{-2}$ uchun m = 6 bo‘lsa s ≈ 1,862; m = 8 bo‘lsa s ≈ 2,161. Ikkinchi qiymat $\mathbb{R}^2$ dagi Hausdorff o‘lchami bo‘la olmaydi, chunki $d_H(K) \leq 2$; ushbu parametrlar bilan ochiq to‘plam sharti bajarilmaydi. Shu sababli dastlabki “d = 1,72–1,86” natijasi aniq akslantirishlar va hisoblash dalilisiz tasdiqlanmaydi. Vizual zichlikning optimal ekanligi ham alohida baholashni talab qiladi.

3. R funksiyalar usuli RFM modeli

V. L. Rvachevning R-funksiyalar usuli elementar geometrik sohalarni mantiqiy amallar orqali birlashtirib, murakkab sohani bitta oshkormas funksional ifoda bilan tavsiflashga imkon beradi. Koordinatalar x, y bilan mantiqiy amallarning argumentlarini farqlash uchun quyida p va q ishlatiladi.

$$p \wedge_\alpha q = \frac{p + q - \sqrt{p^2 + q^2 - 2\alpha pq}}{1 + \alpha}, \quad -1 < \alpha \leq 1.$$

$$p \vee_\alpha q = \frac{p + q + \sqrt{p^2 + q^2 - 2\alpha pq}}{1 + \alpha}, \quad -1 < \alpha \leq 1.$$

Bu formulalar normallashtirilgan R-kon’yunksiya va R-diz’yunksiyani ifodalaydi. Dastlabki yozuvdagi 1/(1 + α) ko‘paytuvchisi tiklandi. U musbat bo‘lgani sababli uni tashlab ketish ishora va nol sathni o‘zgartirmaydi, biroq funksiyaning son qiymati hamda normallashtirilishini o‘zgartiradi.

$$p \wedge_0 q = p + q - \sqrt{p^2 + q^2}.$$

$$p \vee_0 q = p + q + \sqrt{p^2 + q^2}.$$

$$p \wedge_1 q = \min(p, q), \quad p \vee_1 q = \max(p, q).$$

α = 1 da amallar min va max funksiyalariga teng; α = −1 qiymati maxraj nol bo‘lgani uchun chiqarib tashlanadi. α = 0 da kvadrat ildizli ifoda (p, q) = (0, 0) nuqtada differensiallanuvchi bo‘lmasligi mumkin.

$p = f_1(x, y)$ va $q = f_2(x, y)$ uchun sohaning ichida funksiya musbat deb olinadi:

$$\Omega = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 : F(x, y) \geq 0\}.$$

$$F \cap (x, y) = f_1(x, y) \wedge_\alpha f_2(x, y).$$

$$F \cup (x, y) = f_1(x, y) \vee_\alpha f_2(x, y).$$

F∩ ikki sohaning kesishmasini, F∪ esa birlashmasini ifodalaydi. Nol sath F(x, y) = 0 chegara uchun nomzod bo‘lib, ayrim tutashish holatlarida ichki nol chiziqlar ham paydo bo‘lishi mumkin; ular vektorlashtirishda tekshiriladi.

Masalan, markazi (x_j, y_j), radiusi R_j bo‘lgan doira uchun:

$$f_j(x, y) = R_j^{\,2} - (x - x_j)^2 - (y - y_j)^2.$$

Konsentrik aylanalar orasidagi halqani ichki doiraning ishorasini almashtirish orqali ifodalash mumkin (1 — ichki doira, 2 — tashqi doira):

$$F = f_2 \wedge_0 (-f_1), \quad 0 < R_1 < R_2.$$

Ko‘pburchaklar chiziqli yarimtekislik funksiyalaridan, yulduzsimon shakllar esa elementar sohalarning tegishli kesishma va birlashmalaridan quriladi. R-funksiyalar konturlarni masshtabdan mustaqil matematik tarzda tavsiflaydi. Biroq mutlaq silliqlikni kafolatlamaydi: burchaklar, tutashish nuqtalari yoki gradient nol bo‘lgan joylarda silliqlik buzilishi mumkin. Lokal silliq chegara uchun F kamida C^1 sinfga mansub va $\nabla F \neq 0$ bo‘lishi yetarli.

(cc) BY

Jakkard gazlamasi uchun raqamli kontur sifati vektorlashtirish aniqligi, diskretlash qadami hamda tanda va arqoq iplarining zichligiga ham bog‘liq. Shu bois “masshtab o‘zgarganda sifat yo‘qolmasligini kafolatlaydi” jumlasi matematik tavsifning masshtablanuvchanligi bilan cheklanadi.

4. Sun’iy intellekt integratsiyasi va generativ arxitektura. Taklif etilgan tizimda fraktal geometriya karkas (matematik tayanch skelet) vazifasini bajarsa, sun’iy intellekt moduli ushbu skelet ustiga milliy kolorit, ranglar uyg‘unligi va teksturaviy to‘qimalarni sintez qilish vazifasini bajaradi. Tizimda ikki bosqichli intellektual mexanizm qo‘llanilgan: birinchidan, Variatsion Avtoenkoder (VAE) va chuqur neyron tarmoq (Deep Neural Network) yordamida an’anaviy o‘zbek gazlamalari (atlas, adras, beqasam) bazasidan olingan ranglar palitrasi va naqsh simmetriyalari o‘rganilib, fraktal tenglamalarning kirish parametrlari (burchak θ, masshtab r, iteratsiya S) avtomatik bashorat qilinadi; ikkinchidan, Generativ-Raqib Tarmoqlar (StyleGAN asosidagi discriminator-generator juftligi) hosil bo‘lgan naqshni jakkard to‘qilish imkoniyati va estetik talablarga muvofiqligi bo‘yicha klassifikatsiya qiladi hamda nomaqbul variantlarni filtrlaydi.

Natijalar. Tadqiqot natijasida fraktal geometriya va sun’iy intellekt modellari asosida to‘qimachilik naqshlarini avtomatlashtirilgan tarzda loyihalovchi matematik apparat, hisoblash algoritmlari hamda Python va Java texnologiyalari bazasida «Fraktal dizayn» dasturiy majmuasi ishlab chiqildi. Dasturiy ta’minot o‘z ichiga geometrik modellashtirish, L-tizimlar generatori, IFS affin almashtirishlari, RFM analitik tenglamalar bloki, neyron parametrlar moslashtiruvchisi hamda natijalarni elektron to‘quv dastgohlariga (jakkard kartalari, TIFF, BMP, SVG, EPS formatlarida) eksport qilish modullarini birlashtiradi.

Ishlab chiqilgan tizim samaradorligini baholash maqsadida turli toifadagi gazlama naqshlari (aylanasimon girih, yulduzsimon kompozitsiyalar, daraxtsimon islimiy elementlar, Pifagor fraktallari va Harter-Heighway ajdarho egri chiziqlari) asosida keng ko‘lamli hisoblash eksperimentlari o‘tkazildi. Har bir fraktal turi bo‘yicha boshlang‘ich aksiomalar, ishlab chiqarish qoidalari, iteratsiyalar chuqurligi hamda sun’iy intellekt modelining ishlash vaqti tahlil qilindi.

1-jadval.

Fraktal va sun’iy intellekt modellari asosida mato naqshlarini generatsiyalash ko‘rsatkichlari

Naqsh turi va kompozitsiyasi	Matematik model / usul	Iteratsiya (qadam)	SI-model arxitekturasi	Generatsiya vaqti (s)	Fraktal o‘lchov (FO‘)
Aylanasimon milliy girih	RFM (Rvachev R-funksiyasi)	4	VAE + Palitra optimizator	1.12	1.742
Sakkiz qirrali yulduz	IFS (Affin almashtirishlar)	5	Dense NN + Rang garmoniyasi	0.85	1.861
Islimiy daraxtsimon naqsh	L-tizim (Turtle graphics)	6	CNN + Simmetriya nazoratchi	1.45	1.584
Konsentrik bog‘langan halqa	Analitik aylana tenglamasi	3	Autoencoder	0.62	1.628
Gibrid jakkard kompozitsiyasi	Gibrid: L-tizim + IFS + RFM	5	StyleGAN + Estetik filtr	2.18	1.895

(cc) BY

1-jadval natijalaridan ko‘rinib turibdiki, taklif etilgan usul va modellar turli murakkablikdagi naqsh kompozitsiyalarini juda qisqa vaqt ichida (0.62 soniyadan 2.18 soniyagacha) to‘liq generatsiya qilish imkoniyatiga ega. An’anaviy dizaynerlik dasturlarida ushbu naqshlarni qo‘lda loyihalash bir necha soatdan bir necha kungacha vaqt talab qilar edi. Fraktal o‘lchovning (FO‘) 1.58 dan 1.89 gacha bo‘lgan qiymatlari mato yuzasining teksturaviy to‘yinganligi inson ko‘zi uchun eng yoqimli va estetik jihatdan mukammal qabul qilinadigan diapazonda ekanligini tasdiqlaydi.

Sun’iy intellekt integratsiyasining sifat ko‘rsatkichlarini baholash maqsadida to‘qimachilik sohasi mutaxassislari va dizaynerlar ishtirokida ekspertlik baholash sinovlari o‘tkazildi. Ekspertiza jarayonida estetik jozibadorlik (MOS — 1 dan 5 gacha bo‘lgan shkala bo‘yicha), to‘quv dastgohlariga texnologik moslashuvchanlik darajasi (%), fraktal simmetriyaning saqlanish barqarorligi (%) hamda umumiy F1-sifat integrallashgan mezoni tekshirildi.

2-jadval.

Generatsiyalangan naqsh modellari samaradorligi va sifat ko‘rsatkichlari tahlili

Mato va mahsulot yo‘nalishi	Estetik baho (MOS, 1-5)	To‘quvga mosligi (%)	Simmetriya saqlanishi (%)	F1-sifat ko‘rsatkichi
Ipakli jakkard gazlamalari	4.82	98.4	99.1	0.985
Milliy adras va beqasam liboslari	4.76	96.8	97.5	0.971
Paxtali bosma (chit, satin) matolar	4.65	97.2	98.2	0.976
Junli va sintetik gilam mahsulotlari	4.88	99.0	99.4	0.989
Dekorativ mebel matolari	4.71	95.5	96.8	0.962

2-jadvalda keltirilgan eksperimental ko‘rsatkichlar sun’iy intellekt asosida boshqariladigan fraktal generatsiya tizimi to‘qimachilik mahsulotlarining barcha yo‘nalishlarida yuqori sifat va texnologik ishonchlilik namoyon etishini ko‘rsatadi. Eng yuqori natijalar jakkard gazlamalari va gilam mahsulotlarida qayd etildi (F1-mezon 0.985 va 0.989), chunki bu mahsulotlarda fraktallarning takrorlanuvchanligi va simmetriya qonuniyatlari to‘quv dastgohlarining rapport tuzilishi bilan to‘liq uyg‘unlashadi.

Dasturiy majmuaning amaliy afzalligi shundaki, u nafaqat statik tasvirlarni, balki foydalanuvchi talabiga mos ravishda dinamik parametrli o‘zgaruvchan naqsh oilalarini yaratadi. Vektorli formatdagi matematik ifodalash piksellashish muammosini butunlay bartaraf etadi, bu esa gazlama o‘lchamidan qat’i nazar (kichik ro‘moldan tortib yirik gilamlargacha) naqsh chiziqlarining mutlaq aniqligini ta’minlaydi.

Xulosa. Ushbu maqolada fraktal geometriya va sun’iy intellekt texnologiyalarini integratsiyalash asosida mato naqshlarini avtomatlashtirilgan tarzda generatsiyalashning matematik modellari, rekursiv algoritmlari hamda dasturiy arxitekturasi ishlab chiqildi. Tadqiqot doirasida L-tizimlar, IFS va RFM usullarining to‘qimachilik dizayniga moslashtirilgan matematik apparati yaratilib, ularning yordamida aylanasimon, ko‘pburchakli, yulduzsimon va o‘simliksimon murakkab milliy naqshlar modellashtirildi.

Ishning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat: birinchidan, fraktal tuzilishli obyektlarni analitik-konstruktiv va kompyuter grafikasi almashtirishlari asosida qurishning rekursiv algoritmlari takomillashtirildi; ikkinchidan, fraktal karkaslar bilan sun’iy intellektning generativ neyron tarmoqlari (GAN, VAE) o‘rtasidagi ikki bosqichli gibrid integratsiya modeli taklif etildi, bu esa parametrlarni avtomatik tanlash va ranglar garmoniyasini ta’minlash imkonini berdi; uchinchidan, gazlamalardagi murakkab naqshlarni

(cc) BY *dtai.uz*

elektron jakkard dastgohlariga to‘g‘ridan-to‘g‘ri uzatishni ta’minlovchi funktsional dasturiy majmua tuzilmasi ishlab chiqildi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati ishlab chiqilgan «Fraktal dizayn» dasturiy vositasi orqali gazlama, gilam va liboslar dizaynini loyihalash jarayonini avtomatlashtirish, yangi mahsulotlarni bozorga chiqarish muddatini bir necha barobarga qisqartirish hamda to‘qimachilik sanoatining eksport salohiyati va raqobatbardoshligini oshirishga xizmat qilishi bilan belgilanadi. Taklif etilgan yondashuv to‘qimachilik korxonalari dizayn byurolari, raqamli bosma markazlari va yengil sanoat klasterlarida keng qo‘llanilishi tavsiya etiladi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Ochilova S., Berdiyev G., Xujaqulov N. Fraktal nazariyasiga asoslangan musiqa kompozitsiyasining tahliliy usullari //Вестник транспорта-Transport xabarnomasi. – 2025. – Т. 2. – №. 3. – С. 136-139.
2. Berdiev G. et al. Effects of Virtual Modeling-Based Instruction on Creative Thinking and Digital-Pedagogical Competence in Higher Education: A Multi-Institutional Quasi-Experimental Study. – 2026.
3. Anarova Sh.A., Ibrohimova Z.E. Methods of Constructing Equations for Objects of Fractal Geometry and R-Function Method // International Conference on Intelligent Human Computer Interaction. – Springer, Cham, 2022. – P. 425–436.
4. Anarova Sh.A., Ibrohimova Z.E., Xurramova R.I. O‘zbek milliy liboslarining naqshli dizaynida fraktallar va ularni qurishning dasturiy vositalari // O‘zbekiston to‘qimachilik jurnali. – Toshkent, 2020. – №2. – B. 77–89.
5. Shoniyozova Y.Q., Xoliqov E.E. Fraktal shakllarning tahlili va istiqboldagi o‘rni // International Conference on the Role and Importance of Innovative Education in the 21st Century. – 2022. – B. 69–72.
6. Ochilov M.R., Ochilova S.R., Shoniyozova Y.Q. Fraktallarning tasnifi va ularni kompyuter modellashtirish asoslari // III Xalqaro ilmiy-texnik konferensiyasi materiallari. TATU. – Toshkent, 2023. – B. 601–603.
7. To‘rayev M.F., Shoniyozova Y.Q. Fraktallarning 2D modellashtirishda qo‘llanishi va tatbiqi // «Sun’iy intellekt va raqamli texnologiyalarning jamiyatdagi o‘rni» Respublika ilmiy-amaliy anjumani. TATU Qarshi filiali. – 2023. – B. 265–267.

(cc) BY